

EEN LANS VOOR DE  
BODEM-WARMTEPOMP

of,

## óp naar een zo hoog mogelijk COP-getal

Bij vergelijking van een bodem-warmtepomp met een lucht-warmtepomp kom ik hier tot de conclusie dat – indien de keuzevrijheid er voor is – de keuze voor een bodem-warmtepomp de beste keuze is.

Helaas is er in een aantal gevallen deze keuzevrijheid niet doordat op de betreffende locatie b.v.:

- een verbod geldt om in de grond te boren met het doel de drinkwaterkwaliteit te beschermen
- het betreffende huis niet beschikt over nabij liggend vrij beschikbaar grondoppervlak.

(Het woord warmtepomp wordt in de tekst hierna verder verkort aangeduid met wp; meervoud wpn.)

Wanneer, uitgaande van vergelijkbare randvoorwaarden, een bodem-wp met een lucht-wp vergeleken wordt, dan heeft de bodem-wp de volgende voordelen boven de lucht-wp:

- \* een bodem-wp gebruikt op jaarbasis ca. 40% minder elektrische energie
- \* de bodem-wp heeft, gezien over langere termijn, een klein maar onderscheidend financieel voordeel; dit voordeel loopt op naarmate de prijs voor elektra in de toekomst oploopt, zoals te verwachten is;
- \* het elektrische piekvermogen dat een bodem-wp in de winter opneemt is ca. 2,7 x zo klein;
- \* een bodem-wp is structureel eenvoudiger van bouw en heeft daardoor, bij gelijke schaal van productie en verkoop, een lagere intrinsieke kostprijs;
- \* met een bodem-wp is koeling van een huis technisch redelijk eenvoudig en goedkoop mogelijk door passieve koeling toe te passen; het meer energie consumerende actief koelen is hier niet nodig
- \* een bodem-wp heeft géén risico van geluidsoverlast.

### Inhoudsopgave

	pag.
1. Inleiding	2
2. Over deze verslaglegging	3
2.1 Probleemstelling	3
2.2 Afbakening, stijl en details van deze verslaglegging	4
3. Over warmtepompen	4
3.1 Warmtepompen algemeen	4
3.2 COP	5
3.3 Lucht-wp	8
3.4 Bodem-wp	8
a. De (verticale) toestroom van warmte vanuit de aarde is te verwaarlozen.	8
b. Warmtestroming in de bodem door geleiding is heel traag.	9
c. Kunstmatige opwarming van bodemtemperatuur is mogelijk.	9
d. De (horizontale) stroming van grondwater speelt een rol.	10
4. Vergelijking bodem-wp versus lucht-wp	11
4.1 Uitgangspunten van vergelijking	11
4.2 Technische- en kostprijsvergelijking van de 2 typen wpn	13
4.3 Vergelijking van afnamepatroon voor energie voor de 2 typen wpn op piekmomenten	14
4.4 Vergelijking van elektraverbruik over een heel jaar	15
4.5 Kosten vergelijking 2-typen wpn	15
4.6 Overige vergelijking tussen de 2-typen wpn	17

## 1. Inleiding

### De beer is los

**Wereldwijd** eind 2015 (ref. 1.):

“Tijdens de eenentwintigste klimaatconferentie (COP21) van de Verenigde Naties in Parijs, eind 2015, bereikten de bijna 200 deelnemende landen overeenstemming over een bindend klimaatakkoord.”

Feitelijk is hier wereldwijd afgesproken om het gebruik van fossiele energie (volledig) de kop in te gaan drukken.

**Nederland** dec 2016 (ref. 2.):

“Het aardgas verdwijnt uit de Nederlandse huishoudens. Er wordt geen nieuwe gasinfrastructuur meer aangelegd en de aansluitplicht wordt geschrapt. Dat staat in de Energieagenda die woensdagochtend is gepresenteerd door minister Henk Kamp (Economische Zaken, VVD). ....

.... Koken zal in de toekomst uitsluitend nog elektrisch gebeuren. Ook het vervoer zal overschakelen naar elektriciteit en waterstof. Vanaf 2035 worden er geen „fossiele” auto’s meer verkocht.”

Het tegengaan van een wereldwijde en desastreuze klimaatverandering vormt hier het centrale argument.

Naast dit zonder enige twijfel uiterst belangrijke argument, mis ik in de maatschappelijke discussie echter 3 andere niet onbelangrijke mede-argumenten.

\* Vergroting van geopolitieke vrijheid.

De heersers over de bronnen van fossiele grondstoffen, waarvan wij afhankelijk zijn/steeds meer worden, zijn voor een niet onbelangrijk deel onbetrouwbare griezels. Onafhankelijk worden van dit soort griezels levert een veiliger positie en een overeenkomstig warmer gevoel op.

\* Vergroting van morele en financiële vrijheid.

De huidige manier van de winning van fossiele brandstoffen, door o.a. die griezels, gaat veelal gepaard met massale boskap, landonteigening, andere mensenrechtenschendingen en milieuvervuiling. Dit is moreel zeer verkeerd en is gebaseerd op “extractivisme”, waarbij de aarde geplunderd wordt. De maatschappelijk kosten van fossiele brandstoffen zijn feitelijk vele malen hoger dan de producent berekent en wat de consument ervoor betaalt (een voorbeeld hiervan dat nota bene nu in Nederland speelt, is het afhandelen van de schade veroorzaakt door gaswinning in Groningen).

\* Vroeg of laat kan dit niet anders.

Wanneer wij fossiele brandstoffen blijven gebruiken, zullen deze vroeg of laat op raken en zullen wij voor onze energievoorziening andere oplossingen moeten vinden.

Wanneer het zo is, dat wij vroeg of laat afstand moeten nemen van het gebruiken van fossiele grondstoffen, en wij kijken ook naar de vorige argumenten, dan maar liever zo snel mogelijk afstand nemen van fossiele brandstoffen.

Hoe dan ook, onze samenleving is nu de koers ingeslagen dat alle huizen in 2050 afgesloten moeten zijn van het aardgas.

Vanaf nu gerekend is dat (nog!!) maar ca. 30 jaar.

Dit is gelijk aan  $30/15 = 2$  x de technische levensduur van een warmtepomp

## 2. Over deze verslaglegging

### 2.1 Probleemstelling

... alle huizen moeten in 2050 afgesloten zijn van het aardgas ...

Voor eenieder rijst nu de vraag: **Help**, hoe kan ik in de toekomst 's winters mijn huis warmhouden?

Ook voor mij geldt deze vraag. Al gedurende langere tijd probeer ik door nadenken en naspeuren een antwoord hierop te vinden.

Een oplossing is het aanschaffen van een wp. Maar welke dan?

Bij mijn zoektocht, heb ik geconstateerd dat ik hiervoor nergens een volledig, coherent, toegankelijk en 1-1 duidelijk verhaal heb kunnen vinden. Bovendien blijkt e.e.a. best gecompliceerd te zijn (in de breedte, minder in de diepte).

Deze tekst is door mij opgesteld als een (gestileerde) verslaglegging met het doel om datgene wat ik tijdens mijn zoektocht boven water heb gehaald:

- \* "veilig te stellen" voor mijzelf en anderen,
- \* toegankelijk te maken voor anderen.

Dit laatste temeer, daar ik meen waar te nemen dat er in de samenleving nu een oplossingsrichting in de mode lijkt te komen, waarvan mijn technische gevoel zegt dat dit absoluut niet de goede richting is maar gezien vanuit breder perspectief juist een zeer zorgelijke richting.

Namelijk de oplossing wordt nu vooral gezocht bij de lucht-wp en niet bij de bodem-wp.

In dit verhaal probeer ik te analyseren in hoeverre deze richting meer of minder juist is.

Bij het bedenken en beschrijven van mogelijke antwoorden op de vraag hoe nu in de toekomst je huis te verwarmen, worden hier a priori de volgende 2 opties terzijde gelegd:

- \* het stoken van waterstof (grijs, blauw of groen);  $\neq$  realistisch op dit moment, en waarschijnlijk ook niet in de toekomst; zie (zie ref. 3.)
- \* stoken van hout of houtskool; = op grote schaal amper realistisch; afgezien van de vraag of er hiervoor voldoende stookhout (of houtskool) zou zijn, is toepassing van deze optie op grote schaal vanwege milieubezwaren op dit moment niet realistisch.

Voor verwarming van je huis blijft er in feite alleen de optie over om terug te vallen op elektriciteit.

Er is de optie van puur elektrisch "stoken";

Elektriciteit kan technisch heel eenvoudig en goedkoop in warmte worden omgezet.

Ook kan dit met een rendement van 100%:  $1 \text{ kWh}^{\text{elektrisch}}$  kan voor 100% omgezet worden in  $1 \text{ kWh}^{\text{warmte}}$

Echter, omdat voor het puur elektrisch verwarmen van een huis héél veel elektriciteit nodig is, is dit, zoals in onderstaande calculatie wordt getoond een peperdure en nauwelijks realistische optie.

Voor vervanging van de warmte van  $1 \text{ m}^3$  aardgas, is de warmte van ca. 8,9 kWh elektriciteit nodig.

De jaarlijkse kosten kunnen dan als volgt uitgerekend worden:

jaarlijks aardgasverbruik x 8,9 x tarief van kWh = jaarlijkse kosten elektra.

Voor een gemiddeld gasverbruik van  $1.500 \text{ m}^3/\text{jaar}$  zouden op dit moment (prijs elektra ca. 0,22/kWh) deze (extra) kosten voor elektra  $1.500 \times 8,9 \times 0,22 = 2.937 \text{ E/jaar}$  bedragen

Gelukkig is er nu voor verwarming van je huis de mogelijkheid om een wp (afkorting voor warmtepomp) te gebruiken. Een wp gebruikt voor zijn werking weliswaar ook elektriciteit, echter in (veel) mindere mate dan in vergelijking tot puur elektrisch "stoken".

## 2.2 Afbakening, stijl en details van deze verslaglegging

M.b.t. de opzet en de focus van dit verhaal kan opgemerkt worden:

- \* Het beperkt zich tot verwarming van enkelvoudige woonhuizen; dus niet utiliteitsbouw, flats e.d.
- \* Wanneer het onderwerp bodem of buitentemperatuur aan de orde is, beperkt het zich om pragmatische redenen in eerste instantie tot het grondgebied van Eindhoven e.o. (de auteur woont in Eindhoven/Iriswijk).
- \* Er is gestreefd naar maximale transparantie zodat een lezer e.e.a. makkelijk aan zijn/haar eigen situatie kan toetsen en aanpassen.
- \* Tijdens het schrijven zijn een aantal vragen naar boven gekomen die niet direct/uitputtend door mij beantwoord konden worden. Voor het schrijven van deze tekst behoefden deze vragen ook niet direct beantwoord te worden. Deze vragen zijn zoveel als mogelijk omkaderd en aangeduid met de letters AI actie/informatie

AI0 dit voorbeeld
-------------------

Lezers van dit artikel worden expliciet uitgenodigd om te laten weten of ze op deze punten aanvullende informatie kunnen/willen geven.

Deze uiteindelijke tekst is tot stand gekomen ná kritische beoordeling door vijf reviewers met een brede en relevante achtergrond én gewenste aanpassing van deze tekst.

## 3. Over warmtepompen

### 3.1 Warmtepompen algemeen

Zoals hiervoor al geschreven is, is er nu voor verwarming van je huis gelukkig de mogelijkheid om een wp te gebruiken.

Wanneer je op dit moment op internet het woord “warmtepomp” intoetst, krijg je héél veel informatie te zien. Zó veel informatie, dat het voor iemand die zich voor het eerst op dit onderwerp probeert te oriënteren, heel erg moeilijk is om een bevredigend overzicht/inzicht te verkrijgen.

Niet alleen kun je hier heel veel merken en aanbieders van wpn vinden, ook zijn er tamelijk wat sites en platforms te vinden die objectieve informatie op dit vlak (proberen te) bieden.

Last but not least: In technische zin is er ook nog eens sprake van diverse typen wpn.

Op dit laatste punt van typen wpn haakt dit verhaal in. Hier wordt een afweging gemaakt tussen de 2 belangrijkste typen wpn, te weten:

de lucht-wp en

de bodem-wp met gesloten bodemwarmtewisselaar.

Om de hierna gevolgde gedachtegang beter te kunnen volgen, is het goed een beeld te hebben van wat een wp is. Hiervoor wordt verwezen naar onderstaande referenties.

Referentie 4. is een site en geeft via > Home pagina > tab “warmtepomp” > “Warmtepomp informatie” een kort overzicht van enkele typen wpn; op deze site worden de wpn anders benoemd dan in dit artikel; de bodem-warmtepomp wordt op de site aangeduid met water-waterwarmtepomp (WW-WP) en de lucht-warmtepomp wordt op de site aangeduid met lucht-waterwarmtepomp (LW-WP)

Referentie 5. is een enkelvoudig, redelijk compleet en uitgebreid artikel over wpn.

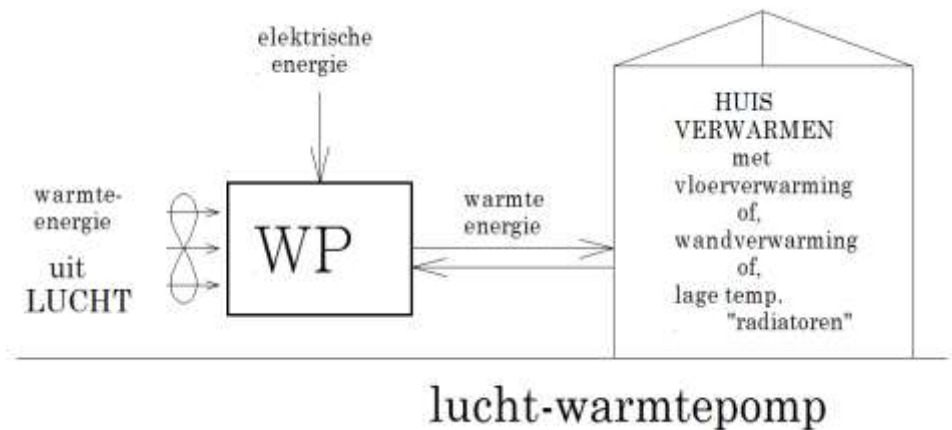
Referentie 6. is een zeer uitgebreide site (ca. 60-65 verschillende thema's) waar van alles over wpn is te lezen. Om hier een beeld te verkrijgen van verschillende typen wpn wordt verwezen naar > Home pagina > tab “Warmtepomp” > “Werking en toepassing”.

In deze referenties valt te lezen dat er beduidend meer typen wpn onderscheiden worden dan de lucht-wp en de bodem-wp. Echter alleen deze laatste wpn hebben een toepassing van betekenis. Andere typen wpn worden hierom verder buiten beschouwing gelaten.

Zoals de afbeelding hiernaast laat zien, haalt de lucht-wp de benodigde warmte-energie uit:

- \* de LUCHT (grootste deel)
- \* en elektriciteit (klein deel).

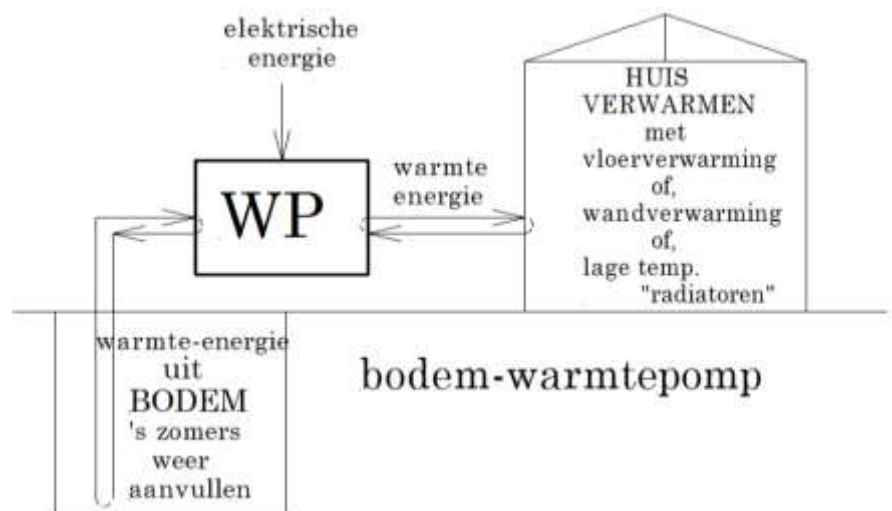
Bij dit type wp wordt de lucht m.b.v. een ventilator door de wp heen geblazen.



De afbeelding hiernaast laat zien dat de bodem-wp de benodigde warmte-energie haalt uit:

- \* de BODEM (grootste deel)
- \* en elektriciteit (klein deel).

Bij dit type wp wordt de warmte uit de bodem aan de wp overgedragen m.b.v. een verticaal en gesloten watercircuit, dat door slangen in de grond stroomt en dat door geleiding vanuit de bodem warmte opneemt. Dit watercircuit wordt ook aangeduid met vbww ofwel verticale bodem warmte wisselaar



### 3.2 COP

Zoals hiervoor al opgemerkt, gebruikt een wp voor zijn werking elektriciteit. Echter in (veel) mindere mate dan in vergelijking tot puur elektrisch “stoken”.

Hierbij speelt de prestatie van een wp en daarmee het COP-getal een cruciale rol.

COP staat voor coëfficiënt of performance; (dit spreek je uit als c..., o..., p..., en niet als kop).

Het COP-getal vertelt wat de verhouding is tussen de opgewekte hoeveelheid warmte energie en de hoeveelheid gebruikte elektrische energie. Hoe hoger het COP-getal, hoe hoger de efficiëntie van de wp, hoe minder elektriciteit nodig is en uiteraard ook hoe lager de kosten voor inkoop van elektriciteit.

Het volgende voorbeeld met getallen laat dit zien.

Een COP = 4 betekent dat je voor elke kWh elektrische energie die de wp gebruikt, 4 kWh warmte energie opwekt. Van deze 4 kWh komen dan 3 kWh (gratis) uit de lucht of uit de bodem. De 4<sup>e</sup> kWh aan warmte die opgewekt wordt, is dan afkomstig van de 1 kWh die elektrisch verbruikt wordt en die tijdens dit verbruik in warmte overgaat.

Zie hierna voor meer voorbeelden.

	elektrische-energie uit stopcontact = betalen		warmte-energie uit lucht of bodem = gratis		warmte- energie voor verwarming van huis = comfort
COP=4	1 kWh	+	3 kWh	→	4 kWh
COP=5	1 kWh	+	4 kWh	→	5 kWh
COP=6	1 kWh	+	5 kWh	→	6 kWh
COP=7	1 kWh	+	6 kWh	→	7 kWh

In dit rijtje zou je ook de optie van puur elektrisch "stoken", zoals hiervoor op p.3 genoemd, als volgt kunnen opnemen:

COP=1	1 kWh	+	0 kWh	→	1 kWh
-------	-------	---	-------	---	-------

Een hoger COP-getal is dus aantrekkelijk omdat dan meer gratis warmte uit lucht of bodem gehaald kan worden. Wat is nu van invloed op dit COP-getal?

- \* Allereerst is er het interne rendement van de wp zelf ; uiteraard geldt, dat hoe hoger dit interne rendement is, hoe hoger het COP-getal. Het lijkt er op dat de interne rendementen van wpn van diverse makelij redelijk op gelijk niveau liggen. Waarschijnlijk kunt je als potentiële koper van een wp door keuze voor ene of gene wp op dit punt amper een hoger COP-getal verkrijgen. Mede vanwege de marginale betekenis van het hier genoemde punt, wordt dit daarom verder buiten dit verhaal gehouden.
- \* Een factor die wél van grote invloed is op het COP-getal, en welke een belangrijk punt vormt in dit artikel, is de temperatuurstijging welke de wp in een bepaalde situatie moet kunnen realiseren.  
Het COP-getal wordt namelijk groter bij kleiner wordende temperatuurstijging (ook wel aangeduid met  $\Delta T$ ) en omgekeerd.

Zie hiervoor de navolgende schematische afbeelding.

De temperatuurstijging

$$\Delta T = T_2 - T_1,$$

wordt uiteraard kleiner naarmate  $T_2$  lager is

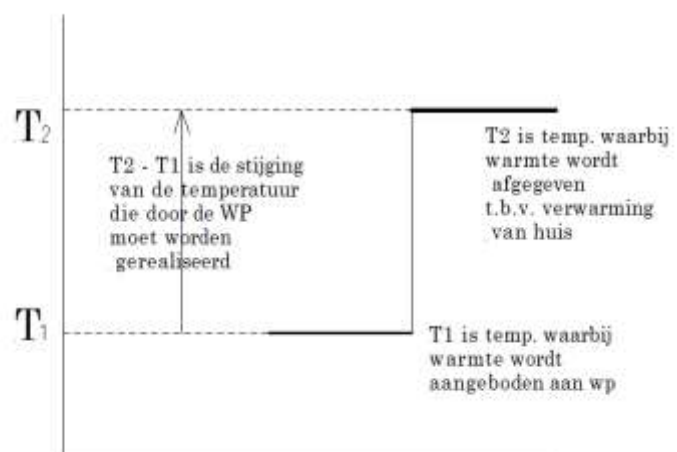
of naarmate  $T_1$  hoger is,

of allebei.

Dus is de wens:

$T_2$  zo laag mogelijk

$T_1$  zo hoog mogelijk



Zowel voor de hier beschouwde lucht- als bodem-wp, wordt de warmte afgevoerd (naar vloer- en of muurverwarming en/of naar LTV-radiatoren) m.b.v. circulerend water.  $T_2$  is dan in beide gevallen de temperatuur van het water dat de wp verlaat.

Fabrikanten van wpn geven in hun technische informatie voor deze temperatuur  $T_2$  veelal afgeronde getallen als 35, 45, 55 en 60 °C.

Een hoge temperatuur als 55 - 60 °C., kan door de wp (tijdelijk) gebruikt worden bij de productie van warm tapwater.

In het verdere verhaal hier zal uitgegaan worden van  $T_2 = 35$  °C. Dit is de temperatuur welke bij toepassing van vloerverwarming veelal (+/-) als bovengrens wordt gehanteerd.

Bij een lucht-wp is  $T_1$  de temperatuur van de lucht die door de wp wordt heen geblazen.

Bij een bodem-wp is  $T_1$  de temperatuur van het water in het gesloten watercircuit (opgewarmd in de bodem) dat naar de wp toestroomt.

#### SCOP ofwel seasonal-COP

Voor een wp in werking zal over het verloop van het stookseizoen  $T_1$  niet constant zijn maar variëren.

Hiermee varieert ook telkens de COP waarmee de wp presteert.

Het gemiddelde van de verschillende COP's over het verloop van het stookseizoen wordt aangeduid met SCOP

Elke wp vertoont zo een specifieke relatie tussen  $T_1$ ,  $T_2$  en COP-getal.

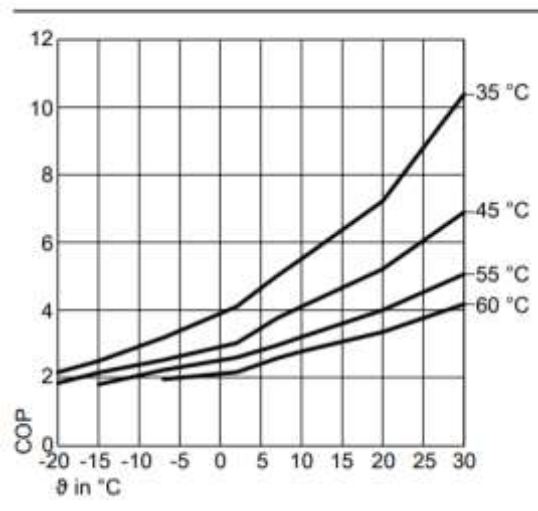
De afbeelding hiernaast (ontleend aan p. 39 van ref. 7.) geeft voor een lucht-wp van Vriessmann weer hoe de relatie is tussen COP,  $T_1$  (in afbeelding hier aangeduid met teken:  $\vartheta$ ) en  $T_2$ .

Voor  $T_2 = 35$  °C en voor  $T_1 = 6,1$  °C. kan voor deze lucht-wp worden afgelezen dat:

het corresponderende COP-getal ca. 4,5 is.

Omdat hier is uitgegaan van de gemiddelde temperatuur is COP hier tevens SCOP

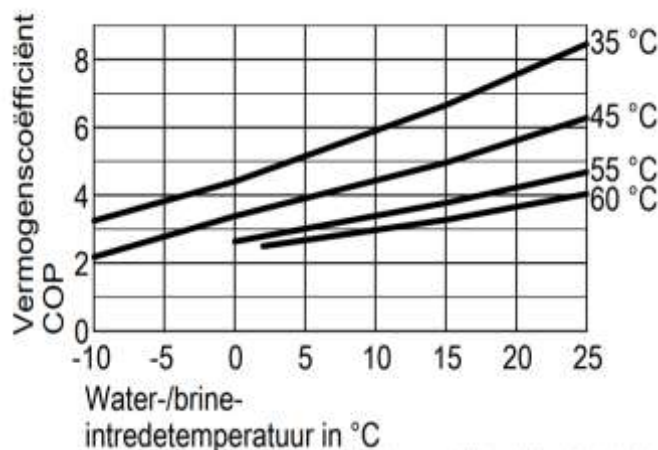
Vermogenscoëfficiënt COP bij aanvoertemperaturen 35 °C, 45 °C, 55 °C, 60 °C



De afbeelding hiernaast (ontleend aan p. 16 van ref. 8.) geeft voor een bodem-wp van Vriessmann weer hoe de relatie is tussen COP,  $T_1$  (is de parameter op de x-as) en  $T_2$ .

Voor  $T_2 = 35$  °C en voor  $T_1 = 13,0$  °C. kan worden afgelezen dat:

het corresponderende COP-getal ca. 6,4 is



Duidelijk is dat hoe hoger de temperatuur  $T_2$  is waarbij warmte wordt afgegeven, hoe lager het COP-getal is en omgekeerd. Dit is ook de drijfveer om zo sterk mogelijk toe te werken naar LTV; lage temperatuur verwarming. Dit is een separaat onderwerp dat verder buiten dit verhaal wordt gehouden.

Anderszins is het ook duidelijk dat hoe hoger de temperatuur  $T_1$  is waarbij warmte wordt aangevoerd, hoe hoger het COP-getal wordt.

En juist op dit punt haakt dit artikel verder in met de afweging lucht-wp aanschaffen of bodem-wp aanschaffen.

### 3.3 Lucht-wp

Een lucht-wp die (in de winter) gebruikt wordt voor huisverwarming, gebruikt de omringende lucht als warmtebron. Hierbij wordt de temperatuur  $T_1$  uiteraard volledig bepaald door het toeval van het weer.

M.b.v. meetgegevens van het KNMI zijn voor meetstation 370 (= Eindhoven) over de periode van de jaren 2010 t/m 2017 en voor de WINTER maanden okt, nov, dec, jan, feb en mrt, de volgende getallen voor de temperatuur gevonden in  $^{\circ}\text{C}$ .

min	gem	max
-19,5	6,1	26,3

Voor bepaling van het gemiddelde COP-getal over het stookseizoen heen, de SCOP, moet uiteraard gerekend worden met de gemiddelde temperatuur over dat stookseizoen. Dit is  $6,1^{\circ}\text{C}$ .

Uit de hiervoor gegeven afbeelding voor de samenhang tussen  $T_1$ ,  $T_2$  en COP-getal voor een lucht-wp kan voor  $T_2 = 35^{\circ}\text{C}$  en voor  $T_1 = 6,1^{\circ}\text{C}$  worden afgelezen dat het corresponderende COP-getal ca. 4,5 is.

Omdat hier is uitgegaan van de gemiddelde temperatuur is COP hier tevens SCOP.

Verdere aflezing van deze afbeelding (= lucht-wpn) leert, dat de daling van het COP-getal onrustbarend laag wordt bij lagere en echt lage buitentemperaturen  $T_1$ .

De lucht-wpn die nu in Nederland in toenemende mate verkocht worden, hebben, onder de aanduiding van airco, al een langere voorgeschiedenis buiten Nederland. In warme landen als Griekenland, Italië, Spanje enz. worden ze al massaal gebruikt voor koeldoeleinden.

Ja, als je 6-hoog op een flatje in Athene woont, en het is hartje zomer, dan is er zonder een dergelijk apparaat nauwelijks te leven.

Met de komst van de lucht-wpn naar Nederland, waait echter in Nederland ook dit gebruik van actieve koeling over. Dit verschijnsel, wat m.i. in sterke mate een commerciële achtergrond heeft, is voor Nederland m.i. absurd:

- \* Vanaf de vroegste jaartelling tot nu toe hebben we het in Nederland prima zonder actieve koeling van woningen kunnen stellen.
- \* Nu we alle zeilen moeten bijzetten om de energieconsumptie te verduurzamen, gaan we ineens – en totaal onnodig – een (behoorlijk) extra energie verbruikend apparaat introduceren.

### 3.4 Bodem-wp

Een bodem-wp die (in de winter) gebruikt wordt voor huisverwarming, onttrekt warmte aan de bodem m.b.v. een vbww (nogmaals: deze afkorting staat voor verticale bodem warmte wisselaar). Om de betekenis van e.e.a. nader te kunnen bespreken, worden eerst 4 factoren nader toegelicht die hierbij een belangrijke rol (kunnen) spelen:

a. **De (verticale) toestroom van warmte vanuit de aarde is te verwaarlozen.**

De **geothermische gradiënt** van de aarde, ofwel de toename van de temperatuur met de diepte de aardekorst in, bedraagt tussen de  $15$  en  $30^{\circ}\text{C}$ . per kilometer.



Met dit gegeven is op eenvoudige wijze te berekenen dat de warmtestroom vanuit de aarde naar het aardoppervlak toe zeer laag is en in de orde van 0,05 tot 0,10 W/m<sup>2</sup> ligt.

Om te voorzien in de warmtebehoefte van een bodem-wp met een thermisch vermogen van stel 10,0 kW zou dan tenminste 10.000/0,1 is ca. 100.000 m<sup>2</sup> grondoppervlak nodig zijn. Dit is uiteraard niet realistisch.

Zonder meer, betekent dit dan dat de bodem/bron lokaal “uitgeput” zal raken en de bodemtemperatuur in de loop van de tijd zal dalen en daarmee het COP-getal van de wp.

**b. Warmtestroming in de bodem door geleiding is heel traag.**

Wanneer de warmtestroming in de bodem alleen het gevolg is van geleiding, en niet ook het gevolg is van (horizontale) stroming van grondwater, is deze geleiding met ca. 2,2 W/m,K heel laag.

Om dan toch genoeg warmtetransport naar een bodem-wp te krijgen moet de vbww een grote lengte hebben. Deze lengte ligt in de praktijk in de orde van grootte van 100 – 400 m<sup>1</sup>. Bij een totaal lengte van stel bijvoorbeeld 250 m<sup>1</sup>, kan naar keuze dan in beginsel gekozen worden voor 1 vbww van 250 m<sup>1</sup> of 2 x 125 m<sup>1</sup> of 3 x 85 m<sup>1</sup>, etc.

In beginsel, want zoals in Eindhoven, is het niet toegestaan om tot dieper dan 80 m<sup>1</sup> in de grond te boren.

**c. Kunstmatige opwarming van bodemtemperatuur is mogelijk.**

Door het watercircuit in de vbww op een andere wijze aan te sluiten/om te keren, kan in de zomer weer warmte naar de bodem worden teruggevoerd.

Dit gebeurt hier en daar al op een wijze die aangeduid wordt als passieve koeling. Wanneer men ervaart dat het binnenshuis 's zomers te warm is, kan men dan m.b.v. deze passieve koeling gelijktijdig door afvoer van warmte het huis koelen en met deze warmte de lokale bodem weer opwarmen.

Echter deze aanpak heeft het nadeel van ‘knecht van twee meesters’; de mate van opwarming van de bodem is beperkt tot de koeling die in het huis wordt toegelaten en is derhalve dan waarschijnlijk niet zo groot als wenselijk is.

De opwarming van de bodem (in de zomer) kan op een andere wijze dan m.b.v. passieve koeling van het huis gerealiseerd worden, door hiervoor een apart warmtewisselaar-systeem toe te passen. Met dit systeem, hierna verder door mij aan te duiden met ZOMEROPLADER, kan 's zomers warmte uit de atmosfeer en/of uit de zon gehaald worden, en m.b.v. de vbww aan de bodem worden toegevoerd.

Weliswaar zijn mij uit de praktijk hiervan (nog) geen voorbeelden bekend.

AI.1 hierover informatie zoeken; dimensionering, investering e.d.

Echter de technische vraagstelling op dit punt is dermate eenvoudig, dat ik stel dat dit redelijk eenvoudig en betaalbaar mogelijk is. In beginsel kan hierbij gekozen worden uit meerdere oplossingen als:

- \* lucht/water-warmtewisselaar; een soort auto-radiator
- \* PVT; panelen gericht op de zon welke zowel stroom als warmte vangen
- \* zonnecollector
- \* ...??

Korte brainstorming over de uitvoering van de ZOMEROPLADER

Alhoewel wel in dit rijtje genoemd, lijkt een zonnecollector toch minder geschikt te zijn. Gezien het benodigde oppervlakte en de relatief dure constructie ervan, is deze meer geschikt voor verwarming in situaties waar niet al te hoge verwarmingsvermogens gevraagd worden in combinatie met hogere temperatuur (b.v. voor productie warm tapwater).

Het meest geschikt lijkt m.i. de lucht/water-warmtewisselaar. Deze is geschikt voor grotere vermogens en beperkte werktemperaturen en voor zover ik weet, relatief goedkoop.

In het geval je toch al overweegt een PV-systeem aan te schaffen, en je beschikt al over een bodem-wp of je gaat deze op termijn aanschaffen, kan je wellicht overwegen een PVT-systeem aan te schaffen.

Ten slotte:

Als je toch al beschikt over een bodem-wp mét passieve koeling, is het verstandig te overwegen achter de koelmodule in serie nog een ZOMEROPLADER te plaatsen.

Doordat de passieve koeling dan al een deel van de thermische last op zich neemt, kan op deze manier voor een kleinere lucht/water-warmtewisselaar gekozen worden.

**d. De (horizontale) stroming van grondwater speelt een rol.**

Wanneer op de plaats waar de vbww in de grond steekt, de horizontale stromingssnelheid van het grondwater te verwaarlozen is, heeft dit een nadeel en een voordeel:

\* **Nadeel**

Het warmtetransport vanuit de omringende grond naar de vbww toe wordt niet bevorderd door warmte die met het horizontaal stromende grondwater wordt aangevoerd. Ter plaatse zal hierdoor de temperatuur dieper wegzakken dan met een duidelijke aanvoer van grondwater (met warmte). Hierdoor is een grotere (=langere) vbww nodig om eenzelfde warmtevermogen te krijgen. Bovendien zal het nodig zijn in de zomer m.b.v. een ZOMEROPLADER of anderszins de bron te “regenereren”.

\* **Voordeel**

Hierdoor is het mogelijk in de zomer m.b.v. een ZOMEROPLADER de temperatuur van de bodem ter plaatse kunstmatig te verhogen tot boven het natuurlijke niveau, zonder dat deze warmte door het stromende grondwater direct afgevoerd wordt. Een hogere  $T_1$  geeft uiteraard een hoger COP-getal.

Bij een hogere niet te verwaarlozen horizontale stromingssnelheid keren beide argumenten natuurlijk om.

Hierbij vormt het uiteraard een punt dat nader dient te worden vastgesteld wat een verwaarloosbare snelheid van grondwater is en wat niet.

Voor de wijk in Eindhoven waar ik woon, heb ik met

[https://nl.wikipedia.org/wiki/Wet\\_van\\_Darcy](https://nl.wikipedia.org/wiki/Wet_van_Darcy) en met <https://www.grondwatertools.nl> berekend dat het specifieke debiet  $q$  (dit is het debiet in  $m^3/d$ , gedeeld door het oppervlakte  $m^2$  dwars op de stroomrichting) 0,005 – 0,010 m/d bedraagt.

Deze waarde, welke even goed als een snelheid kan worden gelezen, geeft aan dat het 100 tot 200 dagen duurt voordat het grondwater 1 m verder is gestroomd.

Wanneer verder bedacht wordt dat de sfeer waarin zich het warmtetransport van de bodem naar de vbww afspeelt (de cirkel rondom de vbww) in de orde van 1 – 3 m ligt, kom ik tot de conclusie dat op de plaats waar ik woon de snelheid van het grondwater m.b.t. warmteoverdracht in redelijkheid te verwaarlozen is.

Hoe het op andere plaatsen ligt, dient van geval tot geval bekeken te worden.

Alhoewel ik geen deskundige ben op dit vlak, schat ik in (Nederland is grotendeels een vlak land) dat op de veel plaatsen in Nederland de snelheid van de grondwaterstroming laag zal zijn.

Om voor jezelf een indicatie te krijgen over de grondwaterstroming op de door jou beoogde locatie, zie ref. 12.

AI.2 voor de deskundigen op dit vlak: nader uitzoeken/rapporteren

Wanneer het, gelet op het voortgaande, zinvol is om in de ZOMER de bodem met een ZOMEROPLADER te gaan "regenereren"/opwarmen, rijst natuurlijk de vraag:

Hoever kan de bodemtemperatuur en daarmee de temperatuur  $T_1$  van het water in het gesloten watercircuit dat van de bodem naar de wp toestroomt, opgevoerd worden?

En wat is daarbij de COP-winst?

Zowel de bodemtemperatuur als de temperatuur  $T_1$ , zal, binnen zekere grenzen, over een geheel jaar en ook over de jaren heen, voortdurend veranderen. Zo zullen in het stookseizoen beide dalen, om vervolgens in de zomer weer te stijgen. Deze dalingen en stijgingen zullen als gevolg van wispelturige buitentemperaturen (in

stookseizoen varieert warmtevraag met buitentemperatuur; in zomer varieert warmte terug levering ook weer met buitentemperatuur) ook nog van jaar tot jaar veranderen.

### **T<sub>1</sub> voorspellen op basis van berekening.**

In een simulatie/berekeningsmodel zullen moeten worden meegenomen:

- \* de heersende bodemtemperatuur op de diepte van de VBWW's; op mijn locatie zal deze ca. 13 – 14 °C. bedragen
- \* de luchttemperaturen in winter en zomer
- \* de technische specificaties van VBWW en ZOMEROPLADER
- \* de warmtevraag in de winter
- \* toegepaste stooklijn
- \* ...?

Gesteld kan worden dat de aanpak van het voorspellen van T<sub>1</sub> op basis van simulatie/berekening zeer ingewikkeld en tijdrovend is. Dergelijke ingewikkeld en tijdrovend dat deze aanpak buiten het kader van dit verhaal wordt gehouden.

AI.3 nader uitwerken simulatie/berekeningsmodel
AI.4 ontwerpen/berekenen ZOMEROPLADER

### **T<sub>1</sub> voorspellen op basis van ervaring en schatting.**

Van een aantal bestaande bodem-wpn mét passieve koeling in Eindhoven is mij in ieder geval één bekend waarbij T<sub>1</sub> over het jaar varieert tussen 10 en 16 °C. Gerekend met gem. 13 °C. komt dit neer op een COP (=tevens SCOP) van 6,4.

Bij deze installatie is alleen sprake van passieve koeling. Het mag verwacht worden dat wanneer de terug levering van warmte naar de bodem wordt opgevoerd door inschakeling van een extra luchtwarmtewisselaar, de COP nog verder opgevoerd kan worden. Een SCOP van 6,5 of misschien nog wel hoger lijkt dan haalbaar.

AI.5 praktijk getallen verzamelen van bestaande bodem-wpn al dan niet met passieve koeling
--------------------------------------------------------------------------------------------

## **4. Vergelijking bodem-wp versus lucht-wp**

### **4.1 Uitgangspunten van vergelijking**

- \* In deze vergelijking wordt er a priori van uitgegaan dat beide typen wpn – uiteraard bij juist ontwerp/dimensionering - qua warmtelevering volledig vergelijkbaar zijn. Hier geen discussie over.
- \* Er zijn situaties aan te wijzen waar niet gekozen kan worden voor plaatsing van een bodem-wp en er derhalve wel voor een lucht-wp gekozen móet worden.  
In Eindhoven b.v. mag, vanwege veiligstelling van de lokale drinkwaterwinning, op ca. 1/3 van het grondgebied niet in de grond geboord worden. Verder zijn er natuurlijk huizen en andere woonvoorzieningen die überhaupt niet over grond beschikken.  
Deze situaties verdienen een aparte oplossingsgerichte benadering en worden hier buiten deze vergelijking gehouden.
- \* De vergelijking tussen beide typen wpn is geconcentreerd op die verschillen tussen beide typen welke van belang zijn voor de afweging op langere termijn.  
Vanzelfsprekend is het patroon van verbruik van met name elektrische energie voor beide typen wpn hierbij van groot belang.

Immers de noodzaak tot het aanschaffen van een wp is juist gelegen in het gegeven dat hieraan 100% ten grondslag ligt: In 2050 kan een huishouden niet meer beschikken over aardgas en is er alleen nog maar elektrische energie beschikbaar.

Een vergelijking hier tussen een bodem-wp en een lucht-wp kan derhalve niet losgezien worden van de richting waarin de energielevering geduwd wordt. En dat is dat alle toekomstige energie in de toekomst duurzaam met v.n.l. zon- en windenergie opgewekt zal/moet gaan worden in de vorm van elektriciteit.

Voor onze samenleving is het natuurlijk een enorme opgave om de basis (nu)- en extra (in toekomst) hoeveelheden elektriciteit die gevraagd gaan worden, te kunnen produceren. Ook moeten deze hoeveelheden geleverd kunnen worden (distributienetten moeten voldoende zwaar gemaakt worden) op de tijd dat er vraag naar is (het vermogen van het opwekken van elektrische energie moet ten alle tijde groot genoeg zijn).

Bij volledige opwekking met zon- en windenergie speelt bovendien het probleem dat op sommige momenten veel meer geproduceerd wordt dan gevraagd (sterk in de zomer), terwijl dat op andere momenten volledig omgedraaid is (sterk in de winter). Met name komt dan in beeld dat hierbij seizoenopslag voor energie nodig is. De teveel geproduceerde energie in de zomer moet worden opgeslagen om deze in de winter vanuit deze opslag te kunnen aanwenden op momenten dat de productie te laag is.

Omzetting van water in waterstof onder aanwending van elektrische energie, opslag van waterstof en vervolgens op het moment dat dit nodig is, weer productie van elektrische energie onder aanwending van de opgeslagen waterstof, zal hierbij waarschijnlijk een hoofdrol gaan spelen.

Een interessant artikel en een dito discussie over dit thema is, o.a., te vinden bij ref. 10.

Het is m.i. evident dat door e.e.a., de kWh-prijs zich in de komende jaren in opwaartse richting zal gaan bewegen. Hierom zijn in de hierna volgende financiële vergelijking 3 scenario's met stijgende kWh-prijs (resp. 22, 25 en 28 Ecent/kWh) opgenomen.

Hoe de stijging van kWh-prijs in de toekomst precies zal gaan verlopen, is uiteraard "koffiedik kijken". Een informatieve site over van alles en nog wat op het vlak van energieprijzen, is te vinden bij ref. 11.

\* In de vergelijking is het effect van levering van warm tapwater buiten beschouwing gelaten.

Met een jaarlijkse warmtebehoefte hiervoor van ca. 2.000 – 3.000 kWh<sup>warmte</sup> en een SCOP van ca. 2,5 ( $T_1 = 6,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . -->  $T_2 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ ) voor een lucht-wp en een SCOP van ca. 3,0 ( $T_1 = 13 \text{ }^\circ\text{C}$ . -->  $T_2 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ .) voor een bodem-wp, is dit verschil zo klein dat dit buiten de vergelijking is gehouden.

\* Voor de berekeningen die hierna worden uitgevoerd, wordt uitgegaan van een gemiddelde energieverbruik per jaar in Nederland van 3.500 kWh (zonder wp) aan stroom en 1.500 m<sup>3</sup> aan aardgas zoals gegeven in ref. 12.

Er wordt van uitgegaan dat van dit gasverbruik 250 m<sup>3</sup> gas nodig is voor bereiding van warm tapwater zodat voor gasverbruik nodig puur voor ruimteverwarming, gerekend moet worden met 1.250 m<sup>3</sup> aan aardgas.

elektriciteitsverbruik	3.500	kWh <sup>elektrisch</sup> /jr	basisverbruik zonder wp
warmteverbruik alleen voor ruimteverwarming	11.000	kWh <sup>warmte</sup> /jr	dit is equivalent aan 11.000/8,9 = ca. 1.250 m <sup>3</sup> aardgas/ jaar

Gerekend met jaarlijks 1.650 vollasturen, betekent dit dat voor dit "gemiddelde" huishouden een wp met een thermisch piekvermogen van 11.000/1.650 = ca. 6,7 kW nodig is.

\* Veelvuldig wordt bij het schetsen van financiële plaatjes bij aanschaf van een wp het begrip terugverdientijd gebruikt. Hierbij worden de (lagere) kosten van een situatie mét wp vergeleken met de (hogere) kosten van de situatie waarbij alleen aardgas voor verwarming gebruikt wordt.

Om in ieder geval 2 redenen is dit m.i. een onjuiste en ook misleidende benadering:

\*\* Een aanschaf van een verwarmingsinstallatie valt in dezelfde categorie als het kopen van een huis. Je koopt een huis niet met de verwachting om er (ooit?/nooit?, direct?) aan te gaan verdienen. Je koopt een huis om er op een comfortabele wijze in te gaan wonen. Overigens is het inmiddels op de huizenmarkt wel zo dat de waarde van een huis hoger is naarmate dit huis energetisch duurzamer is.

\*\* Een financiële vergelijking met een situatie die actief en maatschappij-breed geblokkeerd gaat worden, schetst, voortschrijdend in de tijd, in toenemende mate een fout beeld. Sprekende over een technische levensduur (verder hier aan te duiden met tld) voor verwarmingsapparatuur, zoals CV-ketels en wpn, van ca. 15 jaar, hebben wij nog maar 2 tld's te gaan voordat de oude situatie met mogelijkheid om aardgas voor verwarming te gebruiken, volledig is weggenomen.

Ja, met deze voorstelling van zaken zal het als gevolg van het maatschappelijke opschroeven van de prijs van aardgas, op korte termijn steeds aantrekkelijker worden om iets te doen. Maar wat dan?

In deze vergelijking tussen de 2 relevante typen wpn, waarbij een lans gebroken wordt voor de bodem-wp, wordt voor wat betreft het financiële plaatje alleen gerekend met kosten (verschillen) en niet met terugverdientijden.

## 4.2 Technische- en kostprijsvergelijking van de 2 typen wpn

Het technische/natuurkundige basisprincipe van een bodem- en een lucht-wp is volledig gelijk.

Zo maken beide huidige typen wpn gebruik van z.g.n. scrollcompressoren voor het comprimeren van de werkstof. Los van mogelijk kleine technische verschillen tussen de verschillende merken en typen, zijn de grote verschillen die aangewezen kunnen worden:

	Bodem-wp	Lucht-wp
Verdamper ontvangt warmte via:	water m.b.v. recirculatiepomp; verdamper is van het type water/water-warmtewisselaar	buitenlucht m.b.v. ventilator; verdamper is van het type lucht/water-warmtewisselaar
Ontdooi-cyclus:	niet aan de orde	doordat de gebruikte buitenlucht altijd meer of minder vochtig is, vindt aan de buitenkant van de verdamper van tijd tot tijd ijsafzetting plaats; om de dan optredende blokkering van de werking op te heffen, heeft een lucht-wp een voorziening waarmee het mogelijk is om het aan de buitenzijde gevormde ijs te ontdooien

Wanneer gekeken wordt naar de grootte/kostprijs van de relevante onderscheidende onderdelen en ook naar de daarmee gepaard gaande secundaire effecten op energieverbruik, kan het volgende opgemerkt worden:

- \* Een betreffende ventilator is groter en zal een hogere kostprijs hebben dan een betreffende recirculatiepomp. Ook zal een ventilator bij een lucht-wp meer elektrische energie verbruiken dan een circulatiepomp bij een bodem-wp.
- \* Het is een natuurkundig gegeven dat de weerstand tegen warmtestroming vanuit een bulk naar een (metalen) wand toe, voor lucht véél groter is dan voor water. Dat betekent dat een lucht/water-warmtewisselaar, om een gelijke warmteoverdracht te kunnen realiseren, aan de opnamekant een veel groter warmte opnemend oppervlak moet hebben dan een water/water-warmtewisselaar. Dat betekent tevens dat de kostprijs voor een lucht/water-warmtewisselaar groter zal zijn, dan die voor een water/water-warmtewisselaar.
- \* De diverse merken lucht-wpn zijn voorzien van een dooicyclus met alles erop en eraan. Hoe hierbij e.e.a. technisch precies is uitgewerkt, weet ik niet. Dit is ook niet nodig om te kunnen concluderen dat een bodem-wp, op dit punt technisch eenvoudiger is (geen extra klepjes, sensoren, sturingsregeling, e.d.) en derhalve qua kostprijs ook goedkoper zal/moet zijn. Daarnaast komt dat een dooicyclus betekent dat op het moment dat deze actief wordt, de warmtelevering stil ligt. Om dit bij herhaling tijdelijke wegvallen van de warmtelevering later weer in te halen, zal de wp een grotere capaciteit moeten hebben. Ook dit zal een (extra) opwaarts effect op de kostprijs hebben.

De conclusie die hier getrokken kan worden, is dat een bodem-wp structureel eenvoudiger van opbouw is dan een lucht-wp en dat deze daarom een lagere kostprijs kan en ook moet hebben.

Ook is het energieverbruik van een bodem-wp systematisch (iets) lager (geen ventilator).

Een systematisch onderzoek naar marktprijzen voor beide type wpn is door mij niet uitgevoerd. Daar weet ik dus onvoldoende van. Wel meen ik opgevangen te hebben dat de lucht-wpn die nu "over de toonbank gaan" goedkoper zijn dan bodem-wpn en daarbij voor de laatste nog gerekend exclusief de investering voor de vbww. Als dit zo zou zijn, dan staat dit haaks op de conclusie direct hierboven. Deze tegenstelling moet dan veroorzaakt worden door het feit dat lucht-wpn (nog) een groter schaalvoordeel hebben (zie tekst hiervoor) doordat ze al op grotere schaal geproduceerd worden in/voor landen waar ze als airco worden gebruikt.

AI.6	Vergelijken marktprijzen bodem-wpn en lucht-wpn
AI.7	Overheid attent maken op dit ongewenste prijsnadeel en deze aansporen om haar subsidiebeleid in de goede richting om te buigen; b.v. bodem-wp méér subsidie en lucht-wp minder subsidie

### 4.3 Vergelijking van afnamepatroon voor energie voor de 2 typen wpn op piekmomenten

Uiteraard moet voor het afnamepatroon van de 2 typen rekening gehouden worden met pieksituaties, of anders gezegd, met de momenten dat het buiten het bitterkoud is.

Hierbij vormt een belangrijk verschilpunt tussen de 2 typen wpn de betreffende bron en daarmee de constantheid van  $T_1$ .

Bij een lucht-wp vormt de buitenlucht de bron en daarmee is  $T_1$  hier net zo weinig constant als het weer. Er moet rekening gehouden worden met de laagst mogelijk buitentemperatuur.

Hier wordt daarvoor  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . aangehouden.

Bij een bodem-wp vormt de bodem de bron. Met toepassing van een ZOMEROPLADER kan voor  $T_1$  dan tussen tussen  $10$  en  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ . gehaald worden.

Hier wordt de laagste waarde  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . aangehouden.

Uitgaande van een benodigd thermisch piekvermogen van  $6,7\text{ kW}$ , is in onderstaande tabel voor beide typen wpn uitgerekend wat het elektrisch piekvermogen is op momenten met laagste buitentemperaturen.

Maximaal opgenomen vermogen op koudste moment in winter			
	voor een	lucht-wp	bodem-wp
bij een temp. $T_1$	-20,0	10,0	$^{\circ}\text{C}$
is sprake van COP =	2,2	5,9	
bij een piekvermogen voor warmtelevering van	6,7	6,7	$\text{kW}^{\text{warmte}}$
ontstaat een piekvermogen opname elektra van	3,0	1,1	$\text{kW}^{\text{elektra}}$

Met resp.  $3,0$  en  $1,1\text{ kW}$  blijkt het opgenomen piekvermogen voor een lucht-wp  $3,0/1,1 = 2,7$  x zo groot te zijn als dat van een bodem-wp.

Gezien vanuit verbruiker

Een vermogen van  $1,1\text{ kW}$  kan op 1 (liefst aparte) eenvoudige 1-fasen groep ( $230\text{ V}$ , max  $16\text{ A}$ ) in de meterkast van een doorsnee huis worden aangesloten. Dit kan ook nog voor een lucht-wp met een thermisch vermogen van  $3,0\text{ kW}$ . Bij een lucht-wp met een thermisch vermogen iets groter dan  $8\text{ kW}$  zal dit niet meer kunnen en zal (dit is  $> 230 \cdot 16 = 3,68\text{ kW}$ ) een 3-fasengroep nodig zijn. Extra kosten?

Gezien vanuit energieleverancier.

De leverancier van elektra zal de levering van dit vermogen van 3,0 kW uiteraard moeten kunnen garanderen en zal hiervoor productiecapaciteit moeten hebben of installeren. Omdat dit vermogen maar gedurende korte momenten in het jaar nodig zal zijn, is dit kostbaar. Het ligt dan ook in de rede dat hiervoor extra kosten berekend gaan worden.

Een "oplossing" voor dit laatste probleem bij lucht-wpn, die nu veelal toegepast wordt, is het toepassen van een hybride werking. Wanneer de buitentemperatuur beneden een zekere waarde komt, en de lucht-wp alleen met een lage en minder voordelige COP kan werken, neemt de (bestaande?) cv-ketel de verwarming over. Wanneer de buitentemperatuur weer boven deze zekere waarde komt, neemt de lucht-wp de verwarming weer over.

Het kiezen voor zo'n hybride toepassing, waarbij toch nog teruggevallen wordt op het gebruik van aardgas is natuurlijk aan te duiden als een oplossing van het type "dweilen met de kraan open".

#### 4.4 Vergelijking van elektraverbruik over een heel jaar

In de tabel hieronder is, met de hiervoor gegeven getallen, uitgerekend hoe groot het jaarlijkse elektraverbruik voor de 2 typen wpn is. Daarnaast is uitgerekend hoe dit elektraverbruik zich verhoudt t.o.v. een gegeven jaarlijks basisverbruik (zonder toepassing van een wp).

Afname elektra over een heel jaar				vergelijking
voor een	<b>lucht-wp</b>	<b>bodem-wp</b>		<b>lucht-wp/bodem-wp</b>
bij warmteverbruik	11.000	11.000	kWh <sup>warmte</sup> /jr	
en bij een temp. T <sub>1</sub>	6,1	13,0	°C	
is sprake van een SCOP =	4,5	6,4		
en is jaarlijkse el. verbruik voor wp	2.444	1.719	kWh <sup>elektra</sup> /jr	1,42
t.o.v. een jaarlijkse basis el. verbruik van	3.500	3.500	kWh <sup>elektra</sup> /jr	
geeft werking van wp een stijging van	70%	49%		1,42

Met 2.444 kWh<sup>elektra</sup> voor een lucht-wp tegen 1.719 kWh<sup>elektra</sup> voor een bodem-wp, valt het jaarlijkse elektraverbruik voor een lucht-wp ruim 40% hoger uit dan dat voor een bodem-wp. De inkoopkosten voor elektriciteit vallen voor de gebruiker uiteraard overeenkomstig hoger of lager uit.

#### 4.5 Kosten vergelijking 2-typen wpn

De navolgende kostenvergelijking is differentiërend opgezet. Er is naar toegewerkt, om alleen de kostenverschillen die het echte verschil maken, naar voren te krijgen.

- \* Ervan uitgaande dat de benodigde investeringen voor beide typen wpn in "kale" vorm (voor de bodem-wp is dit nog gerekend zonder investering voor de vbww en ZOMEROPLADER) op zijn slechtst (voor de bodem-wp) gelijk zijn, zijn de afschrijvingskosten en de rentekosten voor beide typen wpn gelijk en worden verder buiten de berekening gehouden.
- \* Een "kale" bodem-wp kan uiteraard niet werken. Deze heeft een bron met een vbww nodig. Dit maakt, los van het voorgaande, dat er in de vergelijking wel een verschil in investering opgenomen moet worden. Van 2 eigenaren van bodem-wpn in Eindhoven heb ik mondelinge informatie gekregen waaruit ik voor een vbww de volgende globale kengetallen kan afleiden:

Benodigde lengte vbww per kW nominaal vermogen	27 m <sup>1</sup> /kW
Benodigde investering incl. BTW	30 E/m <sup>1</sup>

Voor een bodem-wp voor een gemiddelde huishouden is berekend dat een thermisch vermogen van 6,7 kW nodig is. Daarvoor is nodig  $6,7 \times 27 = 180 \text{ m}^3$  vbww en een investering van  $180 \times 30 = 5.400$  incl. BTW.

Een vbww heeft echter een zeer lange stand tijd. Hier wordt er vanuit gegaan dat deze tenminste 5 tld's van elk 15 jaar ofwel 75 jaar kan bedragen. Overeenkomstig worden de investeringskosten voor de vbww uitgesmeerd over deze 5 tld's. Net als in de voorgaande overweging, worden rentekosten niet meegerekend.

- \* Teneinde een maximale COP te kunnen halen is in de configuratie voor de bodem-wp die hier voor ogen staat, een ZOMEROPLADER meegenomen. Uiteraard is hiervoor boven de "kale" versie een investering nodig. Arbitrair is hiervoor een bedrag van E 1.500,= en een stand tijd van 2 tld's ofwel 30 jaar aangenomen. Ook hiervoor worden rentekosten niet meegerekend.
- \* Onder dezelfde overweging als hiervoor, dat de investeringen voor beide typen wpn in "kale" vorm gelijk zijn, en daarmee de grootte en onderhoudsgevoeligheid ervan, wordt aangenomen dat de onderhoudskosten voor beide typen wpn gelijk zijn en worden ook deze kosten verder buiten de berekening gehouden.
- \* Aldus kan in navolgende tabel, voor 3 scenario's voor de kWh-prijs, en bij 2 scenario's voor de COP voor de bodem-wp, uitgerekend worden wat de kosten en kostenverschillen voor de 2 typen wpn zijn.
- \* Ten overvloede wordt hier benadrukt dat de financiële vergelijking die hierna is gemaakt, is gemaakt voor "complete" wp-configuraties voor beide typen (voor de bodem-wp dus incl. vbww en ZOMEROPLADER) en dat de vergelijking hier over langere termijn is gemaakt.

TLD = technische levensduur van een wp				
<b>Vergelijking kosten Lucht-wp versus Bodem-wp</b>				
<b>Uitgangspunten voor kosten vergelijking</b>				
	stookwaarde aardgas		8,8	kWh <sub>th</sub> /m <sup>3</sup>
	aardgas voor verwarming ca.		1.250	m <sup>3</sup> gas/jr
	Warmtevraag =		11.000	kWh <sub>th</sub> /jr
	TLD		15	jr
Prijs elektra =	0,22	0,25	0,28	E/kWh <sub>el</sub>
<b>Lucht-wp met SCOP = 4,5</b>				
	= elektra verbruik		36.667	kWh <sub>el</sub> /TLD
	zijn kosten elektra over looptijd			
	8.067	9.167	10.267	E/ TLD
<b>Bodem-wp</b>				
bij SCOP	is elektra verbruik over looptijd			
6,3	26.190			kWh <sub>el</sub> /TLD
6,5	25.385			kWh <sub>el</sub> /TLD
bij SCOP	zijn kosten elektra over looptijd			
6,3	5.762	6.548	7.333	E/ TLD
6,5	5.585	6.346	7.108	E/ TLD
bij SCOP	is bruto kostenvoordeel elektra tov lucht-wp			
6,3	2.305	2.619	2.933	E/ TLD
6,5	2.482	2.821	3.159	E/ TLD
<b>bruto kostenvoordeel verminderen met investering voor bron en voor lucht-ww</b>				
	investering	standtijd in # TLD's	E/ TLD	
voor VBWW	5.400	5	1.080	E/ TLD
voor lucht-ww	1.500	2	750	E/ TLD
	totaal af van bruto kostenvoordeel		1.830	E/ TLD
bij SCOP	is netto kostenvoordeel elektra tov lucht-wp			
6,3	475	789	1.103	E/ TLD
6,5	652	991	1.329	E/ TLD



Geconstateerd kan worden dat hierbij in alle scenario's de bodem-wp een gering maar onderscheidend financieel netto voordeel heeft boven de lucht-wp. Dit voordeel loopt op met oplopende SCOP en oplopende kWh-prijs. Ook al zou de prijs van een vergelijkbare "kale" bodem-wp op dit moment door schaalnadeel nog hoger zijn dan de prijs voor een lucht-wp, dan is het onwaarschijnlijk dat dit prijsnadeel veel groter zal zijn dan het hier berekende voordeel.

Wanneer bovendien gelet wordt op het gegeven dat een bodem-wp:

- \* een lager jaarlijks elektraverbruik heeft, dat  $1.719/2.444 = \text{ca. } 2/3$  x dat van een lucht-wp zal bedragen,
- \* en dat een lucht-wp een erg hoog piekvermogen heeft dat met ca.  $3,0/1,1 = \text{ca. } 2,7$  x dat van een bodem-wp zal bedragen,
- \* en de vraag gesteld moet worden, hoe, en of, dit verbruik en vermogen in de toekomst op alle momenten gerealiseerd kan worden, en wat de waarschijnlijke consequenties zijn voor de prijs van elektra,

dan kan gesteld worden dat gezien vanuit financieel oogpunt de keuze voor een bodem-wp de beste is.

## 4.6 Overige vergelijking tussen de 2-typen wpn

Naast het financiële voordeel dat de bodem-wp boven de lucht-wp heeft, heeft de bodem-wp nog 2 voordelen boven de lucht-wp.

### **Met bodem-wp is koeling van een huis technisch redelijk eenvoudig en goedkoop mogelijk**

Koeling van een huis is met een bodem-wp simpel en zonder grote kosten mogelijk door passieve koeling toe te passen.

Dit kan eenvoudig worden gerealiseerd door het installeren van een by-pass in het watercircuit tussen de LTV-verwarming in het huis en de vbww waardoor de wp gepasseerd wordt, en door het omdraaien van de stroomrichting in het watercircuit in de vbww.

Wanneer de passieve koeling in werking is:

- + draait alleen de recirculatiepomp met een zeer laag energieverbruik
- + en staat de wp zelf uit zodat deze geen energie verbruikt

Koeling van een huis met een lucht-wp kan alleen worden uitgevoerd met actieve koeling.

Actieve koeling is minder eenvoudig en goedkoop dan passieve koeling. Het is hierbij nodig dat de richting van de warmtestroom in de wp zelf wordt omgedraaid.

Verder is het nodig dat tijdens de koeling de lucht-wp draait. Deze heeft een aanzienlijk hoger energie verbruik dan een circulatiepomp.

### **Bodem-wp heeft geen risico van geluidsoverlast**

Een lucht-wp werkt met een buiten-unit met een grote ventilator, die nogal wat geluid/lawaai kan produceren wat kan leiden tot last bij jezelf en overlast bij de burens.

Een bodem-wp is een apparaat dat binnen opgesteld wordt en dat van zich zelf een geringe geluidsproductie heeft. Hierdoor is het risico van veroorzaken van geluidsoverlast bij een bodem-wp niet aanwezig.

## REFERENTIES

1. [https://www.europa-nu.nl/id/vjmhg41ub7pp/klimaatconferentie\\_parijs\\_2015\\_cop21](https://www.europa-nu.nl/id/vjmhg41ub7pp/klimaatconferentie_parijs_2015_cop21)
2. <https://www.nrc.nl/nieuws/2016/12/07/energieagenda-kamp-einde-aan-koken-op-gas-5684284-a1535388>
3. <https://www.volkskrant.nl/economie/ineens-lijkt-waterstof-het-antwoord-op-alle-energieproblemen-waar-komt-al-dat-enthousiasme-vandaan-~bd2acf2c4/>
4. <https://040energie.nl/warmtepomp/warmtepomp-informatie/>
5. <http://www.duurzaambesparen.nl/duurzaam2009/html/wp/viessmann/VakreekswarmtepompenNL.pdf>
6. <https://warmtepomp-weetjes.nl/>
7. Ontwerphandleiding VITOCAL Lucht/water-warmtepomp, split-unit 3,2 tot 14,7 kW van Vriessmann; op internet te vinden door intypen van: 5798222-NL OH VITOCAL 200-S, 222-S 5-2018.pdf
8. Ontwerphandleiding VITOCAL Brine/water- en water/water-warmtepompen Een- en 2-traps, 5,6 tot 117,8 kW van Vriessmann; op internet te vinden door intypen van: 5819541-NL OH Vitocal 5,6-117,8 kW 5-2018.pdf
9. <http://irisbuurt.nl/samenstelling-en-grondwatersituatie/>
10. <https://www.wattisduurzaam.nl/16238/energie-beleid/waterstof-uit-waardeloze-groene-stroom-is-keihard-kansloos/>
11. <https://goedkopeenergieengas.nl/energie/>  
Zie hier b.v. <https://goedkopeenergieengas.nl/energieprijzen-2019/>  
en <https://goedkopeenergieengas.nl/energie/prijs-per-kwh/>
12. <https://www.energiesite.nl/veelgestelde-vragen/wat-is-een-gemiddeld-energieverbruik/>

Disclaimer: Aan de inhoud van dit artikel kunnen geen rechten worden ontleend.