

76363973-CES/PTM 12-4575

**Quickscan potentie van warmtepompen
voor energiebesparing bij teelten met een
laag energieverbruik**

Arnhem, 11 juni 2012

Auteur: J.A.F. de Ruijter

In opdracht van Productschap Tuinbouw en Ministerie van Economische Zaken, Landbouw,
en Innovatie



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

auteur : J.A.F. de Ruijter
B 62 blz.

 12-06-28
4 bijl. MvD

beoordeeld : A. Groenevelt
goedgekeurd : M.R. de Potter

 12-06-29
 12-06-29

Dit rapport is mede mogelijk gemaakt door subsidieverlening door het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit in het kader van het programma Kas als Energiebron (PT-projectnummer 13496).



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie



© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Het is verboden om dit document op enige manier te wijzigen, het opsplitsen in delen daarbij inbegrepen. In geval van afwijkingen tussen een elektronische versie (bijv. een PDF bestand) en de originele door KEMA verstrekte papieren versie, prevaleert laatstgenoemde.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

De inhoud van dit rapport mag slechts als één geheel aan derden kenbaar worden gemaakt, voorzien van bovengenoemde aanduidingen met betrekking tot auteursrechten, aansprakelijkheid, aanpassingen en rechtsgeldigheid.

INHOUD

blz.

SAMENVATTING	6
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond/probleemstelling	9
1.2 Doelstelling	10
1.3 Leeswijzer	11
2 Raming energiebehoefte	12
2.1 Referentieteelt radijs	12
2.2 Referentieteelt "koude potplant"	15
3 Warmtepompen en warmtebronnen	17
3.1 Algemene beschouwing warmtepompen, voor-/nadelen, principe keuze.....	17
3.2 Alternatieve (niet-aquifer gebaseerde) warmtebronnen	20
3.3 Beschouwing benodigde aanpassingen in/rond de kas	23
3.4 Beoordeling wenselijkheid van warmtebuffer.....	24
3.5 Energetische beschouwing: afschatting benodigde hulpenergie en potentiële energiebesparing	25
3.5.1 Resultaten energieberekeningen radijs	25
3.5.2 Resultaten energieberekeningen koude potplant	30
3.5.3 Overzicht energieberekeningen WP-varianten	32
4 Rentabiliteit	38
4.1 Ruwe investeringsraming	38
4.2 Operationele kosten	40
4.2.1 Bedrijfseconomische uitgangspunten	40
4.2.2 Energiekosten en onderhoudskosten	41
4.3 Rentabiliteitsbeschouwing	43
4.4 Gevoeligheidsanalyse	43
4.5 Energie-investeringsaftrek.....	45
5 Conclusies en aanbevelingen	46
5.1 Conclusies	46
5.2 Aanbevelingen	47
LITERATUUR.....	48

Bijlage A	Warmtevraag en kas	49
Bijlage B	Klimaatreferentiejaar	52
Bijlage C	Details Jaarrondberekeningen WP-concepten	54
Bijlage D	Energie-investeringsaftrek (EIA).....	60

SAMENVATTING

Warmtepompen (WP's) bieden in potentie goede mogelijkheden voor een flinke besparing op het gasverbruik van glastuinbouwbedrijven. Dit komt omdat een WP met behulp van een relatief kleine hoeveelheid hoogwaardige energie een 1.5 tot 6 maal zo grote hoeveelheid laagwaardige warmte kan opwaarderen tot een voor verwarming bruikbaar temperatuurniveau. De laagwaardige warmte kan afkomstig zijn uit de omgeving (bijvoorbeeld uit oppervlaktewater, buitenlucht of de bovenste laag van de bodem) en heeft dan een duurzaam karakter, of restwarmte betreffen uit een naburig proces of "afvalwarmte" uit een gebouw. Warmtepompen worden daarom beschouwd als één van de belangrijkste opties voor het (mede) realiseren van een energie-efficiënte en meer duurzame glastuinbouw. Door de sterk gestegen gasprijzen sinds 2004, zijn warmtepompen de laatste jaren financieel aantrekkelijker geworden en weer meer in de belangstelling komen staan. Toch is toepassing niet evident, omdat een warmtepomp zowel technisch als bedrijfseconomisch goed moet worden ingepast. Het laatste betekent, dat de terugverdientijd voldoende kort moet zijn, om de tuinder tot investering te doen overgaan. Een bottleneck betreft vaak de kosten van de warmtebron. Warmtebronnen die hun warmte uit een watervoerende laag in de bodem (aquifer) halen, zijn technisch vaak goed geschikt, maar zijn duur. Verder moeten ze in het algemeen worden geregenereerd, omdat anders door afkoeling de prestatie geleidelijk terugloopt.

In opdracht van het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (voorheen: Ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit) is een studie uitgevoerd naar de potentie van warmtepompen voor energiebesparing bij teelten met een laag energieverbruik, uitgaande van alternatieve (niet aquifer gebaseerde) warmtebronnen.

Daartoe zijn 2 referentieteelten gedefinieerd die model staan voor energiearme teelten maar onderling toch voldoende verschillen, te weten radijs en koude potplant. De eerste kent vanwege de lage gewenste dag- respectievelijk nachttemperatuur in de kas (circa 12/8 °C) slechts gedurende 3000 uren een verwarmingsbehoefte (gasverbruik bij ketelverwarming circa 5 à 12 m³/m²). De tweede betreft een "koude potplanten" teelt met wat hogere maar nog steeds relatief lage kastemperaturen (dag/nacht nominaal 15/13 °C) en een verwarmingsduur van circa 6000 uren per jaar (gasverbruik bij ketelverwarming ordegrootte 20 m³/m²).

Voor elk van deze teelten is op basis van een kasmodel het uurlijkse warmtevraagpatroon bepaald uitgaande van een karakteristiek klimaatreferentiejaar. Hiervan is een jaarwarmte-

vraagduurkromme afgeleid. Deze vormen de basis voor de dimensionering (qua thermisch vermogen) van het nieuwe warmtepompgebaseerde verwarmingsconcept. Er is vanuit financieel oogpunt gekozen voor een hybride concept waarbij de basis warmtevraag wordt ingevuld met de warmtepomp en een eventueel resterende warmtevraag (piekvraag) met de bestaande gasketel.

Wat betreft de warmtepomp zijn er in de studie twee typen beschouwd: een elektrische warmtepomp (EWP) en een gasmotorgedreven warmtepomp (GMWP), die elk hun eigen voor- en nadelen hebben. Ten aanzien van de warmtebronnen is na een eerste brontype-evaluatie gekozen voor de volgende twee warmtebronnen: oppervlaktewater en buitenlucht. Met deze keuzen resteren er $2 \times 2 \times 2 = 8$ te evalueren combinaties van teelt/warmtepomp/warmtebron ("teelt/WP/Wbron-varianten"), naast twee referentiesituaties (radijs met ketelverwarming; potplant met ketelverwarming).

Met behulp van modelberekeningen is uitgaande van de warmtevraagprofielen van de teelten voor elk van de 8 teelt/WP/Wbron-varianten een jaarrondberekening uitgevoerd, waarbij de WP-warmteproductie, het daarvoor benodigde elektriciteits- en/of gasverbruik, de WP-dekkingsgraad, de COP (coëfficiënt of performance) en het resterende gasverbruik door de ketel is bepaald. Tevens is voor elk van de varianten het benodigde primaire-energieverbruik en de CO₂-emissie (op macroschaal) geraamd en de besparing hierop ten opzichte van de betreffende referentiesituatie berekend.

Bij energiearme teelten zoals koude potplant respectievelijk radijs, kan een elektrische warmtepomp op oppervlaktewater een primaire-energiebesparing van circa 37% à 38% realiseren en op buitenlucht van circa 22%. Bij een gasmotorwarmtepomp op oppervlaktewater is dat circa 43% en op buitenlucht circa 30 à 34%.

Voor de bepaling van de bedrijfseconomische aantrekkelijkheid zijn de bedrijfseconomische uitgangspunten gekozen (waaronder keuze van gas- en elektriciteitsprijzen) en zijn per teelt-WP/W-bronvariant investeringsramingen opgesteld en de verwachte jaarlijkse energie- en onderhoudskosten bepaald. Uit de verwachte investering en de besparing op netto operationele (=energie+onderhouds-)kosten is vervolgens de terugverdientijd van de verschillende varianten berekend. Verder is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor variaties in de belangrijkste uitgangspunten. Uit de studie kunnen de volgende bedrijfseconomische conclusies worden getrokken:

- 1 bij de huidige energieprijzen en verwachte benodigde investeringen wordt voor de verschillende WP-varianten (zonder energie-investeringsaftrek) een terugverdientijd verwacht van circa 6 tot 70 jaar, afhankelijk van het type warmtepomp, de aard van de warmtebron en de teelt
- 2 bedrijfseconomisch is de gasmotorwarmtepomp bij koude potplant op oppervlaktewater het meest aantrekkelijk met een verwachte terugverdientijd van circa 6.2 jaar
- 3 voor de elektrische warmtepomp op oppervlaktewater is dat circa 8 jaar
- 4 een warmtepomp op buitenlucht is financieel minder aantrekkelijk vanwege de gemiddeld lagere COP en de extra elektriciteitskosten voor aandrijving van de ventilatoren die de buitenlucht aanvoeren naar de verdampers
- 5 een warmtepomp bij radijs is (onder de huidige marktomstandigheden) bedrijfseconomisch niet interessant. De bedrijfstijd is te kort om tot een redelijke terugverdientijd te komen
- 6 de terugverdientijd is sterk gevoelig voor de gasprijs. Bij een stijging van 20% (en gelijkblijvende elektriciteitsprijs) daalt de terugverdientijd sterk. Bij een gasmotorwarmtepomp op oppervlaktewater bedraagt die daling circa 1.2 jaar en wordt dan circa 5 jaar
- 7 indien optimaal gebruik gemaakt kan worden van Energie-investeringsaftrek, daalt de TVT van de gasmotorwarmtepomp op oppervlaktewater bij koude potplant naar circa 5.6 jaar
- 8 onder de huidige marktomstandigheden zal door veel tuinders naar verwachting de terugverdientijd van het warmtepomp/ketelverwarmingsconcept ook bij koude potplant als te lang worden ervaren. Bij verder stijgende gasprijzen kan dit echter wel snel interessant worden en het verdient derhalve aanbeveling de "economische omgeving" goed in de gaten te blijven houden.

1 INLEIDING

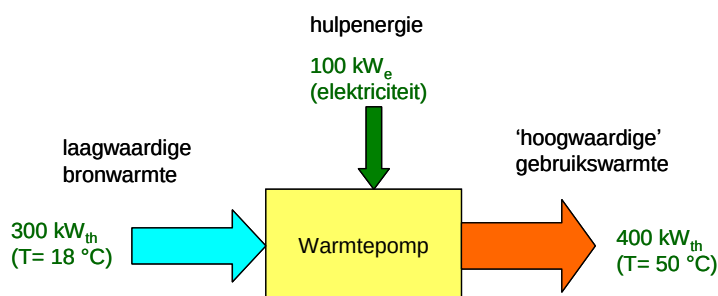
1.1 Achtergrond/probleemstelling

Warmtepompen (WP's) bieden in potentie goede mogelijkheden voor een flinke besparing op het gasverbruik (circa 10 à 30%; bij gesloten kasconcepten zelfs tot circa 40%, [1]). WP's zijn bij uitstek geschikt om de energievoorziening van de glastuinbouw voor een belangrijk gedeelte te verduurzamen. Ze zijn immers in staat laagwaardige, maar duurzame warmte afkomstig van de zon, die is ingevangen in de omgeving (in bijvoorbeeld lucht, oppervlaktewater, of bovenste laag van de bodem) op te waarderen tot bruikbare warmte voor kasverwarming. Dit alles met een relatief gering verbruik van hoogwaardige (aandrijf)energie. Warmtepompen worden daarom beschouwd als één van de belangrijkste opties voor het (mede) realiseren van een energie-efficiënte en duurzame glastuinbouw. Door de sterk gestegen gasprijzen sinds 2004, zijn warmtepompen de laatste jaren financieel aantrekkelijker geworden en weer meer in de belangstelling komen staan.

Een belangrijke voorwaarde voor een geslaagde toepassing van warmtepompen is de beschikbaarheid van een geschikte en betaalbare warmtebron voor de WP (van voldoende capaciteit en vermogen). Watervoerende zandlagen in de bodem (aquifers) zijn in het algemeen (technisch) prima geschikt als warmtebron, mits deze gedurende het warme deel van het jaar thermisch worden geregenereerd. Dit is zowel

voor het energetisch goed blijven functioneren van belang, alsook vereist voor de benodigde vergunning in het kader van de Waterwet. Een beperkende factor kan zijn, dat er afhankelijk van de locatie van de putten, de opslagcapaciteit en de grondwaterstroming interferentie kan optreden met naburige aquifergebaseerde bronnen of dat de opgeslagen warmte wegstroomt. Daardoor is toepassing niet altijd mogelijk. Een (ander) nadeel van aquiferbronnen is, dat ze een forse investering vragen, die niet in alle toepassingssituaties/prijsscenario's kan worden terugverdiend.

Indien er een andere, goedkopere warmtebron kan worden gevonden, dan kan de warmtepomp mogelijk ook binnen het bereik komen van teelten met een relatief laag energie-



Figuur 1-1 Principeschema van functie van een warmtepomp (WP). Een WP zet laagwaardige warmte met behulp van relatief geringe hoeveelheid hoogwaardige hulpenergie om in hoogwaardige(re), bruikbare warmte. In dit voorbeeld wordt uit 300 kW warmte van 18°C met behulp van 100 kW elektriciteit 400 kW warmte van 50 °C gemaakt. Deze warmtepomp heeft een zogenaamde prestatiecoëfficiënt (COP=coefficient of performance) van $400/100 = 4$

verbruik ($12 \text{ à } 20 \text{ m}^3_{\text{ae}}/\text{m}^2$). In de woningbouw worden vaak verticale bodemwarmte-wisselaars gebruikt. Deze gesloten bronsystemen liggen in het algemeen op een beperkte diepte (vaak minder dan 60 à 80 m) en kunnen met eenvoudige boortechneken worden aangebracht, maar hebben per wisselaar een beperkte capaciteit. Mogelijk kunnen ze door parallelschakeling toch geschikt zijn voor toepassingen op glastuinbouwbedrijven met een beperkte warmtevraag. Indien niet de bodem als warmtebron kan worden gebruikt, dan blijven de volgende bronnen over:

- lucht (het meest voor de hand ligt buitenlucht)
- water in de omgeving (dit kan stromend water zijn, zoals beken of sloten, of eventueel oppervlaktewater of zeewater).

In deze verkennende studie wordt nagegaan wat de mogelijkheden (en beperkingen) zijn van warmtepompen op basis van andere dan aquifergebaseerde warmtebronnen, ten behoeve van teelten met een beperkt warmteverbruik. Wat betreft de warmtebronnen wordt specifiek aan lucht, (oppervlakte)water en eventueel verticale bodemwarmtewisselaars gedacht. Vragen die ten aanzien van de bronnen en het daarop gebaseerde warmtepompsysteem leven, zijn: wat kan zo'n systeem energetisch betekenen voor het netto primaire-energieverbruik, hoeveel elektriciteit is er nodig, hoeveel (bron-)lucht- of waterverplaatsing is er nodig (per ha kas), hoeveel koelt het medium hierbij af? Verder welk type warmtepomp is het meest geschikt? Welke COP (coëfficiënt of performance) is er mogelijk met de warmtepomp/broncombinatie? Welke investering is er ongeveer nodig? Wat zijn de operationele kosten van het warmtepomp/bronnensysteem in vergelijking met het referentiesysteem (gas-ketelverwarming). Wat wordt de terugverdientijd van het systeem en hoe gevoelig is deze voor bijvoorbeeld variaties in de gasprijs en de grootte van de investering.

1.2 Doelstelling

Verkenning van de mogelijkheden en de potentie van warmtepompen in combinatie met een niet-aquifergebaseerde warmtebron zoals buitenlucht of oppervlaktewater voor energiearme teelten (met een energieverbruik van circa $12 \text{ à } 20 \text{ m}^3_{\text{ae}}/\text{m}^2$). Hierbij worden ook eventuele beperkingen en kritische situaties in kaart gebracht.

Technische doelstellingen

- Identificatie van technisch haalbare WP/warmtebron concepten.
- Verkrijgen van een goede indicatie voor de energiebesparingspotentieel van verschillende concepten.

Energiedoelstellingen

- De verkenning is faciliterend aan de energiedoelstellingen van de glastuinbouwsector. Adoptie van het beoogde warmtepompenergieconcept levert een directe bijdrage aan de energiedoelstellingen.
- Toepassing van het warmtepompconcept moet leiden tot een besparing:
 - op het primaire-energieverbruik van circa 15 à 30% (dit is met name een gevolg van minder gasverbruik). De besparing op het gasverbruik is procentueel naar verwachting iets groter, maar er komt wat extra elektraverbruik voor in de plaats)
 - reductie van overall (op macroniveau) CO₂-emissie van 15 à 30% (gebaseerd op elektriciteitsopwekking op basis van gas)
- *Indicatie van de relevante doelgroepen en areaal:*
 - de doelgroep, waarvoor de werkzaamheden bedoeld zijn, zijn in eerste instantie glastuinders met teelten met een relatief laag energieverbruik (circa 12 à 20 m³/m²).

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden twee teelten uit de doelgroep beknopt beschreven, die als referentie worden gebruikt in het vervolg van de studie. Hiervan wordt het (typische) patroon van de verwarmingsbehoefte gedurende het jaar in kaart gebracht, dat in het vervolg van de studie zal worden gebruikt als basis van de energetische analyses. In hoofdstuk 3 komen de volgende onderwerpen aan bod:

- beknopte algemene beschouwing van verschillende typen warmtepompen, met voor- en nadelen en principekeuze van type warmtepomp
- beoordeling "alternatieve" (niet-aquifer) warmtebronnen voor warmtepomp
- beknopte beschouwing eventuele aanpassingen in/rond de kas
- overwegingen gebruik van een warmtebuffer
- energetische beschouwing: afschatting potentiële energiebesparing en benodigde hulp-energie: jaarrondberekening van haalbare warmteproductie van warmtepomp gebaseerd op verwacht temperatuurprofiel van warmtebron en warmtevraag van teelt. Tevens bepaling van de daarbij benodigde hoeveelheid elektriciteit en gas.

- besparing op primair energieverbruik van verschillende varianten en op CO₂-emissie (op macro-niveau).

Hoofdstuk 4 behandelt verder de bedrijfseconomische berekeningen (investeringsraming, bepaling van jaarlijkse energie- en onderhoudskosten, besparing op netto operationele kosten en terugverdientijd). Tenslotte geeft hoofdstuk 5 de conclusies van de studie en doet enkele aanbevelingen.

Opmerking

In dit rapport wordt in numerieke getallen als scheidingsteken voor de decimalen een "decimale punt" gebruikt zoals dit in internationale Engelstalige literatuur gebeurt (in tegenstelling tot de in Nederland vaak gebruikte komma, dus bijvoorbeeld 380.5 in plaats van 380,5 kW).

2 RAMING ENERGIEBEHOEFTE

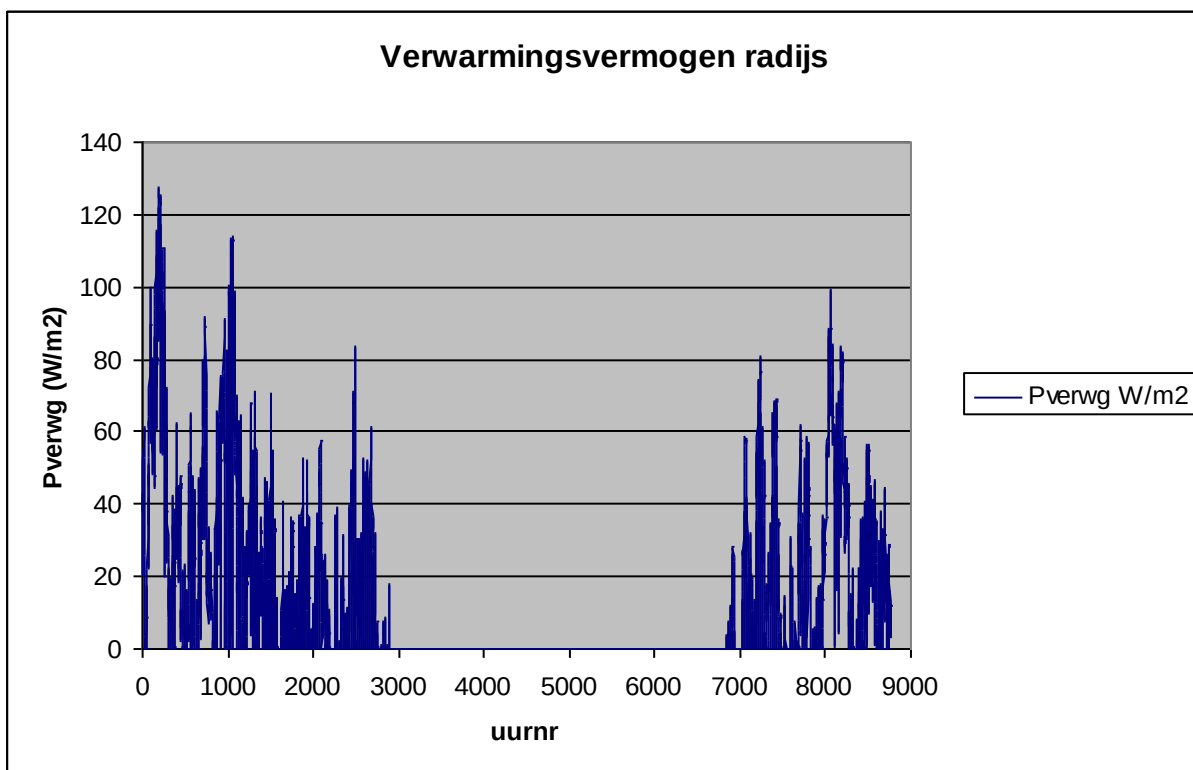
2.1 Referentieteelt radijs

In [2] en [3] komt bijvoorbeeld radijs naar voren als een energiearme teelt met een jaarlijks gasverbruik tussen circa 5 à 12 m³/m² gas per jaar. In 2002 was het areaal radijs circa 146 ha (KWIN, 2003-2004, [3]). Voor de setpoints van de (minimale) kastemperatuur worden in [2] de volgende waarden gegeven: 12 °C overdag en 8 °C 's nachts (jaarrond). Voor deze setpoints en de overige teeltklimaatinstellingen als aangegeven in bijlage A, tabel A.1 is een typisch warmtevraagprofiel per m² kas berekend (uitgaande van een Venlo kas van 2 ha, met enkel glas kasdek, zonder energiescherm, zie bijlage A, tabel A.3). Hiertoe is een jaarrondvraagberekening uitgevoerd met behulp van het dynamische kasmodel SimKas¹, dat op uurbasis de energievraag berekend uitgaande van een zogenaamd "klimaatreferentiejaar" (met daarin het typische verloop van temperatuur, globale instraling, windsnelheid en vochtgehalte van de buitenlucht), de gewenste klimaatsetpoints in de kas en de fysische kenmerken van de kas. Als klimaatreferentiejaar is het zogenaamde TEMPREF jaar gebruikt, dat door ISSO is opgesteld op basis van klimatologische gegevens van 1994-2003 conform de internationale norm NEN-EN-ISO 15927-4 [11]. Dit klimaatjaar sluit (in vergelijking met de vaak gebruikte, oudere klimaatreferentiejaren, zoals verkort referentiejaar NEN 5060) beter

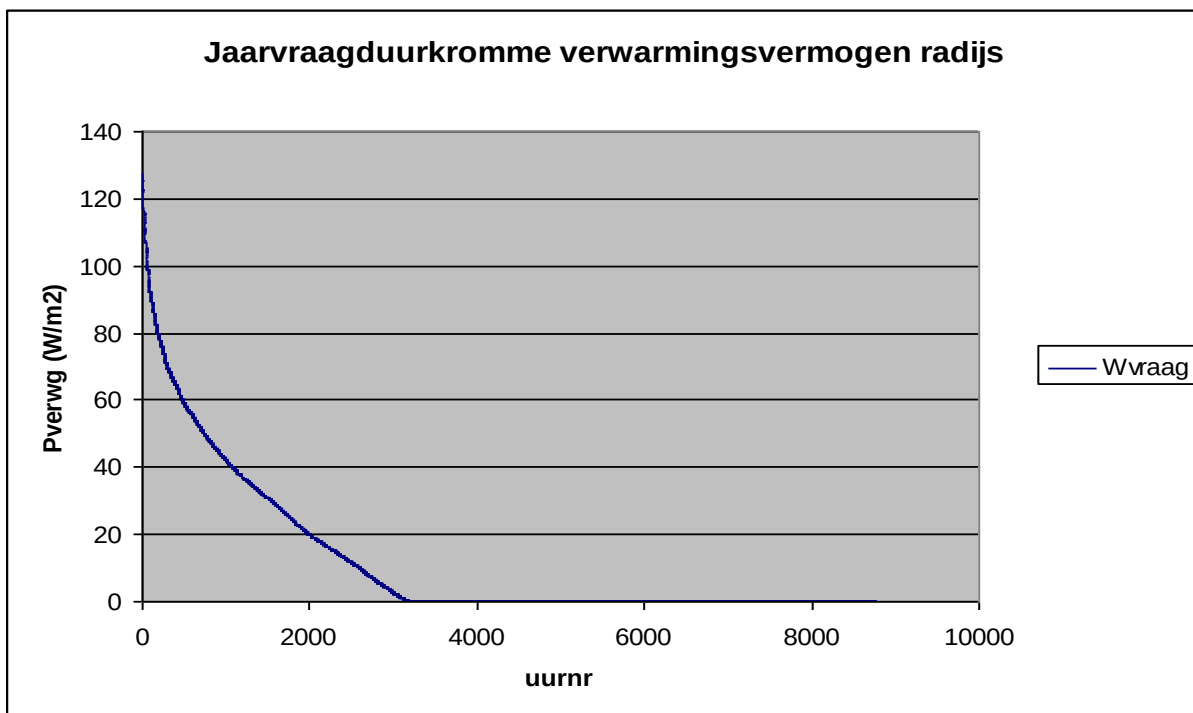
¹ Dit model is o.a. eerder gebruikt voor een uitgebreide studie naar energiebesparing in gesloten en semi-gesloten kassen.

aan bij de hogere gemiddelde temperaturen vanaf de beginjaren 90 (zie bijlage B). Het verloop van de berekende warmtevraag van radijs per m^2 kas is gegeven in figuur 2.1. Er is alleen een (significante) warmtevraag in de maanden november tot en met maart (en een klein beetje in april en oktober).

Een jaarwarmtevraagduurkromme, waarin de uurlijkse warmtevraag is geordend naar afnemend vermogen, is gegeven in figuur 2.2. Tabel 2.1 geeft de totale warmtevraag op jaarbasis (in MJ/m^2), alsmede het aardgasequivalent daarvan.



Figuur 2-1 Verwarmingsbehoefte van radijs als functie van het uurnummer (0 = 1 jan., 00:00 uur)



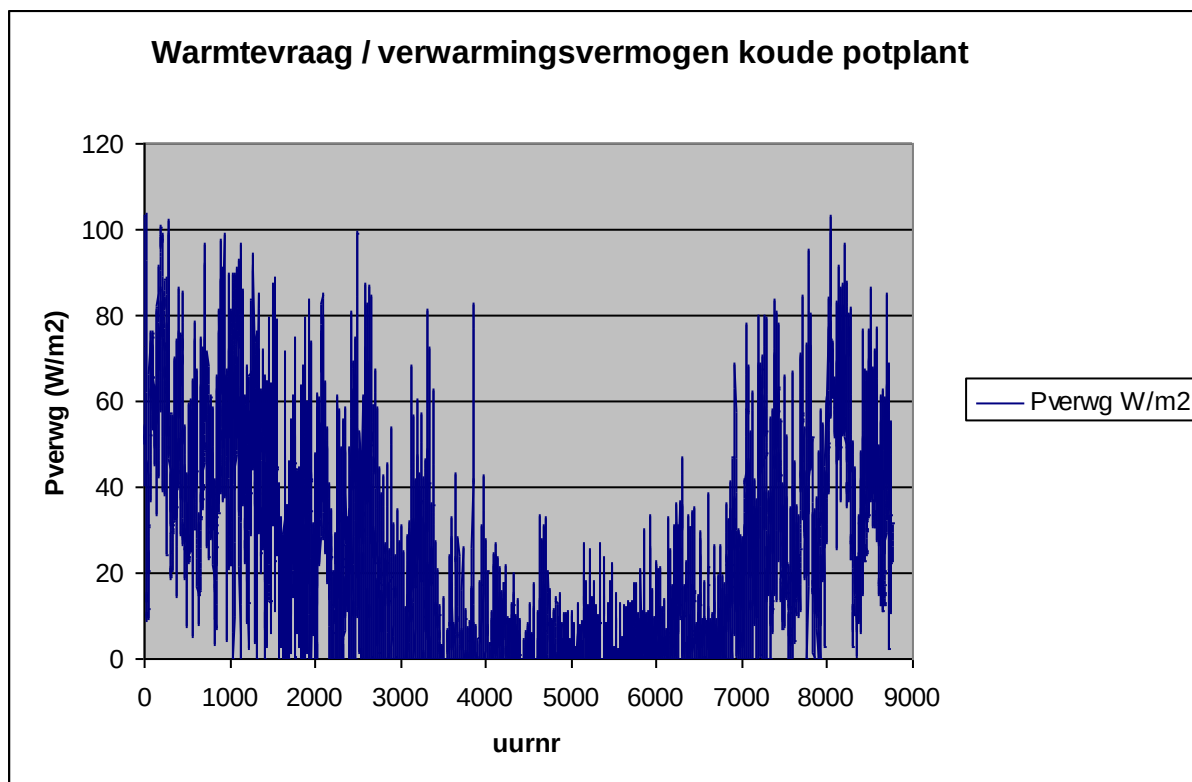
Figuur 2-2 Jaarduurkromme verwarmingsbehoefte van radijs. Er is een verwarmingsbehoefte gedurende ongeveer 3000 uur per jaar. Het piekvermogen bedraagt ongeveer 116 W/m²

Tabel 2-1 Jaarlijkse warmtevraag radijs per oppervlakte-eenheid

Teelt radijs	vraag per m ²	vraag per ha
Totaal warmtevraag	381.5 MJ/m ²	3815 GJ/ha
Totaal warmtevraag (in aardgasequivalent)	12.0 m ³ _{ae} /m ²	120457 m ³ _{ae} /ha

2.2 Referentieteelt "koude potplant"

Als tweede referentieteelt wordt de "koude potplant" genomen. De klimaatinstellingen hiervan zijn gegeven in bijlage A, tabel A.2, zie ook [2]. Het verwarmingssetpoint van de dag bedraagt nominaal 15 °C en die van de nacht 13 °C (overdag wordt het setpoint met maximaal 2 °C verhoogd over het zonnestralingstraject van 100-300 W/m², buiten de kas gemeten). De kas is in dit geval voorzien van een beweegbaar energiescherm. Ook voor deze "referentiecasse" is de gemiddelde uurlijkse warmtevraag berekend en de jaarwarmtevraagduurkromme (zie figuur 2.3 respectievelijk 2.4).

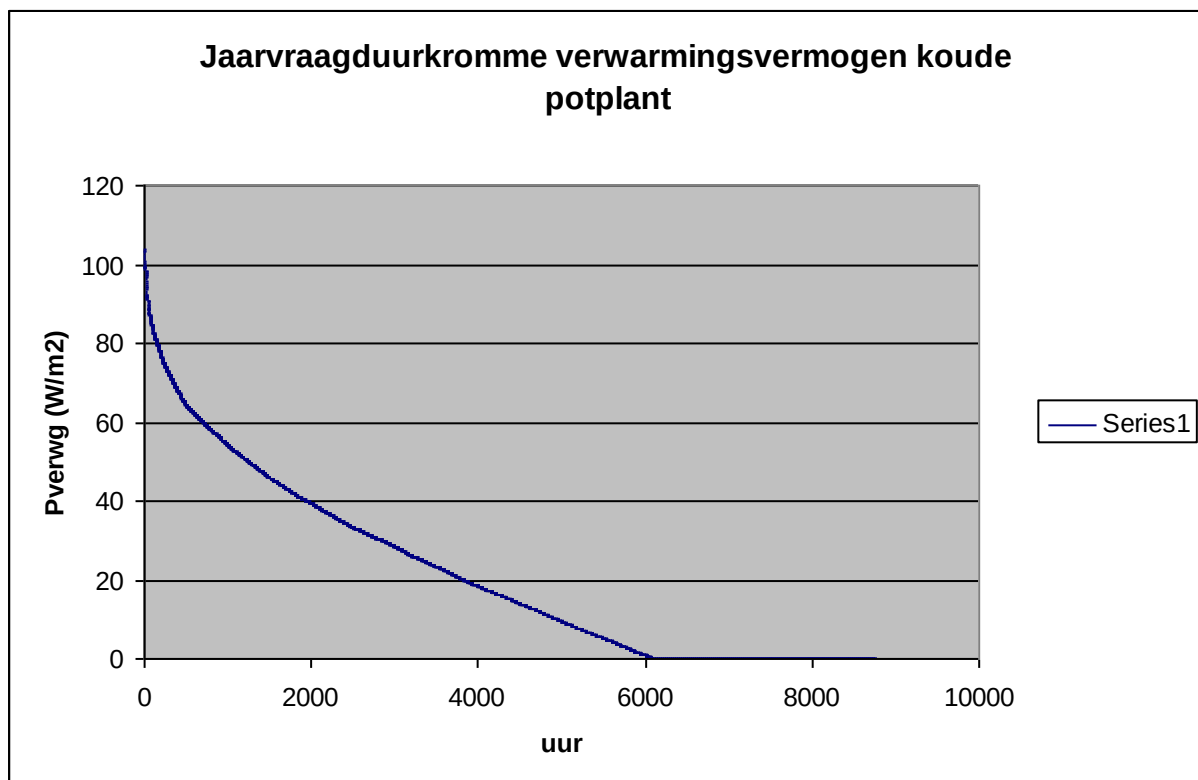


Figuur 2-3 Verwarmingsbehoefte van koude potplant als functie van het uurnummer (0 = 1 januari, 00:00 uur)

Tabel 2-2 Jaarlijkse warmtevraag koude potplant per oppervlakte-eenheid

Teelt	koude potplant	vraag per m ²	vraag per ha
Totaal warmtevraag		682.4 MJ/m ²	6824 GJ/ha
Totaal warmtevraag (in aardgasequivalent)		21.5 m ³ ae,LHV	215476 m ³ ae/ha

In vergelijking met radijs moet er ongeveer 2x zoveel uren (ca. 6000) worden verwarmd, dan bij radijs en de totale jaarlijkse warmtevraag is bijna 2x zo hoog.



Figuur 2-4 Jaarduurkromme verwarmingsbehoefte van 'koude potplant'. Er is een verwarmingsbehoefte gedurende ongeveer 6000 uren per jaar. Het piekvermogen bedraagt ongeveer 100 W/m²

In het vervolg van de studie zullen we deze twee teelten als referentieteelten beschouwen. Ze zijn beiden (vanwege de lage kastemperaturen) relatief energiearm, maar verschillen onderling toch significant, met name in het aantal uren dat er behoefte aan warmte is en in het niveau daarvan (dat laatste onder andere door aanwezigheid van een energiescherm bij

"koude potplant" en het ontbreken daarvan bij radijs). Voor beide teelten zal worden nagegaan hoe de warmtevraag met een warmtepomp kan worden ingevuld, waarbij de bronwarmte respectievelijk aan oppervlaktewater respectievelijk buitenlucht wordt onttrokken.

3 WARMTEPOMPEN EN WARMTEBRONNEN

3.1 Algemene beschouwing warmtepompen, voor-/nadelen, principe keuze

In deze stap wordt een beknopte algemene beschouwing van de twee hoofdtypen warmtepompen gegeven, te weten de compressiewarmtepomp (CWP) respectievelijk absorptiewarmtepomp (AWP), met hun kenmerken en voor- en nadelen, in relatie tot de specifieke applicatiesituatie, namelijk verwarming van een kas van een energiearme teelt. Op basis van de analyse wordt een voorkeur voor een type gemaakt.

Er zijn in principe twee typen warmtepompen, die verschillen in de wijze waarom het medium in het warmtepompproces wordt gecompriëerd:

- 1 de mechanisch aangedreven warmtepomp (compressiewarmtepomp)
- 2 de thermisch aangedreven warmtepomp (absorptiewarmtepomp).

De belangrijkste kenmerken (overeenkomsten en verschillen) zijn aangegeven in onderstaande tabel:

kenmerk	Compressiewarmtepomp	Absorptiewarmtepomp
Compressie van medium	Mechanische compressor	Thermische "compressor"
koelmedium	HFK's (R407C, R134a, R410A, R152a) ^{*)} CO ₂ , NH ₃	Stofpaar LiBr/water of water/ammoniak
Aandrijforgaan / -medium	Elektromotor → elektrische warmtepomp (EWP) Verbrandingsmotor, bijvoorbeeld gasmotor gedreven warmtepomp (GMWP)	Hoge-temperatuur warmte (stoom of heet water)
COP (coefficient of performance)	3 – 6	Circa 1.4 -1.7 afhankelijk van bron en afgiftemtemperatuur
Temperatuurgebied bronwarmte/ warmteafgifte		LiBr: Tbron > 5°C Tafgifte < 50 °C

- *) CFK's (zoals R11 en R12) zijn verboden (in verband met aantasting van de ozonlaag), HCFC's (zoals R22) mogen nog maar beperkt in omloop worden gebracht en zijn vanaf 2015 verboden. HFK's zijn vooralsnog wel toegestaan. Deze stoffen tasten de ozonlaag niet aan, maar dragen in de atmosfeer wel bij aan de opwarming van de aarde. CO₂ en NH₃ zijn natuurlijke koudemiddelen, maar met name ammoniak is ongewenst in de atmosfeer omdat het na oxidatie kan worden omgezet in salpeterzuur en kan bijdragen aan verzuring.

Voor de compressiewarmtepomp zullen we twee subtypen onderscheiden afhankelijk van de aandrijving:

- elektrische warmtepomp (EWP), aangedreven door een elektromotor
- gasmotorwarmtepomp (GMWP), aangedreven door een gasmotor.

Hieronder is een beknopt overzicht gegeven van de voor- en nadelen van de 3 systeemtypen en een indicatie van het benodigde investeringsniveau.

type WP	voordelen	nadelen	prijsspeil *) EUR per kW _{th}	opmerking**)
AWP	- rendement weinig afhankelijk van belasting (tussen 50 en 100% belasting); <50% wel rendementsverlies - goed regelbaar - relatief lage onderhoudskosten (eenvoudige onderdelen, weinig bewegende delen) - betrouwbaar - lage geluidsproductie - COP relatief ongevoelig voor $\Delta T_{cond-verd}$, mits regeneratietemperatuur voldoende hoog (2-traps)	- lange opstarttijd bij 'koude start' (na ca 30 minuten op 80% van nominaal) - stoom of heet water nodig voor aandrijving - bij LiBr AWP moet brontemp. groter zijn dan ca. 5 °C. Bij lage temperatuur kan kristallisatie van het absorbens optreden (beperkt de keuze van bron bij dit - gangbare - type)	110-260 [7] (excl. installatie) Boot [6]: 1 MW ca 100+140à225 installatiekosten	Gemiddelde PER***) over een jaar ca 1.4 à 1.6 (mits aanvoertemperatuur niet > 40°C) (2-traps AWP's kunnen een hogere PER hebben, maar zijn duurder) Bij directe of met een locale ketel gestookte AWP's kan de WP (of de ketel) CO ₂ leveren voor bemestingsdoeleinden
EWP	- hoge COP mogelijk - bedrijfszeker - geluidproductie lager dan bij GMWP (maar hoger dan bij AWP)	- gebruikt relatief dure energie (elektriciteit vs. aardgas of restwarmte) - geen CO₂ productie voor CO₂-bemesting, tenzij elektriciteit lokaal wordt opgewekt	90-200 [7] (excl. installatie) ISSO [8]: 200-350 (WP>150 kW _{th})	Gemiddelde COP over een jaar ca 3.5 à 4.5 (ISSO) (e.e.a. afhankelijk van $\Delta T_{cond-verd}$)

type WP	voordelen	nadelen	prijspeil *) EUR per kW _{th}	opmerking**)
GMWP	- hogere afgiftetemperaturen mogelijk door benutting restwarmte van rookgas-, motor-, olie- en inlaatcompressorkoeling - CO₂-productie voor CO₂ bemesting mogelijk (dan wel rookgasreiniger nodig)	- (veel) meer onderhoud dan bij AWP en EWP - geluidsproductie veel hoger dan AWP en hoger dan EWP (hogere eisen aan omkasting)	120-250 [7] (excl. installatie)	Gasmotor aangedreven WP (zonder generator + elektromotor) Gemiddelde PER over een jaar ca 2.0 (ISSO) (bij benutting motorwarmte)

*) prijs exclusief installatie, exclusief warmtebron en warmte-afgiftesysteem, tenzij anders vermeld (voor een WP van nominaal 300 kW_{th}. N.B. WP's met grotere vermogens zijn per kW_{th} goedkoper.)

**) in deze kolom genoemde PER's en COP's gelden bij gebruik van een aquifer als warmtebron, met een warme put op ca 12 °C en warmteleveringstemperatuur (aan de waterzijdige uitgang van de condensor in de warmtepomp) van ca. 50°C (de "Grädigkeit" van de verdamper resp. condensor is gesteld op $\Delta T_{\text{verd}}=5^{\circ}\text{C}$; $\Delta T_{\text{cond}}=5^{\circ}\text{C}$), tenzij anders vermeld

***) PER = primary energy ratio = verhouding van warmteoutput van de WP en primaire-energie input

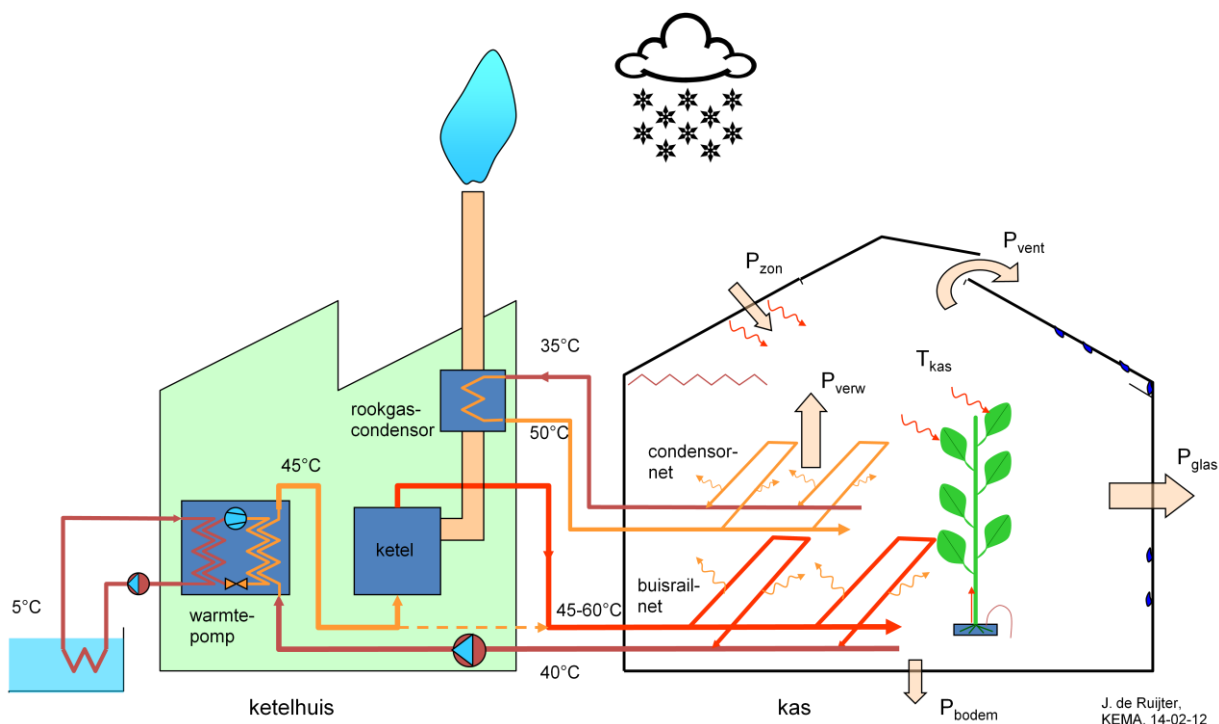
Omdat de beoogde warmtebronnen buitenlucht en oppervlaktewater een temperatuur lager dan 5 °C kunnen hebben, zijn LiBr absorptiewarmtepompen voor deze toepassing niet geschikt. De meeste seriematig geproduceerde absorptiewarmtepompen zijn van dit type. Om deze reden en vanwege de hogere COP en snellere starttijd van de compressiewarmtepomp wordt in deze studie daarom gekozen voor dit laatste type. Van dit type worden twee varianten onderzocht te weten een elektrisch aangedreven warmtepomp (EWP) en gasmotor gedreven warmtepomp (GMWP). De eerste gebruikt elektriciteit uit het net, de tweede aardgas als primaire aandrijfenergie. Voor de eerste zal dus een verhoogde elektriciteitsaansluiting nodig zijn. De tweede gebruikt de bestaande gasaansluiting en heeft dus het voordeel dat geen verhoogde elektriciteitsaansluiting nodig is en dat de toch al benodigde gascapaciteit in vergelijking met de elektrische warmtepomp beter kan worden benut.

Bij deze energiearme teelten bestaat de traditionele verwarming meestal uit een gasgestookte ketel (zonder warmtebuffer). De gasketel blijft in het energieconcept met warmtepomp als back-up installatie aanwezig. Tevens zal de piekvraag met de ketel worden ingevuld.

In principe zou met de gasmotorwarmtepomp ook CO₂ kunnen worden geleverd aan de kas. Dit vereist dan wel een extra rookgasreiniger en een warmtebuffer, de laatste omdat CO₂ vraag en warmtevraag veelal niet synchroon lopen. Vanwege de extra investeringen en de

relatief geringe CO_2 behoefte bij deze teelten, is dit in deze studie vooralsnog niet meegenomen.

In figuur 2.1 is een schematische voorstelling gegeven van een kasenergievoorzienings-systeem met (elektrische) warmtepomp, ketel met rookgascondensor. De warmtepomp haalt in dit geval (indien in bedrijf) zijn laagwaardige bronwarmte uit oppervlaktewater.



Figuur 3-1 Schematische voorstelling van een energievoorzieningsconcept met ketel en elektrische warmtepomp die warmte onttrekt aan oppervlaktewater. De warmteafgiftecapaciteit in de kas dient voldoende groot te zijn, dat de warmte bij lage temperatuur kan worden afgegeven (bijvoorbeeld met lage-temperatuur 'condensor-net' in combinatie met (hoge-temperatuur) 'buisrail-net').

3.2 Alternatieve (niet-aquifer gebaseerde) warmtebronnen

In deze paragraaf worden een drietal niet-aquifer gebaseerde warmtebronnen beschouwd en beoordeeld, die potentieel in aanmerking komen om de warmtepomp van warmte te voorzien (aquifers worden hier niet meegenomen, omdat de benodigde investering hiervoor op voorhand te hoog wordt geacht). Het betreft de volgende alternatieve warmtebronnen:

- a buitenlucht
- b water in de omgeving (stromend water of oppervlaktewater)
- c verticale bodemwarmtewisselaars.

Voor elk van de opties is globaal gekeken naar thermisch/energetisch potentieel (onder andere wat is het bereik van de verwachte brontemperatuur, hoeveel lucht/waterverplaatsing is nodig voor een bepaalde nuttige warmtestroom, hoe varieert dat bij verschillende buitencondities over het jaar, welke COP is bij het geselecteerde type warmtepomp haalbaar bij de benodigde warmteafgifte-temperatuur), een indicatie van het investeringsniveau, voor- en nadelen en eventuele vergunningsaspecten.

De bevindingen zijn samengevat in de volgende tabel.

type warmtebron	brontemperatuur	voordelen	nadelen	opmerking
buitenlucht	-15°C - +35 °C	- in principe overal 'onbeperkt' voorhanden - geen regeneratie van bron nodig (afgekoelde lucht wordt door normale luchtstroming snel vervangen door 'verse', warmere lucht)	- aan bronzijde grote lucht/koelmedium warmtewisselaars nodig (ca 450 m³/h luchtverplaatsing voor 1 kWth) - op koude dagen door lage brontemperatuur sterk verminderde COP (bij een bepaalde, vaste afgifte-temp.)	- prijsniveau ca EUR 100 / kWth *) (ISSO,[8]) - verdamper kan bevriezen door vocht in lucht, en moet dan actief ontdooit worden
Oppervlaktewater	2 - 28 °C	- grote broncapaciteit mogelijk - bronregeneratie meestal niet nodig (i.v.m. stroming v.h. water) - relatief kleine warmtewisselaars (in vergelijking met lucht als bron): ca 0.14 m³/h waterverplaatsing per kWth	- geografisch gezien beperkt beschikbaar - COP seizoensafhankelijk (slechter in de winter) (3.5 – 5.5)	- gevaar van bevriezing in de winter - prijsniveau ca EUR 100-200 / kWth *) (ISSO)
verticale bodemwarmtewisselaars	koud: 0 - 12 °C (zonder regeneratie) (met regeneratie zijn hogere temperaturen mogelijk)	- verticale bodemwarmtewisselaars kunnen vrijwel overal in Nederland worden aangebracht - vormen een gesloten systeem en onttrekken dus geen grondwater aan de bodem - indien de bron tijdig geregenereerd wordt blijft de performance goed - warmtewisselaars kan meestal in de nabijheid van WP worden geslagen	- nog geen vergunning nodig i.h.k.v. Waterwet van Gedeputeerde Staten (zoals bij open bronnensysteem); wel meldingsplicht**) - bron moet (in de zomer) actief geregenereerd worden - voor regeneratie van de bron is overtollige warmte nodig die bijvoorbeeld aan de kaslucht kan worden onttrokken; hiervoor zijn echter extra installaties nodig en extra energie, o.a. voor ventilatoren	- efficiënte warmterugwinning uit vochtige kaslucht is geen sinecure (conventionele luchtbehandeling vergt grote installaties en hebben een groot parasitair energieverbruik) - prijsniveau ca EUR 500-1000 / kWth *) [ISSO] - ook combinatie van open bron met gesloten lussen mogelijk

*) prijzen betrokken op bronvermogen

**) Er is nieuwe regelgeving voor bodemenergiesystemen in de maak: het Besluit bodemenergiesystemen (voorgenomen datum in werkingtreding 1 juli 2012). Hierin zullen grotere gesloten energiesystemen (> 70 kW) ook vergunningplichtig worden (i.v.m. mogelijke interferentie met andere systemen). Kleinere gesloten systemen krijgen alleen in interferentiegebieden een vergunningplicht. Daarbuiten geldt een meldplicht. Open systemen hebben altijd een vergunningplicht.

Keuze warmtebron

In principe zijn alle drie de genoemde warmtebronnen bruikbaar. Oppervlaktewater is – mits voorhanden - het eenvoudigst en het goedkoopst. Er kan worden volstaan met een relatief kleine water/waterwarmtewisselaars, de broncapaciteit is in het algemeen groot en de regeneratie gebeurt door de natuur. Voor een thermisch outputvermogen van 1000 kW is bij een elektrische warmtepomp met een COP van 4.4 een waterstroom van circa 136 m³/h nodig (bij een uitkoeling van 5 K). Door de beperkte fysieke aanwezigheid van (voldoende) oppervlaktewater, komt deze optie echter voor veel tuinbouwgebieden niet in aanmerking. Buitenlucht zou in principe ook kunnen. Bij gebruik van buitenlucht als bron zijn echter relatief grote warmtewisselaars in de (buiten)lucht nodig (met grote ventilatoren en daardoor mogelijk ook een "flinke" geluidsproductie). Voor een thermisch output vermogen van 1000 kW is bij een elektrische warmtepomp op buitenlucht met een COP van 4.4 een luchtstroom van circa 455 000 m³/h nodig (bij een uitkoeling van 5 K). Verder moet worden bedacht dat in de winter bij lage buitentemperaturen de COP (relatief) laag kan zijn.

Bodemwarmtewisselaars zouden in principe ook in aanmerking kunnen komen als warmtebron voor de WP. Toch hebben we bij de beschouwde teelten hiervoor niet gekozen omdat er in dit geval een regeneratie van de bronnen nodig is, wat het totale energiesysteem weer aanzienlijk duurder en complexer zou maken (terwijl op voorhand de verwachting is, dat warmtepompen los hiervan al moeilijk een voldoende korte terugverdientijd kunnen laten zien, vanwege de hoge investeringskosten. Deze zijn in het algemeen per kW nog (aanzienlijk) hoger dan van open systemen).

3.3 Beschouwing benodigde aanpassingen in/rond de kas

De warmtepomp (of eventueel warmtepompen) zullen moeten worden ingepast in de energievoorziening van de kas. Hierbij spelen de volgende aspecten een rol:

- koppeling met warmtebron (dit is anders voor elk type warmtebron)
- afgifte van warmte in de kas (bijvoorbeeld met LT-slangennet, buisrailnet en/of decentrale inblaasunits al dan niet met "CO₂-darmen"). We gaan er vooralsnog van uit dat er al een hoge-temperatuur net in de kas aanwezig is gekoppeld met de bestaande gasketel en dat er een LT-slangennet wordt bij geplaatst
- de toevoer van hulpenergie (elektriciteit bij EWP of aardgas bij de GMWP).

De inpassing wordt per brontype kort behandeld.

Oppervlaktewater

- We gaan er vanuit dat er oppervlaktewater in de buurt van de kas aanwezig is. Voor de benodigde investeringen gaan we uit van een benodigde leidinglengte van 200 m.
- Het water wordt via een ondergrondse leiding aangevoerd en via een retourleiding weer afgevoerd (bij stroming stroomafwaarts, bij een meer op voldoende afstand om interferentie zoveel mogelijk te voorkomen).
- Aan de entree van de aanvoerleiding zit een filter dat (zo veel mogelijk) moet voorkomen dat er vaste deeltjes uit het water worden meegevoerd.
- We gaan er vanuit dat er voldoende natuurlijke stroming is in het water (rivier of beek of circulatie in meer door temperatuurverschillen (vrije convectie) zodat afgezogen water weer wordt aangevuld met water van ongeveer dezelfde temperatuur.

Buitenlucht

- We gaan er vanuit dat de buitenlucht/koelmedium-warmtewisselaars (verdampers) dicht bij de warmtepomp kunnen worden opgesteld, zodat hier geen lange leiding vereist is.
- Op de markt zijn kant en klare units voor (buitenopstelling) verkrijgbaar, waarin verdamper, ventilator, compressor en condensor zijn geïntegreerd en waarop alleen het CV-water (en de elektrische voeding hoeft te worden aangesloten). Er kunnen meerdere units parallel worden geschakeld. Dergelijke systemen kunnen ook worden uitgerust met automatische ontdooiing in geval van bevriezing (door persgas door de verdamper te laten stromen).
- De buitenlucht wordt aangezogen met ventilatoren. Deze blazen de lucht langs de lamellen van de verdamperwarmtewisselaar.
- De units kunnen bijvoorbeeld op het dak van de bedrijfsruimte bij de kas worden geplaatst.

3.4 Beoordeling wenselijkheid van warmtebuffer

Wij gaan er bij de analyse vanuit dat de warmtepomp voorzien wordt van een klein warmtebuffer, zodat ook bij geringere warmtebehoefte de warmtepomp gedurende minimaal een uur (op vollast) kan doordraaien en toch zijn warmte kwijt kan (schakelbuffer). Overigens kan het energetisch zinvol zijn, afhankelijk van het type compressor op de WP en de aansturing hiervan, om bij een lagere warmtevraag deellastbedrijf te voeren. Dit is het geval als het deellastrendement groter is dan het vollastrendement, zoals dat het geval kan zijn bij een centrifugaal compressor met variabel toerental, of meerdere compressoren per WP, waarvan er één of meerdere kunnen worden uitgeschakeld.

In principe zou ook een groot "dag-/nachtbuffer" kunnen worden geplaatst. Hiermee is een flexibelere bedrijfsvoering mogelijk. Een dag-/nachtbuffer is zinvol bij beperkingen in de broncapaciteit. Er kan dan worden volstaan met een kleinere warmtepomp. Een grote dag-/nachtwarmtebuffer is ook een vereiste om zoveel mogelijk tijdens daluren te kunnen draaien (met lagere elektriciteitsprijzen). Ook indien bij een gasmotorwarmtepomp CO₂ zou worden gedoseerd, is een dag-/nachtbuffer gewenst. Vanwege de relatief grote investeringskosten in relatie tot de relatief lage energievraag zijn we er in deze studie vanuit gegaan dat er geen dag-/nachtbuffer is.

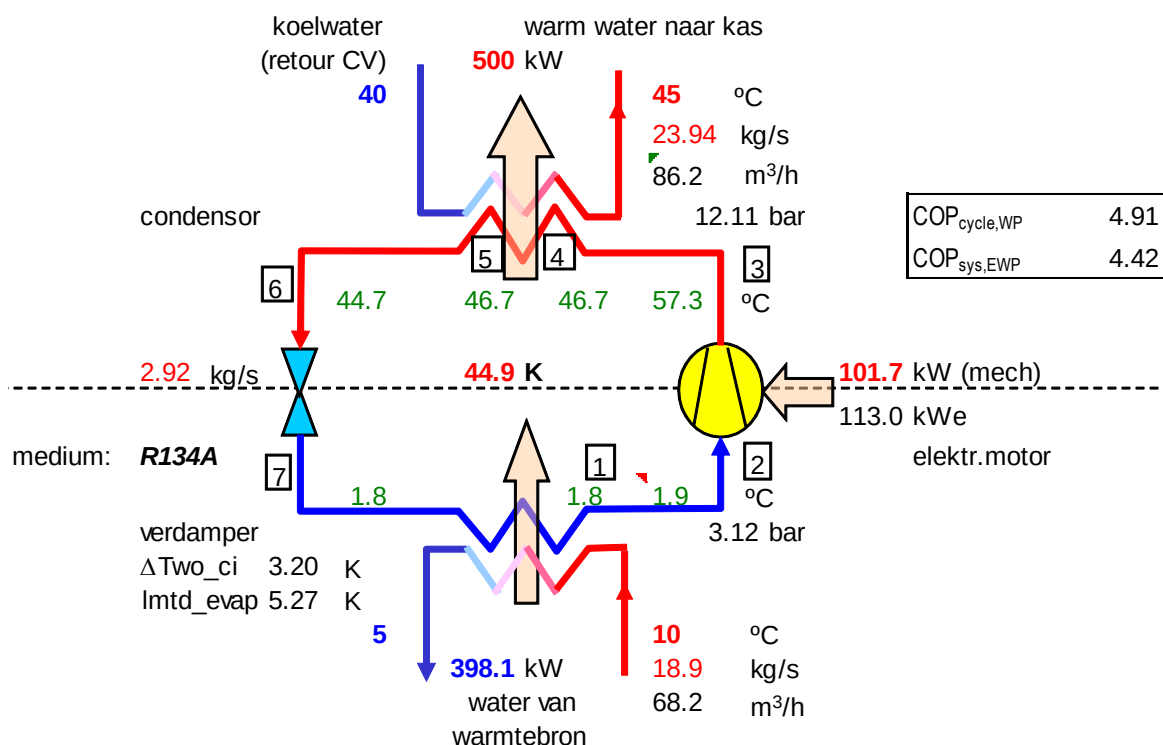
3.5 Energetische beschouwing: afschatting benodigde hulpenergie en potentiële energiebesparing

Er is een globaal rekenmodel opgesteld om de potentiële energiebesparing van de warmtepompconcepten te kunnen afschatten. Op basis van een typisch buitenklimaatprofiel over een jaar (TEMPREF klimaatreferentiejaar) is een inschatting gemaakt van de (gemiddelde) brontemperatuur in het geval van lucht respectievelijk oppervlaktewater als warmtebron (zie bijlage B). Aan de hand van de warmtevraagprofielen is voor de geselecteerde referentietelten (zie paragraaf 2.1 en 2.2), is – middels een warmtepomp model - de verwarmingsbijdrage van de warmtepomp berekend en de daarvoor benodigde hoeveelheid aandrijfenergie (elektriciteit voor de EWP respectievelijk aardgas voor de GMWP). Verder is de (gemiddelde) COP van de warmtepomp tijdens het verwarmingsbedrijf bepaald. Tevens is de aanvullend benodigde hoeveelheid ketelwarmte (en ketelgas) bepaald. Dit hybride warmtepomp/ketelbedrijf wordt vergeleken met het referentiebedrijf (= verwarming met alleen de gasketel). De resultaten zijn in de volgende paragrafen gegeven.

3.5.1 Resultaten energieberekeningen radijs

Op basis van de jaarwarmtevraagduurkromme van figuur 2.2 is voor de EWP gekozen voor een nominaal warmtepompvermogen van 500 kW per ha (=50 W/m²). Hiermee kan naar verwachting ordegrootte 80% van de jaarlijkse warmtevraag worden ingevuld. Indien de warmtepompinstallatie zou worden uitgelegd voor de maximale warmtevraag dan zou het nominale vermogen ongeveer 2,5x hoger moeten liggen. De meerinvestering die hiervoor nodig is, staat niet in verhouding tot de extra hoeveelheid warmte die dan door de WP kan worden afgezet. Daarom is ervoor gekozen de piekwarmtevraag in te vullen met de (bestaande) gasketel.

Voor een nominale brontemperatuur van 10 °C en aanvoertemperatuur naar de kas van 45 °C² is hieronder schematisch aangegeven wat het opgenomen bronvermogen is, het benodigde mechanisch vermogen voor aandrijving van de WP en de benodigde hoeveelheid elektriciteit in het geval van elektrische warmtepomp. Tevens is de COP gegeven, zowel van de warmtepomp cyclus zelf zonder aandrijving ($COP_{cycle,WP}$) als die van de WP met elektromotor ($COP_{sys,EWP}$).



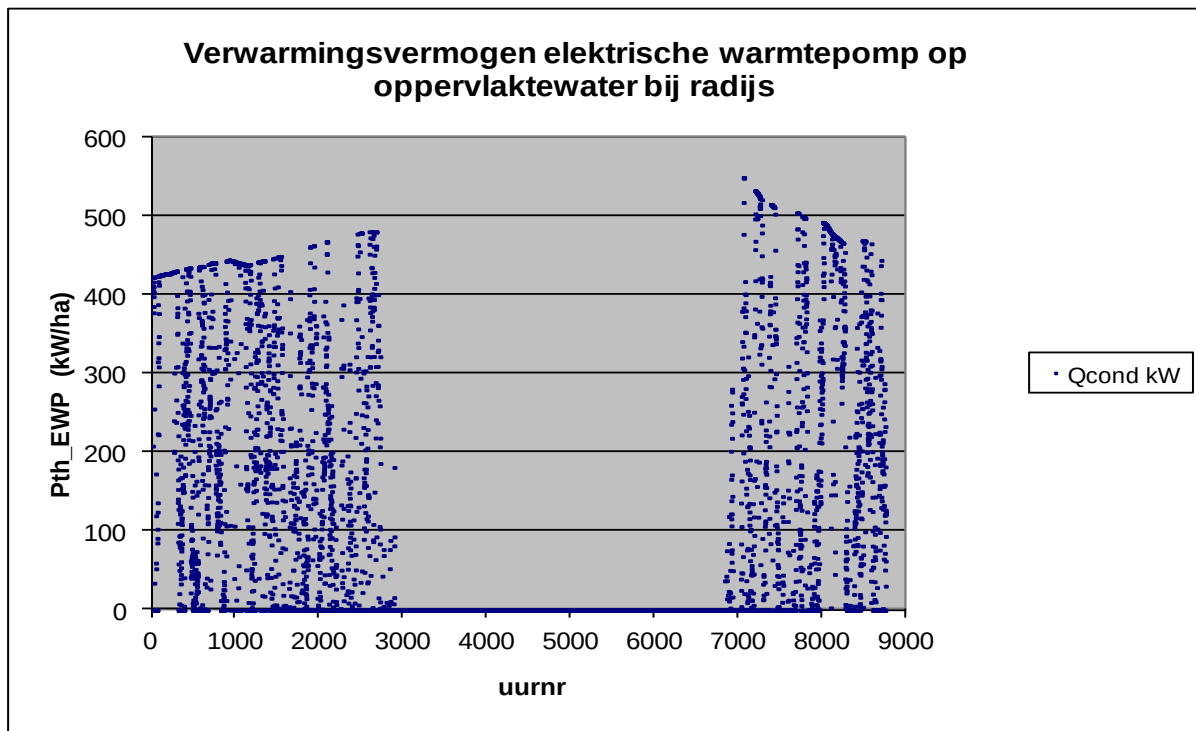
Figuur 3-2 Schematische voorstelling van een compressiewarmtepomp bij nominale condities: bronwater van 10 °C met uitkoeling van 5 °C. Wateraanvoertemperatuur naar kas 45 °C. Bij deze condities haalt de EWP een COP van circa 4.4

² Indien er in de kas een (lage-temperatuur) warmte-afgiftesysteem met voldoende warmtewisselend oppervlak beschikbaar is (of wordt gemaakt), kan er voor een lagere aanvoertemperatuur worden gekozen (bijvoorbeeld 40 °C). De COP van de warmtepomp is dan wat beter en het elektriciteitsverbruik wat lager (maar de benodigde investering in het warmte-afgiftesysteem wat hoger). Om een niet te rooskleurig beeld te schetsen voor bestaande situaties (met vaak een hoge-temperatuur buisrailnet en een op slangen of pijpen gebaseerd lage-temperatuurnet), hebben we hier gekozen voor 45 °C aanvoertemperatuur. (Hiermee kan - uitgaande van een bepaald warmtewisselend oppervlak - significant meer warmte worden afgegeven aan de kaslucht dan bij 40 °C.) Om diezelfde reden is ook voor een retourtemperatuur van 40 °C gekozen. Deze kan men desgewenst, indien voldoende oppervlak beschikbaar is in verhouding tot de warmtevraag, laten zakken tot bijvoorbeeld 35 °C. Ook dan wordt de COP iets beter.

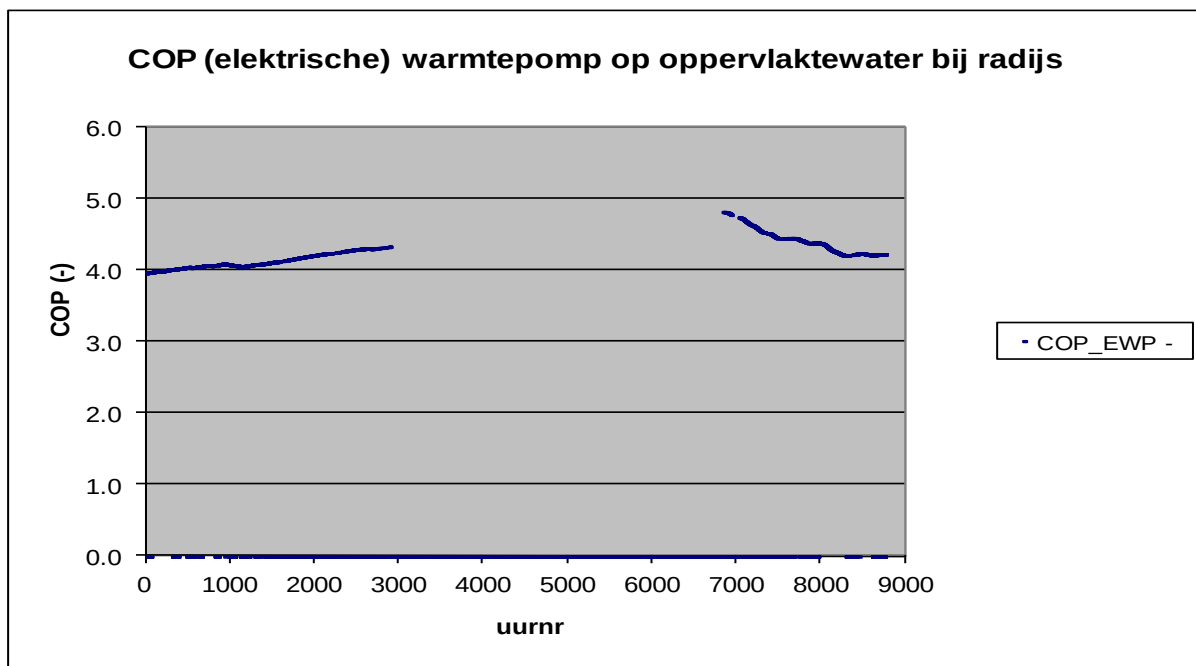
De resultaten van de jaarrondberekening met oppervlaktewater als warmtebron zijn gegeven in figuur 3.3. Uit deze figuur (en de figuren van de brontemperaturen in bijlage B) blijkt duidelijk dat het warmtepompvermogen afneemt naarmate de brontemperatuur lager is. Dat geldt ook voor de COP (zie figuur 3.4). Deze varieert tussen 3.95 en 4.83 en bedraagt gemiddeld 4.22. De dekkingsgraad van de warmtepomp (dat wil zeggen het percentage van de totale warmtevraag die met de warmtepomp wordt ingevuld) bedraagt in deze situatie (radijs, EWP, oppervlaktewater) 82,7%.

Radijs met warmtepomp op buitenlucht

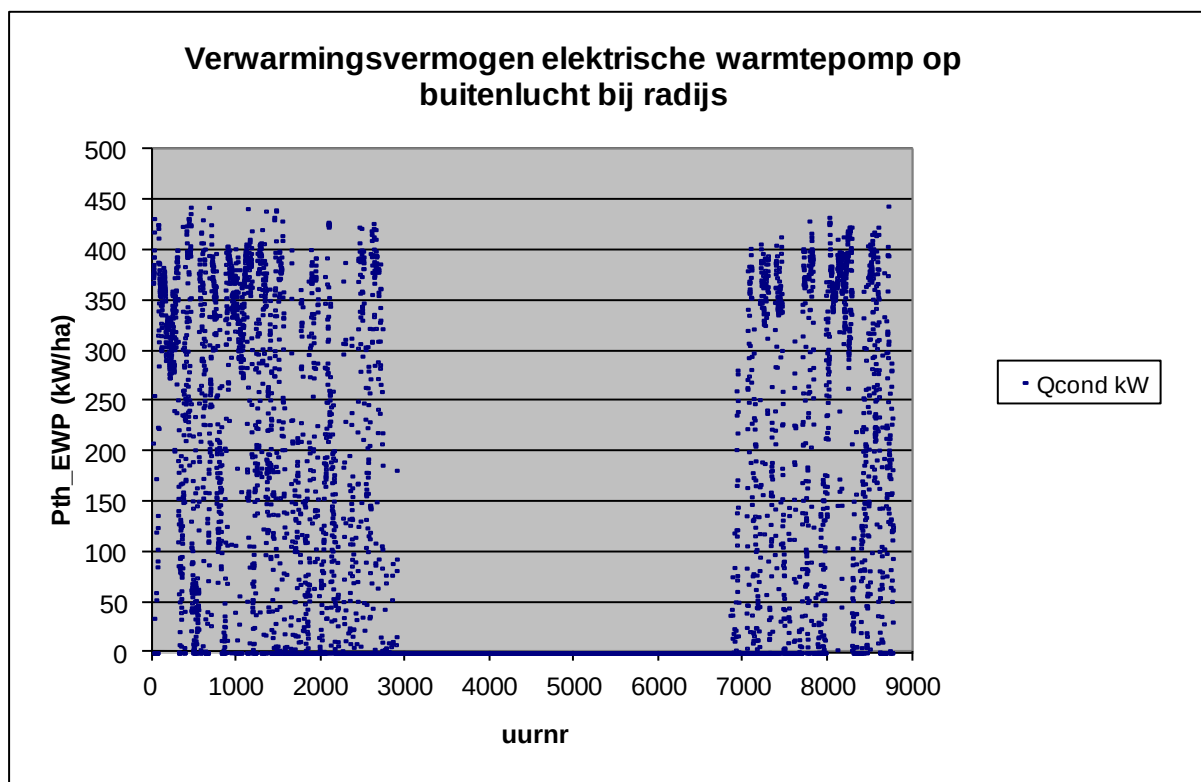
In figuur 3.5 is het (uurgemiddelde) vermogen gegeven van de warmtepomp die zijn warmte haalt uit de buitenlucht. Doordat de brontemperatuur in dit geval een veel grotere variatie vertoont dan de oppervlaktewatertemperatuur, zal ook het (maximale) vermogen van de warmtepomp veel meer variaties laten zien dan bij oppervlaktewater. Figuur 3-6 toont het verloop van de COP over het jaar. Dit varieert ruwweg tussen 3.2 en 4.5 en bedraagt gemiddeld 3.94. De dekkingsgraad is ook lager en bedraagt in deze situatie (radijs, EWP, buitenlucht) circa 74.2%.



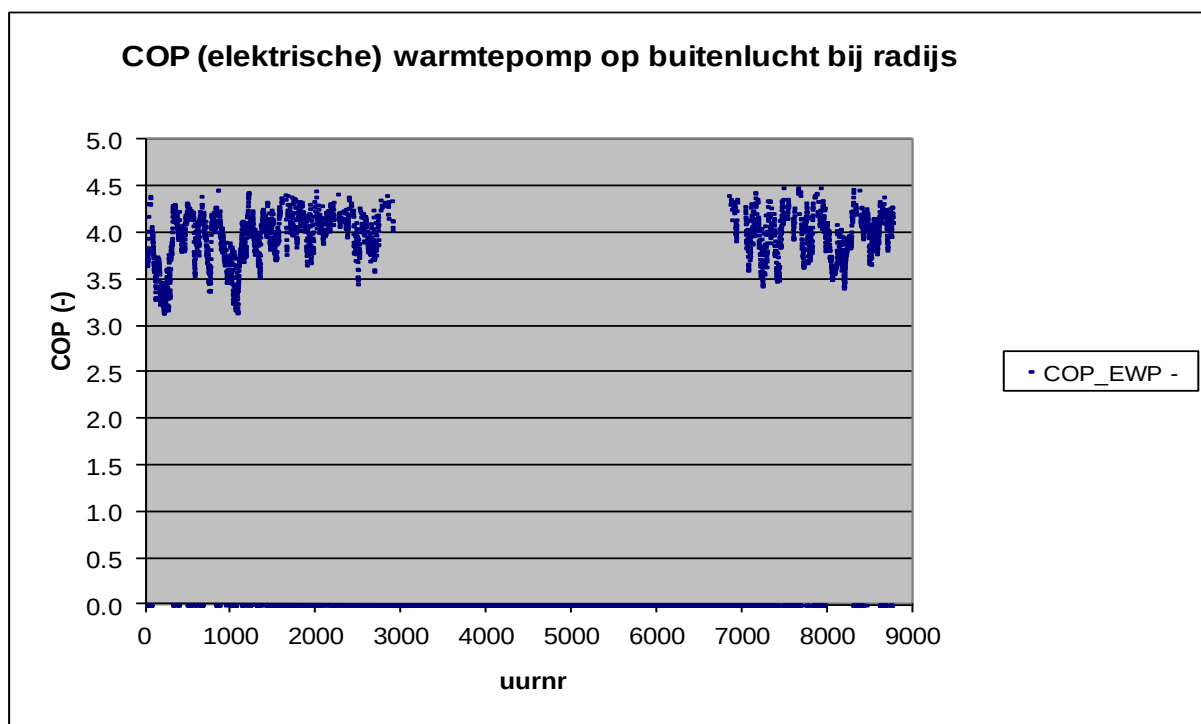
Figuur 3-3 Uurgemiddeld vermogen per ha van EWP op oppervlaktewater als functie van het uurnummer in het jaar voor radijs. (De punten die onder het maximum liggen, representeren een bedrijfssituatie, waarbij de warmtevraag kleiner is dan het vermogen van de warmtepomp. In dit geval draait de WP slechts een deel van het uur (en is het uurgemiddeld vermogen derhalve kleiner dan bij een voltijds draaien van de WP)



Figuur 3-4 COP van de warmtepomp als functie van het uurnummer in het jaar

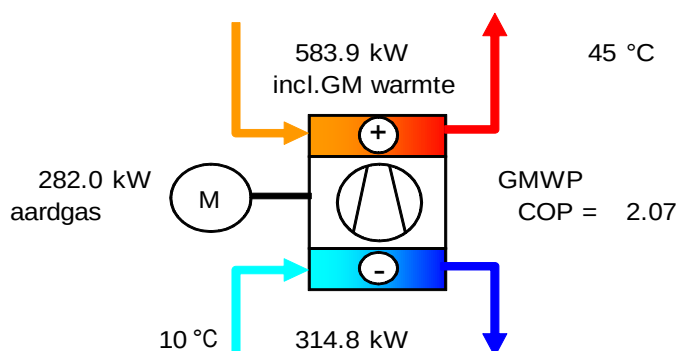


Figuur 3-5 Uurgemiddeld vermogen per ha van warmtepomp op buitenlucht als functie van het uurnummer in het jaar voor radijs.



Figuur 3-6 COP van de warmtepomp op buitenlucht als functie van het uurnummer in het jaar voor radijs.

Bij de variant met de *gasmotorwarmtepomp* is (bij radijs) gekozen voor een kleiner nominaal warmtepompvermogen dan bij de EWP, namelijk 400 kW per ha. De reden hiervan is, dat de gasmotor ook nog motorwarmte levert en warmte uit de rookgassen, waardoor het totale thermische vermogen hier hoger is, namelijk nominaal circa 584 kW per ha. Dit is schematisch aangegeven in figuur 3.7. De GMWP gebruikt hiervoor 282 kW aan aardgas (ca. 32 m³/h). De COP komt hiermee op 2.07 (N.B. in plaats van de COP wordt in dit geval ook wel gesproken van de PER = primary energy ratio = nuttige energie uit / primaire energie in).



Figuur 3-7 Schematische voorstelling van gasmotorgedreven warmtepomp. De installatie levert in totaal $400 + 183.9 = 583.9$ kW per ha

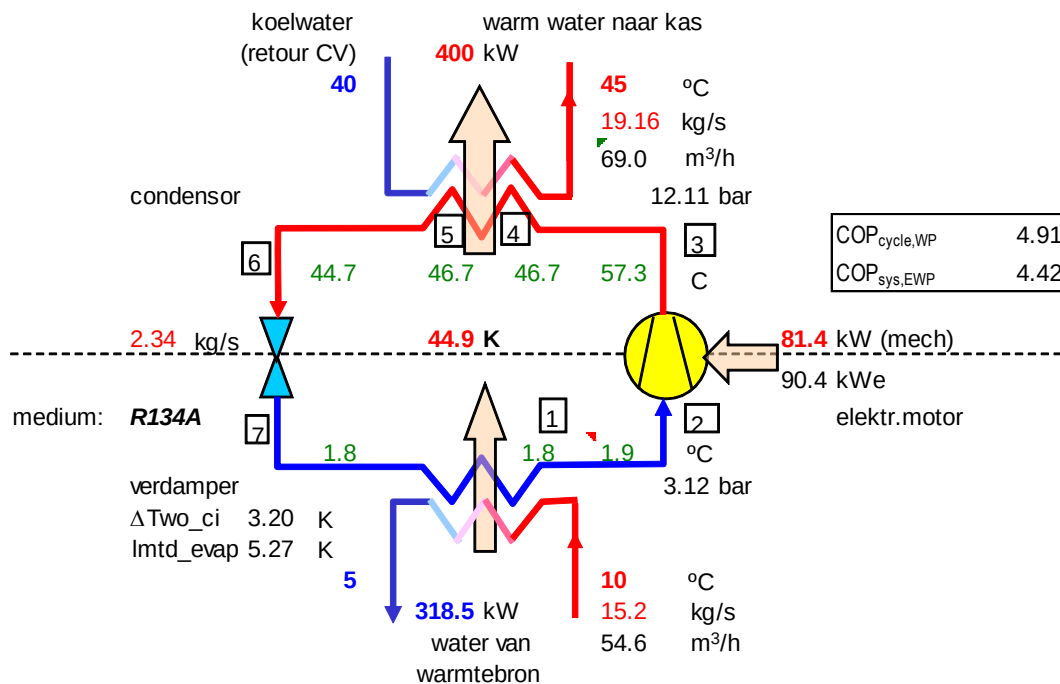
Ook voor de GMWP zijn jaarrondberekeningen uitgevoerd voor oppervlaktewater respectievelijk buitenlucht. De detailresultaten zijn gegeven in bijlage C.

De dekkingsgraden van de gasmotorwarmtepomp (inclusief de warmte van de gasmotoren) bedragen voor

- radijs, GWMP, oppervlaktewater: 88,0%
- radijs, GWMP, buitenlucht: 79.6%.

3.5.2 Resultaten energieberekeningen koude potplant

Op basis van de jaarwarmtevraagduurkromme van figuur 2.4 is bij de koude potplant bij de EWP gekozen voor een nominaal warmtepompvermogen van 400 kW per ha ($=40 \text{ W/m}^2$). Voor de nominale brontemperatuur van 10 °C en aanvoertemperatuur naar de kas van 45 °C is hieronder schematisch aangegeven wat het opgenomen bronvermogen is, het benodigde mechanisch vermogen voor aandrijving van de WP en de benodigde hoeveelheid elektriciteit in het geval van elektrische warmtepomp. Tevens is voor deze situatie de COP gegeven, zowel van de warmtepompzyclus zelf zonder aandrijving ($\text{COP}_{\text{cycle,WP}}$) als die van de WP met elektromotor ($\text{COP}_{\text{sys,EWP}}$).

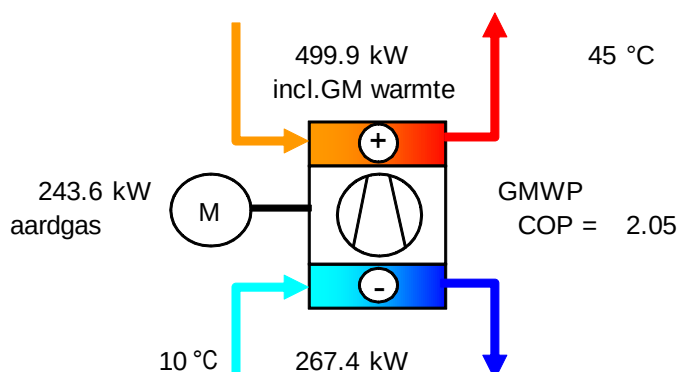


Figuur 3-8 Schematische voorstelling van een compressiewarmtepomp bij nominale condities: bronwater van 10 °C met uitkoeling van 5 °C. Wateraanvoertemperatuur naar kas 45 °C. Bij deze condities haalt de EWP een COP van circa 4.4

De detailresultaten van de jaarrondenergieberekeningen van de EWP op oppervlaktewater respectievelijk lucht zijn gegeven in bijlage C. De dekkingsgraden zijn in dit geval als volgt:

- koude potplant, EWP, oppervlaktewater: 78,9%
- koude potplant, EWP, buitenlucht: 73.1%.

Bij de variant met de gasmotorwarmtepomp is (bij de koude potplant) gekozen voor een wat kleiner nominaal warmtepomp vermogen, namelijk 340 kW per ha. De reden hiervan is, dat de gasmotor ook nog motorwarmte levert en warmte uit de rookgassen, waardoor het totale thermische vermogen hier hoger is, namelijk nominaal circa 500 kW per ha. Dit is schematisch aangegeven in figuur 3.9. De GMWP gebruikt hiervoor nominaal 243.6 kW aan aardgas (ca 27.7 m³/h). De COP (PER) komt hiermee op 2.05.



Figuur 3-9 Schematische voorstelling van gasmotorgedreven warmtepomp. De installatie levert in totaal $340 + 159.9 = 499.9$ kW per ha

De detailresultaten van de jaarrondenergieberekeningen van de GMWP op oppervlaktewater respectievelijk lucht voor de koude potplant zijn gegeven in bijlage C. De dekkingsgraden zijn in dit geval als volgt:

- koude potplant, GMWP, oppervlaktewater: 87,8%
- koude potplant, GMWP, buitenlucht: 81.7%.

3.5.3 Overzicht energieberekeningen WP-varianten

In onderstaande tabel is voor koude potplant respectievelijk radijs het jaarlijkse energieverbruik van de situatie waarin het bedrijf verwarmd wordt met een elektrische warmtepomp (EWP) voor de basislast en een gasketel voor de eventueel resterende (piek)warmtevraag. Daar bij zijn 2 bronvarianten onderscheiden. Bij de eerste haalt de warmtepomp zijn bronwarmte uit oppervlaktewater, en bij de tweede uit buitenlucht. Tevens is ter vergelijking ook het verbruik van de referentiesituatie met alleen een gasketel gegeven. Voor het benodigde gasverbruik van de ketel is gerekend met een stookwaarde van 31.7 MJ/Nm^3 en een ketelrendement van 98% op onderwaarde (uitgaande van de aanwezigheid van een rookgascondensor).

Tabel 3-1 Overzicht jaarlijks energieverbruik en CO₂-emissie van (elektrische) warmtepomp/ketel variant voor potplant respectievelijk radijs op oppervlaktewater respectievelijk buitenlucht

Overzicht per jaar		Oppervlak 1 ha					
warmtepomp: elektrische WP (EWP)							
teelt		potplant referentie	potplant	potplant	radijs referentie	radijs	radijs
warmtebron		ketel	oppervlak-tewater	buiten-lucht	ketel	oppervlak-tewater	buiten-lucht
Nominaal vermogen WP	kW		400	400		500	500
aanvoertemperatuur	°C		45	45		45	45
warmtevraag	MWh	1895.5	1895.5	1895.5	1059.7	1059.7	1059.7
warmteproductie warmtepomp	MWh	0	1496.3	1385.6	0	876.3478	786.2663
warmteproductie ketel	MWh	1895.5	399.9	509.9	1059.7	183.3078	273.3894
dekkingsgraad WP	%		78.9%	73.1%		82.7%	74.2%
dekkingsgraad ketel	%		21.1%	26.9%		17.3%	25.8%
Gasverbruik ketel	Nm ³	219874	46392	59147	122916	21263	31712
Elektr.verbruik WP+fan daluren	MWh	0	203.7	253.6	0	120.2	137.3
Elektr.verbruik WP+fan piekuren	MWh		145.4	182.0		92.3	107.8
Totaal elektriciteits(meer)verbruik MWh		0	349.2	435.7	0	212.5	245.1
Primair energieverbruik							
Primair energieverbruik aardgas	GJ	6963	1469	1873	3893	673	1004
Primair energieverbruik elek.verbr	GJ	0	2876	3589	0	1751	2019
Totaal primair energieverbruik	GJ	6963	4346	5462	3893	2424	3023
Besparing prim.E-verbruik tov referentie			37.6%	21.6%		37.7%	22.3%
CO₂-emissie (op macroschaal)							
CO ₂ -emissie aardgas	ton	391	83	105	219	38	56
CO ₂ -emissie elek.verbruik	ton	0	198	247	0	120	139
Totaal CO ₂ -emissie (macro)	ton	391	280	352	219	158	195
Besparing op CO ₂ -emissie tov referentie			28.4%	10.1%		27.7%	10.8%

Behalve het gas- en elektriciteitsverbruik is in bovenstaande tabel ook het primaire-energieverbruik berekend. Daartoe zijn het aardgasverbruik en het elektriciteitsverbruik op één noemer gebracht door dit om te rekenen naar primaire energie. Voor elektriciteit is dit gebeurd op basis van een omzettingsrendement (inclusief gemiddelde transport- en distributieverliezen)³ van 43.7%. Verder is ook de netto CO₂-emissie van het bedrijf bepaald (op

³ Het gemiddelde primaire-energieverbruik voor de opwekking (en levering bij gebruiker) van 1 kWh elektriciteit in het Nederlandse centrale elektriciteitsproductiepark is 0,26 m³_{ae}, wat overeenkomt met 8,229 MJ op onderwaarde (Cijfers en Tabellen 2007). Dit betekent een gemiddeld omzettingsrendement van 43,7% op onderwaarde. Voor de CO₂-emissiefactor van elektriciteit is op basis van Cijfers en Tabellen 2007 0,566 kgCO₂/kWh genomen en voor aardgas 1,78 kgCO₂/Nm³

macroschaal, waarbij rekening gehouden wordt met de CO₂-uitstoot die samenhangt met de productie van de ingekochte elektriciteit).

Uit de tabel blijkt dat bij de potplant de warmtepompvariant op oppervlaktewater qua primaire-energieverbruik (en CO₂-reductie op macroschaal) het meest aantrekkelijk is. Het primaire-energieverbruik ligt hierbij circa 37.6% lager dan bij de referentie (en de CO₂-emissie circa 28.4% lager). Bij de variant op buitenlucht is de besparing op primaire-energie 21.6% ten opzichte van de referentie. De besparing is in dit geval minder, omdat de brontemperatuur (buitenlucht) in het relevante deel van het jaar gemiddeld lager is, dan die van oppervlaktewater. Verder is extra elektriciteit nodig voor aandrijving van de ventilatoren die de benodigde buitenlucht langs de verdamperwarmtewisselaars moeten voeren.

Ook bij de radijs komt de WP/ketel variant op oppervlaktewater energetisch en qua CO₂-emissie het beste uit de bus. Het primaire-energieverbruik ligt hierbij circa 37.7% lager dan bij de referentie en de CO₂-emissie is circa 27.7% lager).

Gasmotorwarmtepomp

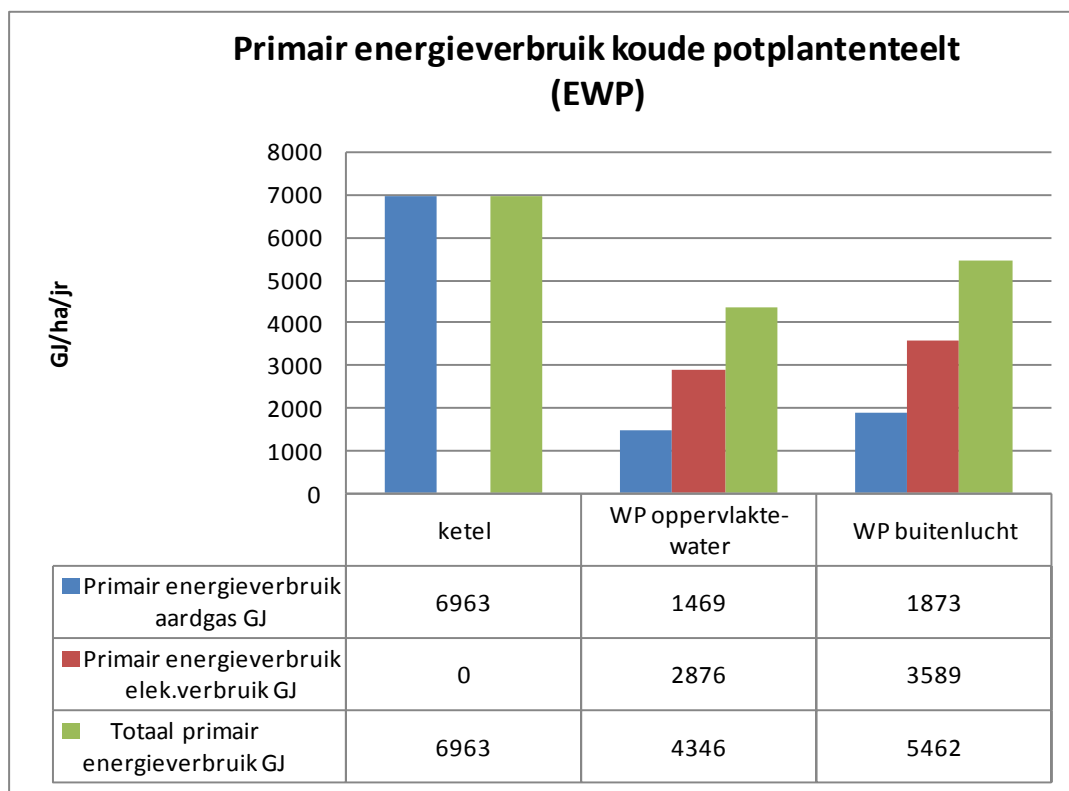
Tabel 3-2 geeft een overzicht van de energiecijfers van de gasmotorwarmtepomp (GMWP) varianten voor potplant respectievelijk radijs.

Ook bij de GMWP is de variant op oppervlaktewater qua primaire-energieverbruik en CO₂-emissie op macroniveau beter dan die op buitenlucht. Bij de potplant is de besparing op primaire energie 43.3% en bij radijs 42.8%. Op buitenlucht is dit 33.6% respectievelijk 30.4%. De besparing op CO₂-emissie is vergelijkbaar. In dezelfde volgorde: 43.2%, 42.8%, 33.0% respectievelijk 30.0%.

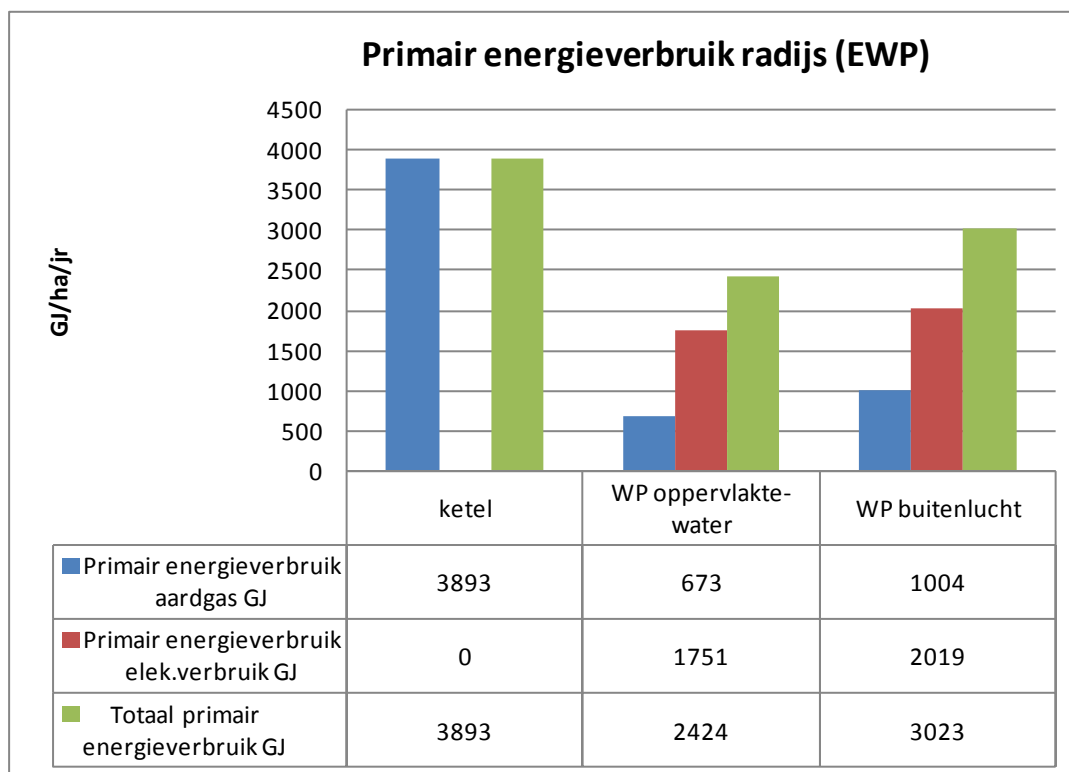
Tabel 3-2 Overzicht energieverbruik en CO₂-emissie van (gasmotor gedreven) warmtepomp/ketel variant voor potplant respectievelijk radijs, op oppervlaktewater respectievelijk buitenlucht

Overzicht per jaar		Oppervlak 1 ha					
warmtepomp: gasmotor WP (GMWP)							
teelt		potplant referentie	potplant	potplant	radijs referentie	radijs	radijs
warmtebron			oppervlak-tewater	buiten-lucht		oppervlak-tewater	buiten-lucht
Nominaal vermogen WP	kW		340	340		400	400
aanvoertemperatuur	°C		45	45		45	45
warmtevraag	MWh	1895.5	1895.5	1895.5	1059.7	1059.7	1059.7
warmteproductie warmtepomp	MWh	0	1664.0	1548.3	0	933.0	843.2
warmteproductie ketel	MWh	1895.5	231.5	347.2	1059.7	126.6	216.5
dekkingsgraad WP	%		87.8%	81.7%		88.0%	79.6%
dekkingsgraad ketel	%		12.2%	18.3%		12.0%	20.4%
Brandstofverbruik GMWP	MWh		853.8	875.0		485.7	515.2
Gasverbruik GMWP	Nm ³		97051	99468		55214	58569
Gasverbruik ketel	Nm ³	219874	26856	40279	122916	14691	25111
Totaal gasverbruik	Nm ³	219874	123907	139747	122916	69904	83680
Elektriciteitsverbruik WP	MWh	0	0	0	0	0	0
Elekt.verbruik pomp/fan luchtww	MWh		2.8	23.7		1.4	7.4
Totaal elektriciteits(meer)verbruik MWh		0	2.8	23.7	0	1.4	7.4
Primair energieverbruik							
Primair energieverbruik aardgas	GJ	6963.2	3924.0	4425.6	3892.6	2213.8	2650.0
Primair energieverbruik elek.verbr	GJ	0	23.1	195.4	0.0	11.5	60.7
Totaal primair energieverbruik	GJ	6963.2	3947.1	4621.0	3892.6	2225.3	2710.8
Besparing prim.E-verbruik tov referentie			43.3%	33.6%		42.8%	30.4%
CO₂-emissie (op macroschaal)							
CO ₂ -emissie aardgas	ton	391	221	249	219	124	149
CO ₂ -emissie elek.verbruik	ton	0	2	13	0	1	4
Totaal CO ₂ -emissie (macro)	ton	391	222	262	219	125	153
Besparing op CO ₂ -emissie tov referentie			43.2%	33.0%		42.8%	30.0%

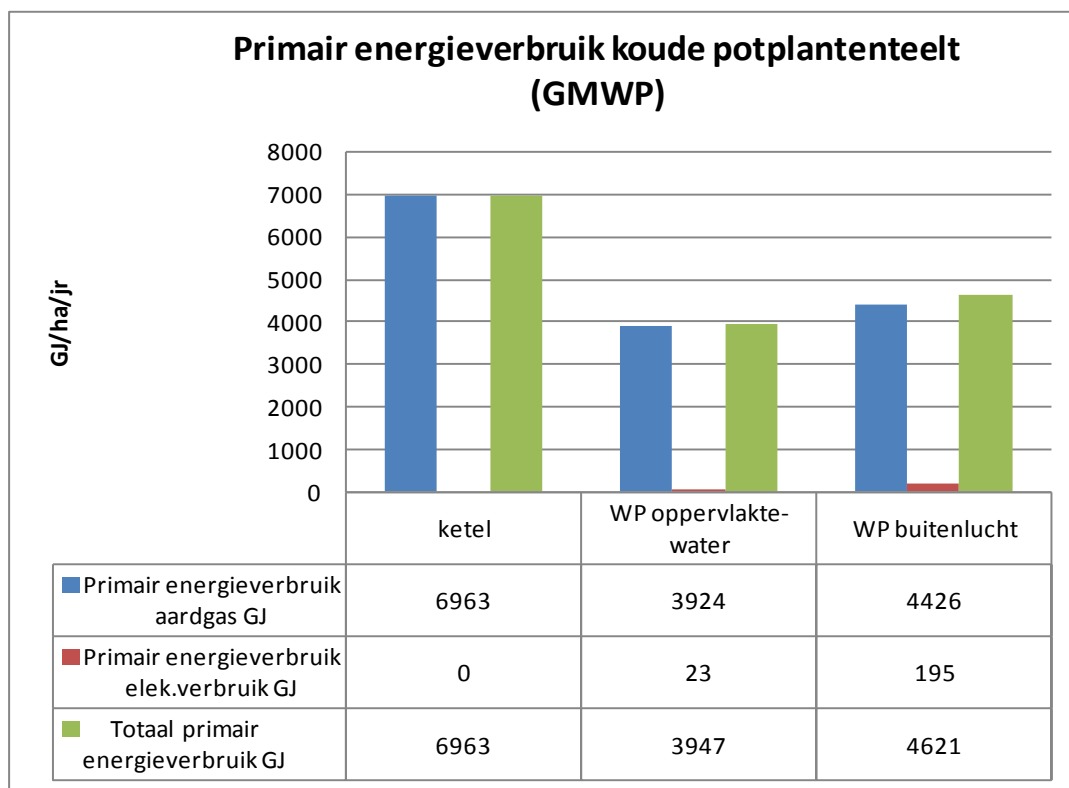
Het primaire-energieverbruik van de verschillende varianten en de bijdrages daarin van aardgas respectievelijk elektriciteit, zijn uitgezet in de staafdiagrammen op de volgende pagina's (figuren 3.9 tot en met 3.13) en maken een snelle onderlinge vergelijking mogelijk. Energetisch gezien is de warmtepomp op oppervlaktewater het beste, waarbij de gasmotor-variant nog wat beter scoort dan de elektrische warmtepomp. De EWP gebruikt bij potplant 4346 GJ/ha en de GMWP 3947 GJ/ha. Ten opzichte van de referentie (6963 GJ/ha) is dit een besparing van 37.6% respectievelijk 43.3%. Bij radijs is voor de EWP 2424 GJ/ha nodig en voor de GMWP 2225. Ten opzichte van de referentie (3893) is dit een besparing van 37.7% respectievelijk 42.8%.



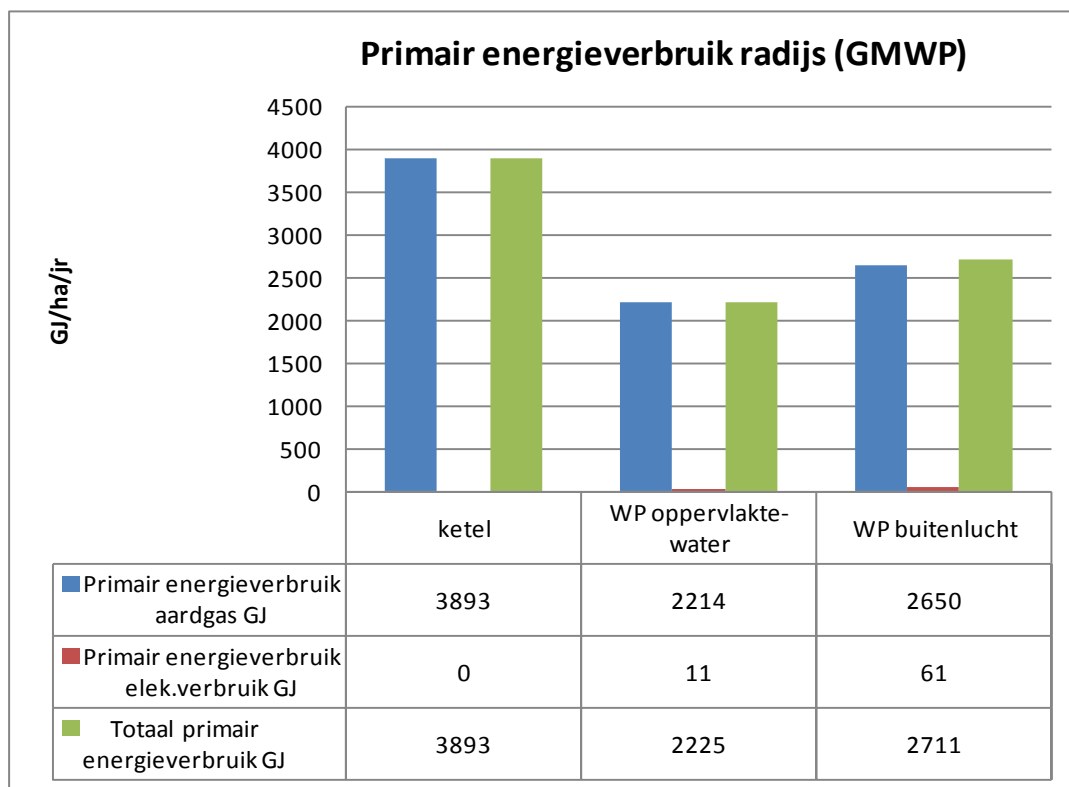
Figuur 3-10 Vergelijking primaire-energieverbruik van EWP-alternatieven voor koude potplant



Figuur 3-11 Vergelijking primaire-energieverbruik van EWP-alternatieven voor radijs



Figuur 3-12 Vergelijking primaire-energieverbruik van GMWP-alternatieven voor koude potplant



Figuur 3-13 Vergelijking primaire-energieverbruik van GMWP-alternatieven voor radijs

4 RENTABILITEIT

In dit hoofdstuk wordt een ruwe raming gemaakt van de verwachte investeringskosten (op basis van kentallen). Tevens wordt op basis van de besparing op het gasverbruik en de benodigde extra hulpenergie (bepaald in de vorige hoofdstuk) een inschatting gemaakt van de (netto)besparing op de (volume-afhankelijke) energiekosten. Ook wordt een inschatting gemaakt van een eventuele verhoging van de capaciteitskosten voor elektriciteit (met name bij de EWP) en mogelijk voor een aanpassing van de gascontractcapaciteit (bij de gasmotor-warmtepomp) en van de extra benodigde onderhoudskosten. Uit de geraamde meer-investeringen en de verwachte jaarlijkse netto financiële besparingen op operationele en bedrijfsvoeringskosten zal de eenvoudige terugverdientijd worden afgeleid.

4.1 Ruwe investeringsraming

Voor een goede rentabiliteitsberekening is het essentieel te kunnen beschikken over een goede raming van de investeringskosten. Deze dient, afhankelijk van de fase waarin het project verkeert, een bepaalde nauwkeurigheid te hebben. Een project begint meestal met een globale haalbaarheidsstudie, waarbij een zogenaamde "orde-van-grootte-raming" (met een onnauwkeurigheid van circa $\pm 40\%$) wordt gehanteerd. Bij een daaropvolgende gedetailleerde haalbaarheidsstudie, waarin onder meer een procesevaluatie plaatsvindt, wordt vaak een "evaluatieraming" opgesteld, die is bedoeld om te komen tot een meer gedetailleerde economische beoordeling van de geselecteerde alternatieven. In een dergelijke raming wordt vaak een onnauwkeurigheid nagestreefd van $\pm 25\%$ [10]. Nog een stap verder gaat een "investeringsraming" die in veel gevallen ten behoeve van een projectevaluatiestudie wordt opgesteld. De nagestreefde onnauwkeurigheid in dit laatste geval is vaak -10% tot $+20\%$. In de onderhavige *verkennende* haalbaarheidsstudie wordt een maximale onnauwkeurigheid nagestreefd van $\pm 40\%$.

In tabel 4-1 is de investeringsraming gegeven voor de elektrische warmtepompvarianten (EWP) uitgaande van een bedrijf van 2 ha (voor zowel potplant als radijs). Onderaan zijn tevens de kosten per ha gegeven. Het grootste deel van de investering is nodig voor de warmtepomp en de warmtebron. De kosten voor de warmtebron zullen met name bij gebruik van oppervlaktewater situationeel zijn, en kunnen bij bijvoorbeeld grotere afstanden tot de warmtepomp (dan de in deze studie aangenomen 200 m) hoger uitvallen. De geraamde totaal benodigde investering bedraagt 125 000 à 129 000 EUR/ha bij koude potplanten en circa 145 000 à 150 000 EUR/ha bij radijs. Per kW_{th} warmtepompvermogen komt dit neer circa 314 à 323 EUR/ kW_{th} bij potplant en 290 à 300 EUR/ kW_{th} bij radijs.

Tabel 4-1 Raming investeringskosten elektrische warmtepomp met bijbehorende installaties voor potplant respectievelijk radijs, op oppervlaktewater respectievelijk buitenlucht

(Meer-)investering voor 2 ha kas	EWP		potplant		potplant		radijs		radijs	
	WP-opper- vlaktewater	WP buiten- lucht	WP-opper- vlaktewater		WP buiten- lucht		WP-opper- vlaktewater		WP buiten- lucht	
Onderdeel	EUR/kW _{th}	EUR/kW _{th}	kW _{th} /2ha	EUR	EUR	EUR	kW _{th} /2ha	EUR	EUR	EUR
investering WP	86.25		800	69000	69000		1000	80000	80000	
investering warmtebron+leiding	110	100	637	70100	63700		799	87900	79900	
waterzijdig aansluiten WP op bronnen				12000	12000			12000	12000	
meerprijs investering LT-W-afgifte	40			32000	32000			40000	40000	
investering extra E-aansluiting				10000	10000			10000	10000	
aansluiting elektra / pompen				10000	10000			10000	10000	
verwarmingszijdig aansluiten				12000	12000			12000	12000	
regeling				10000	10000			10000	10000	
engineering				10000	10000			10000	10000	
onvoorzien	10%			23510	22870			27190	26390	
Totaal investering per 2 ha				258610	251570			299090	290290	
Totaal investering per ha				129305	125785			149545	145145	
kosten / kW _{th}	EUR/kW _{th}			323	314			299	290	

In de tabel 4-2 zijn de geraamde investeringskosten voor de gasmotorwarmtepomp gegeven.

Tabel 4-2 Raming investeringskosten gasmotorwarmtepomp met bijbehorende installaties voor potplant respectievelijk radijs, op oppervlaktewater respectievelijk buitenlucht

(Meer-)investering voor 2 ha kas	GMWP		potplant		potplant		radijs		radijs	
	WP-opper- vlaktewater	WP buiten- lucht	WP-opper- vlaktewater		WP buiten- lucht		WP-opper- vlaktewater		WP buiten- lucht	
Onderdeel	EUR/kW _{th}	EUR/kW _{th}	kW _{th} /2ha	EUR	EUR	EUR	kW _{th} /2ha	EUR	EUR	EUR
investering WP	120.6		680	82000	82000		800	90000	90000	
investering warmtebron+leiding	110	100	544	60000	55000		638	71000	64000	
waterzijdig aansluiten WP op bronnen				12000	12000			12000	12000	
meerprijs investering LT-W-afgifte	40			27200	27200			32000	32000	
investering extra G-aansluiting				10000	10000			10000	10000	
aansluiting elektra / pompen				10000	10000			10000	10000	
verwarmingszijdig aansluiten				12000	12000			12000	12000	
regeling				10000	10000			10000	10000	
engineering				10000	10000			10000	10000	
onvoorzien	10%			20120	19620			22500	21800	
Totaal investering				253320	247820			279500	271800	
Totaal investering per ha				126660	123910			139750	135900	
kosten / kW _{th}	EUR/kW _{th}			373	364			349	340	
kosten / kW _{th} incl.GM-warmte	EUR/kW _{th}			253	248			239	233	

De geraamde totaal benodigde investering voor de gasmotor warmtepomp bedraagt 123 000 à 127 000 EUR/ha bij de potplant circa 135 000 à 140 000 EUR/ha bij radijs. Per kW_{th}

warmtepompvermogen komt dit neer circa 364 à 373 EUR/kW_{th} bij potplant en 340 à 349 EUR/kW_{th} bij radijs. Wordt ook de warmte die de gasmotor afgeeft, meegerekend, dan worden deze bedragen 248 à 253 EUR/kW_{th} bij potplant en 233 à 239 EUR/kW_{th} bij radijs.

4.2 Operationele kosten

In deze paragraaf zijn de verwachte jaarlijkse operationele (meer)kosten voor de verschillende varianten bepaald op basis van de volgende uitgangspunten.

4.2.1 Bedrijfseconomische uitgangspunten

Tabel 4-3 Overzicht uitgangspunten energiekostenberekening

Bedrijfseconomische uitgangspunten	waarde	eenheid
gasprijs (commodity)	0.25	EUR/Nm ³ *)
	7.89	EUR/GJ
	28.42	EUR/MWh
elektriciteitsprijs base load	55	EUR/MWh *)
elektriciteitsprijs daluren	43.67	EUR/MWh
elektriciteitsprijs piekuren	68	EUR/MWh *)
E-Transport & distributiekosten (grootzakelijk: 136-2000kW)		
'kW-contract'	13.2	EUR/kWcontract
'kW-max.mnd'	1.2	EUR/kWmax/mnd
T&D-transport+systeemdienst per MWh'	8.78	EUR/MWhe
Gas-transportdienst entry-fee voor basislast	43.835	EUR/m ³ /h
Gas-transportdienst entry-fee voor additionele capaciteit	48.333	EUR/m ³ /h
Gas-capaciteitsdienst voor additionele capaciteit	106.03	EUR/m ³ /h

*) prijsniveau E+G commodities feb. 2012, future Q1-13

Wat betreft de benodigde gascontractcapaciteit: deze wordt bepaald door het maximale vermogen dat de ketel moet kunnen leveren. Omdat het volledige ketelvermogen als reserve achter de hand gehouden moet worden, ingeval de warmtepomp niet zou functioneren, betekent dit bij de EWP dat de contractcapaciteit hetzelfde blijft als bij de situatie met alleen de ketel. Dit geldt ook voor de situatie met gasmotor. De benodigde gascapaciteit van de gasmotorwarmtepomp is kleiner dan die van de ketel. Verder hoeven de GMWP en de ketel nooit tegelijkertijd beiden op vollast te draaien, zodat in de situatie van de GMWP/ketel variant kan worden volstaan met de grootste van de benodigde gascapaciteiten van elk van beide apparaten (i.c. die van de ketel).

4.2.2 Energiekosten en onderhoudskosten

Op basis van het berekende energieverbruik uit tabel 3-1 en de bedrijfseconomische uitgangspunten van paragraaf 4.2.1, zijn de jaarlijkse energiekosten berekend (zie tabel 4-4). Tevens is een inschatting gemaakt van de onderhoudskosten van de warmtepomp. Aan het eind van de tabel zijn verder de jaarlijkse besparingen op energiekosten en op energie- plus onderhoudskosten gegeven ten opzichte van die van het referentiesysteem.

Tabel 4-4 Raming van de jaarlijkse besparing op energiekosten per ha (en netto besparing na aftrek van extra onderhoudskosten) voor de elektrische warmtepomp bij potplant resp. radijs

Overzicht per jaar		Oppervlakt 1 ha					
warmtepomp: elektrische WP (EWP)							
teelt		potplant referentie	potplant EWP	potplant EWP	radijs referentie	radijs EWP	radijs EWP
warmtebron		ketel	oppervlaktewater	buitenlucht	ketel	oppervlaktewater	buitenlucht
Nominaal vermogen WP	kW		400	400		500	500
aanvoertemperatuur	°C		45	45		45	45
gascontractcapaciteit (ketel)	m ³ /h	121	121	121	149	149	149
basislastcapaciteit gas	m ³ /h	25.1	5.3	6.8	14.0	2.4	3.6
warmtevraag	MWh	1895.5	1895.5	1895.5	1059.7	1059.7	1059.7
Gasverbruik ketel	Nm ³	219874	46392	59147	122916	21263	31712
Elektr.verbruik WP+fan daluren	MWh	0	203.7	253.6	0	120.2	137.3
Elektr.verbruik WP+fan piekuren	MWh	0	145.4	182.0	0	92.3	107.8
Totaal elektriciteits(meer)verbruik	MWh	0	349.2	435.7	0	212.5	245.1
Energiekosten							
Gaskosten (commodity)	EUR	54968	11598	14787	30729	5316	7928
Elektriciteitskosten (commodity)	EUR	0	21852	27278	0	13392	15475
Extra capaciteitskosten elektr.	EUR		1808	2694		2162	2490
Gastransport+capaciteitskosten	EUR	15904	18093	17932	21449	22732	22600
Totaal energiekosten (E)		70872	53350	62690	52178	43602	48493
Onderhoudskosten WP (O)	2%		1391	1327		1679	1599
Besparing op energiekosten	EUR/jr		17522	8182		8576	3685
Besparing E&O-kosten tov ref.	EUR/jr		16131	6855		6897	2086

Uit de tabel blijkt dat de EWP op oppervlaktewater bij potplant de grootste besparing op netto operationele kosten (besparing energiekosten minus extra onderhoudskosten) oplevert (circa EUR 16.000,- per jaar). Bij buitenlucht is dat circa EUR 9.300,- minder. Dit komt met name doordat er in dit geval voor circa EUR 3.000,- meer aardgas nodig is (door gemiddeld lagere warmteproductie van de WP op buitenlucht, die in het verwarmingsseizoen gemiddeld lager is dan die van oppervlaktewater) en circa EUR 5.400,- door meerconsumptie van elektriciteit (door gemiddeld lagere COP en het benodigde extra elektriciteitsverbruik van de ventilatoren

om de bronlucht langs de warmtewisselaars van de verdamper te verplaatsen). De besparingen bij radijs liggen significant lager dan bij koude potplant.

Tabel 4-5 geeft een overzicht van de verwachte energiekosten en besparingen daarop van de GMWP-varianten voor koude potplant respectievelijk radijs.

Tabel 4-5 Raming van de jaarlijkse besparing op energiekosten per ha (en netto besparing na aftrek van extra onderhoudskosten) voor de gasmotorwarmtepomp

Overzicht per jaar		Oppervlak 1 ha					
warmtepomp: gasmotor WP (GMWP)							
teelt		potplant referentie	potplant GMWP	potplant GMWP	radijs referentie	radijs GMWP	radijs GMWP
warmtebron			oppervlak-tewater	buiten-lucht		oppervlak-tewater	buiten-lucht
Nominaal vermogen WP	kW		340	340		400	400
aanvoertemperatuur	°C		45	45		45	45
gascontractcapaciteit (ketel/GMWP)	m ³ /h	121	121	121	149	149	149
basislastcapaciteit gas	m ³ /h	25.1	14.1	16.0	14.0	8.0	9.6
warmtevraag	MWh	1895.5	1895.5	1895.5	1059.7	1059.7	1059.7
Brandstofverbruik GMWP	MWh		853.8	875.0		485.7	515.2
Gasverbruik GMWP	Nm ³		97051	99468		55214	58569
Gasverbruik ketel	Nm ³	219874	26856	40279	122916	14691	25111
Totaal gasverbruik	Nm ³	219874	123907	139747	122916	69904	83680
Elektriciteitsverbruik WP	MWh	0	0	0	0	0	0
Elekt.verbruik pomp/fan luchtww	MWh		2.8	23.7		1.4	7.4
Totaal elektriciteits(meer)verbruik	MWh	0	2.8	23.7	0	1.4	7.4
Energiekosten							
Gaskosten (commodity)	EUR	54968	30977	34937	30729	17476	20920
Elektriciteitskosten	EUR	0	179	1513	0	89	470
Extra capaciteitskosten elektr.	EUR		62	708		55	283
Gastransport+capaciteitskosten	EUR	15904	17115	16915	21449	22118	21944
Totaal energiekosten (E)	EUR	70872	48332	54072	52178	39738	43618
Onderhoudskosten WP (O)	3%		2130	2055		2415	2310
Totale jaarlijkse E+O-kosten		70872	50462	56127	52178	42153	45928
Besparing jaarlijkse (E+O)kosten	EUR/jr		20410	14746		10026	6250

Uit tabel 4-5 blijkt dat de GMWP op oppervlaktewater bij potplant de grootste besparing op netto operationele kosten (E+O) oplevert (circa EUR 20.400,- per jaar). Bij buitenlucht is dat circa EUR 5.600,- minder (in dit geval is voor circa EUR 4.000 meer aardgas nodig en circa EUR 1.300, meer elektriciteit). De besparing bij radijs is minder dan de helft van die bij koude potplant.

4.3 Rentabiliteitsbeschouwing

Uit de benodigde investeringen (paragraaf 4.1) en de besparing op netto bedrijfsvoerings- en onderhoudskosten (paragraaf 4.2), kan de eenvoudige terugverdientijd worden afgeleid. Deze is voor de verschillende situaties gegeven in tabel 4-5.

Tabel 4-6 Overzicht eenvoudige terugverdientijden van verschillende warmtepompvarianten bij potplant respectievelijk radijs

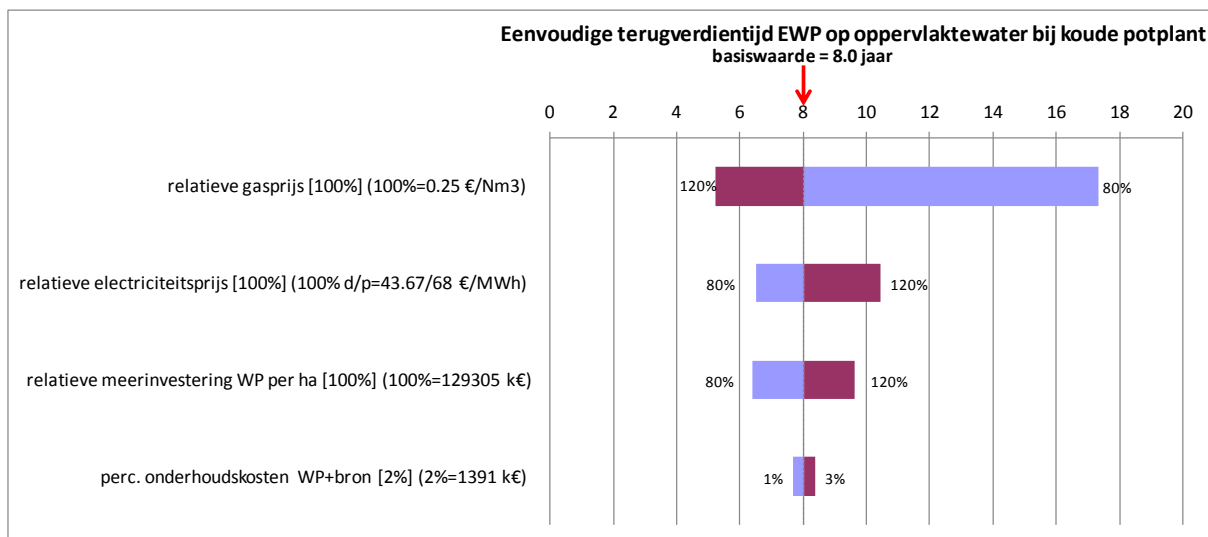
Rentabiliteit warmtepompinstallaties (uitgaande van 2 ha kas)	teelt →	potplant		radijs	
		WP-opper- vlaktewater	WP buiten- lucht	WP-opper- vlaktewater	WP buiten- lucht
EWP					
Investering EWP	EUR/ha/jr	129305	125785	149545	145145
Besparing op E+O-kosten	EUR/ha/jr	16131	6855	6897	2086
Eenvoudige terugverdientijd EWP	jaar	8.0	18.3	21.7	69.6
GMWP					
Investering GMWP	EUR/ha/jr	126660	123910	139750	135900
Besparing op E+O-kosten	EUR/ha/jr	20410	14746	10026	6250
Eenvoudige terugverdientijd GMWP	jaar	6.2	8.4	13.9	21.7

Uit de tabel blijkt, dat eigenlijk alleen de gasmotorwarmtepomp op oppervlaktewater bij koude potplant in de buurt komt van bedrijfseconomische aantrekkelijkheid met een eenvoudige terugverdientijd van 6.2 jaar. Bij de EWP is dat 8 jaar. Als EIA (Energie-Investerings-Aftrek) kan worden verkregen over de aan te schaffen installaties, dan kan deze terugverdientijd nog wat korter worden (zie hiervoor paragraaf 4.5).

4.4 Gevoeligheidsanalyse

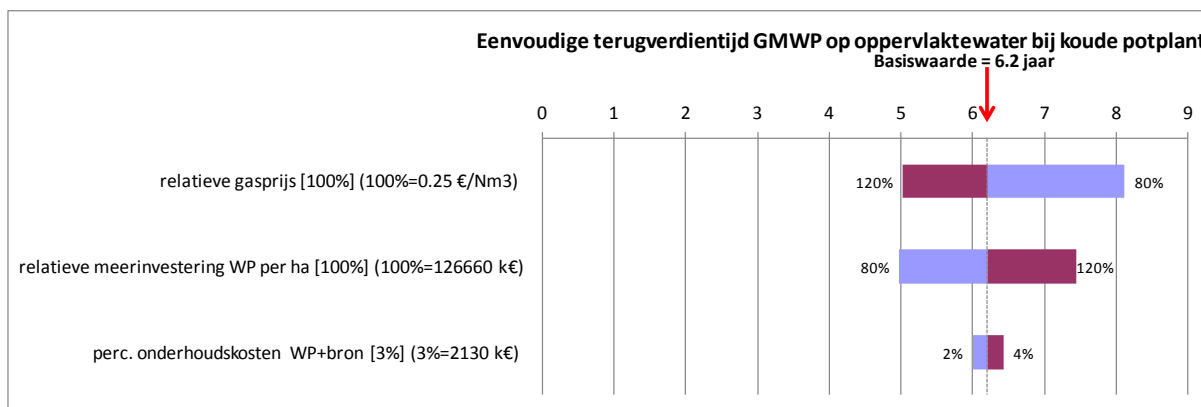
Om inzicht te krijgen in de belangrijkste risico's van het project is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, waarin de gevoeligheid van de eenvoudige terugverdientijd (TVT) voor variaties in de meest belangrijke bedrijfseconomische uitgangspunten is onderzocht. De resultaten van de gevoeligheidsberekeningen zijn grafisch aangegeven in onderstaande zogenaamde "tornadodiagrammen" voor de EWP (Figuur 4-1) respectievelijk de GMWP (Figuur 4-2) voor koude potplant op oppervlaktewater. Hierin is in volgorde van afnemende gevoeligheid aangegeven hoe de TVT wijzigt als de betreffende parameter (invloedsgrootte) een grotere respectievelijk lagere waarde heeft, dan de aangenomen nominale [100%] waarde. Uit Figuur 4-1 blijkt bijvoorbeeld dat als de relatieve (commodity) gasprijs 120% bedraagt (dat wil zeggen $1.2 \times 0.25 = 0.30$ €/kWh) de terugverdientijd van de EWP daalt tot circa 5.2 jaar (in

plaats van de nominale waarde van 8.0 jaar, dat wil zeggen een reductie van 2.8 jaar), uitgaande van dezelfde elektriciteitsprijzen. Daalt de gasprijs echter met 20%, dan wordt de terugverdientijd circa 17.3 jaar (+9.3 jaar). Bij een 20% hogere elektriciteitsprijs (bij gelijkblijvende gasprijs) wordt de TVT 10,4 jaar (+2,4 jaar), bij een 20% lagere elektriciteitsprijs wordt dit 6,5 jaar (-1,5 jaar). Zou de benodigde (relatieve) investering 120% van de nominale waarde (129.3 kEUR) bedragen, dan wordt de TVT circa 9.6 jaar (+1.6 jaar). Zou daarentegen de benodigde investering slechts 80% van de nominale investering bedragen, dan verkort de TVT tot circa 6.4 jaar (-1.6 jaar). De laatste parameter op de gevoeligheidsladder betreft de relatieve onderhoudskosten. Het effect van de gekozen variaties in deze parameter blijft beperkt tot minder dan 0.4 jaar.



Figuur 4-1 Tornado diagram van de eenvoudige terugverdientijd van elektrische warmtepomp op oppervlaktewater bij koude potplant. De investering is het meest gevoelig voor de gasprijs

De belangrijkste gevoeligheden van de TVT van de gasmotorwarmtepomp bij koude potplant op oppervlaktewater zijn gegeven in figuur 4-2. Ook hier is de TVT het meest gevoelig voor de gasprijs. Omdat bij deze warmtepomp slechts weinig meer elektriciteit gebruikt wordt dan bij de referentie, komt de elektriciteitsprijs niet als variabele in dit gevoeligheidsdiagram voor.



Figuur 4-2 Tornadodiagram van de eenvoudige terugverdientijd van gasmotorwarmtepomp op oppervlaktewater bij koude potplant

4.5 Energie-investeringsaftrek

De financiële aantrekkelijkheid van de concepten kan naar verwachting nog worden verbeterd door Energie-investeringsaftrek (EIA) aan te vragen. Met de EIA [12] wil de overheid het Nederlandse bedrijfsleven aansporen tot energiebesparing en toepassing van duurzame energie. Als een bedrijf investeert in energiebesparende bedrijfsmiddelen of duurzame energie, kan het via de EIA 41.5% van de investeringskosten aftrekken van de fiscale winst van de onderneming. Het directe financiële voordeel is afhankelijk van het belastingpercentage en bedraagt - als er voldoende winst gemaakt wordt en uitgaande van 25% vennootschapsbelasting - ongeveer 10% van de goedgekeurde investeringskosten (zie ook bijlage D). De EIA kan worden toegepast naast de gewone investeringsaftrek. Het budget voor 2012 is EUR 151 miljoen. Als het EIA-budget overschreden wordt, dan kan de minister van Financiën de regeling beperken of buiten werking stellen. Dit besluit wordt in de Staatscourant en op de website van Agentschap NL gepubliceerd.

Uit de tornadodiagrammen van Figuur 4-1 respectievelijk Figuur 4-2 blijkt dat bij een 10% lagere investering de terugverdientijd van de EWP respectievelijk GMWP met circa 0.8 respectievelijk 0.6 jaar wordt bekort. Dit is dus het verwachte effect van optimale gebruikmaking van EIA voor deze systemen. De terugverdientijd van de EWP komt hiermee op circa 7.2 jaar en die van de GMWP op 5.6 jaar.

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Conclusies

Uit het gevoerde onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- 1 het toepassen van warmtepompen op glastuinbouwbedrijven die nu met een ketel worden verwarmd, heeft de potentie om fors te besparen op het primaire-energieverbruik
- 2 de bronwarmte kan (behalve aan de bodem ook) worden onttrokken aan buitenlucht of (indien voorhanden) oppervlaktewater
- 3 bij energiearme teelten zoals koude potplant respectievelijk radijs, kan een elektrische warmtepomp op oppervlaktewater een primaire-energiebesparing van circa 37% à 38% realiseren en op buitenlucht van circa 22%
- 4 bij een gasmotorwarmtepomp op oppervlaktewater is dat circa 43% en op buitenlucht circa 30 à 34%
- 5 bij de huidige energieprijzen en verwachte benodigde investeringen wordt voor de verschillende varianten (zonder energie-investeringsaftrek) een terugverdientijd verwacht van circa 6 tot 70 jaar, afhankelijk van het type warmtepomp, de aard van de warmtebron en de teelt
- 6 bedrijfseconomisch is de gasmotorwarmtepomp bij koude potplant op oppervlaktewater het meest aantrekkelijk met een verwachte terugverdientijd van circa 6.2 jaar
- 7 voor de elektrische warmtepomp op oppervlaktewater is dat circa 8 jaar
- 8 een warmtepomp op buitenlucht is financieel minder aantrekkelijk vanwege de gemiddeld lagere COP en de extra elektriciteitskosten voor aandrijving van de ventilatoren die de buitenlucht aanvoeren naar de verdampers
- 9 een warmtepomp bij radijs is bedrijfseconomisch niet interessant. De bedrijfstijd is te kort om tot een redelijke terugverdientijd te komen
- 10 de terugverdientijd is sterk gevoelig voor de gasprijs. Bij een stijging van 20% (en gelijkblijvende elektriciteitsprijs), daalt de terugverdientijd sterk. Bij een gasmotorwarmtepomp op oppervlaktewater bedraagt die daling circa 1.2 jaar en wordt dan circa 5 jaar.
- 11 indien optimaal gebruik gemaakt kan worden van Energie-investeringsaftrek, daalt de TVT van de gasmotorwarmtepomp op oppervlaktewater bij koude potplant naar circa 5.6 jaar.

5.2 **Aanbevelingen**

- 1 Situationeel kunnen andere warmtebronnen, zoals bijvoorbeeld restwarmte van een nabijgelegen bedrijf beter geschikt zijn als warmtebron voor de warmtepomp.
- 2 In het geval dat er op het bedrijf ook gekoeld moet worden, is het zinvol koude-/warmteopslag gebaseerde bronnen (KWO, in bijvoorbeeld aquifers) te gebruiken, waarbij de door de WP geproduceerde koude in de winter wordt opgeslagen en in de zomer wordt gebruikt voor kaskoeling, en de geproduceerde warmte in de zomer wordt teruggewonnen en opgeslagen en in de winter wordt gebruikt.

LITERATUUR

- [1] Ruijter, J.A.F. de, "Haalbaarheid toepassing van warmtepompen in de glastuinbouw", Selectiehulpmiddel bij de speurtocht naar kansrijke toepassingen", KEMA, 2003.
- [2] Swinkels, G.L.A.M., "Standaard Teelten", IMAG, maart 2000.
- [3] Woerden, S.C. van, "Kwantitatieve informatie voor de Glastuinbouw 2003-2004", PPO-WUR, sept. 2003.
- [4] Slegers, J., "Warmtepomp was kleine stap", Vakblad voor de bloemisterij 32, 2007.
- [5] Louis Vrieze, "Wat kost een warmtepomp", Vakblad voor de Bloemisterij 31 (2004).
- [6] Boot, "Handboek industriële warmtepompen", Kluwer, 1998.
- [7] Büthker, W.F., e.a. 'Gegevens warmtepompsystemen, aquifers en warmteoverdracht betonvloer', GasTech Zakelijke toepassingen, 2002.
- [8] ISSO 81: "Handboek integraal ontwerpen van warmtepompinstallaties voor utiliteitsgebouwen", tabel 1.07 (p33).
- [9] Boonekamp, G., "Verticale ventilatoren werken klimaatverschillen weg", Groenten en Fruit, week 12, 2009.
- [10] DACE (Dutch Association of Cost Engineers), "Onvoorzien in relatie tot risicobepaling bij investeringsbegrotingen", G-1-011, rev. 0, april 1984.
- [11] ISSO, TEMPREF klimaatreferentiejaar, op basis van klimatologische gegevens van 1994-2003 conform de internationale norm NEN-EN-ISO 15927-4.
- [12] Agentschap NL, "Energie en Bedrijven – Energielijst 2012", 2012.

BIJLAGE A WARMTEVRAAG EN KAS

A.1 Data jaarronds simulaties

Tabel A.1 Teeltdata en teeltcondities voor referentieteeltradijs

<i>Teelt</i>	<i>Specificatie</i>	<i>Opmerkingen</i>
Gewas	radijs	jaarrond
Assimilatiebelichting	geen	
Kasoppervlak	2 ha	
<i>Teeltklimaat</i>		
Verwarmingstemperatuur	30-09 t.m. 06-05: dag 12°C, nacht 8 °C	'lichtverhoging': tussen 300 en 800 W/m ² globale instraling wordt de verwarmings- temperatuur lineair met 0 tot 4 °C ver- hoogd
Ventilatietemperatuur	2 °C boven verwarmingstemperatuur	'lichtverhoging': tussen 300 en 800 W/m ² globale instraling wordt de ventilatie- temperatuur lineair met 0 tot 4 °C ver- hoogd
RV	streefwaarde: max. 85%	Geen vochtregeling
Minimum buis temp.	geen	
Energiescherm	geen	

Tabel A.2 Teeltdata en teeltcondities voor referentieteelt koude potplant

<i>Teelt</i>	<i>Specificatie</i>	<i>Opmerkingen</i>
Gewas	Koude potplant	jaarrond
Assimilatiebelichting	geen	
Kasoppervlak	2 ha	
<i>Teeltklimaat</i>		
Verwarmingstemperatuur	01-12 t.m. 30-11: dag 15°C, nacht 13 °C	'lichtverhoging': tussen 100 en 300 W/m ² globale instraling wordt de verwarmings-temperatuur lineair met 0 tot 2 °C verhoogd
Ventilatietemperatuur	2 °C boven verwarmingstemperatuur	'lichtverhoging': tussen 100 en 300 W/m ² globale instraling wordt de ventilatie-temperatuur lineair met 0 tot 3 °C verhoogd
RV	streefwaarde: max. 90%	
Minimum buis temp.	geen	
Energiescherm	enkel, transparant; vochtdoorlatend	dicht als buitentemperatuur 2 °C lager is dan kastemperatuur, mits globale instraling minder dan 10 W/m ² (3439 schermuren bij referentiejaar)

Eigenschappen kas

De *energievraag* in een kas hangt af van de bouwfysische kenmerken van de kas, het gewenste binnenklimaat, de teelt en de optredende buitencondities. Ter bepaling van het benodigde energieverbruik is het nodig hierover bepaalde aannamen te maken.

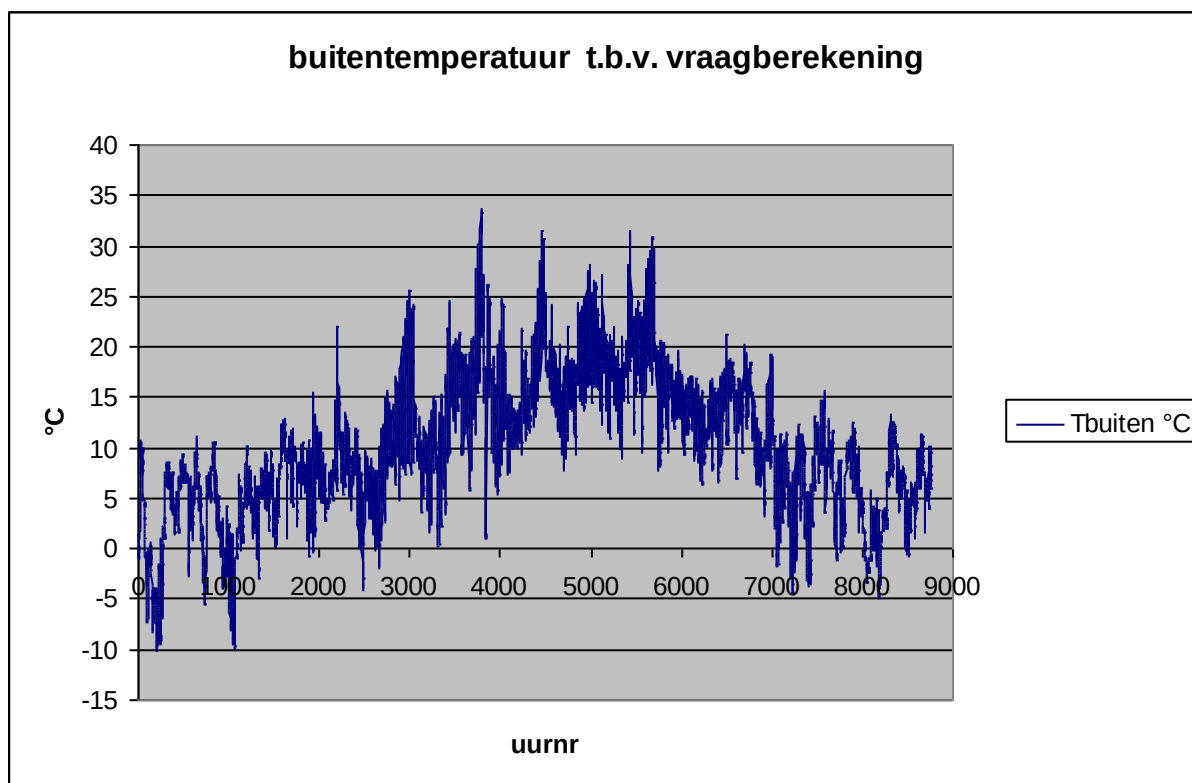
Wat betreft kasomhulling wordt in deze studie uitgegaan van een enkelglas kasdek (maar met dubbelglasgevels of enkelglas gevel met energiescherm). De kas is bij de potplant voorzien van (een beweegbaar) energiescherm. De belangrijkste constructietechnische en bouwfysische kenmerken zijn samengevat in tabel A.2.

Tabel A.3 Kenmerken kas (referentie en alternatief)

<i>Kas</i>	<i>Specificatie</i>	<i>Opmerkingen / aannamen</i>
Oppervlak	2.0 ha	
Type	Venlo (traliebreedte= 8 m)	
Gemiddelde hoogte	6.68 m	
Kap	enkel glas dakhoek 21°	warmtedoorgangscoefficiënt $U=6.82 \text{ W/m}^2\text{K}$ bij windsnelheid 0 m/s
Gevel	geïsoleerd	warmtedoorgangscoefficiënt $U=3.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
Schermb (bij potplant)	energieschermb (transparant, vocht- doorlatend)	circa 42 % energiebesparing indien gesloten. Transmissiefactor: 82% (gemiddeld voor direct en diffuus licht)
Verhouding oppervlak ven- tilatieramen/kasoppervlak	2×0.1169	$l_{\text{raam}} = 1.67\text{m}$ $h_{\text{raam}} = 1.40\text{m}$

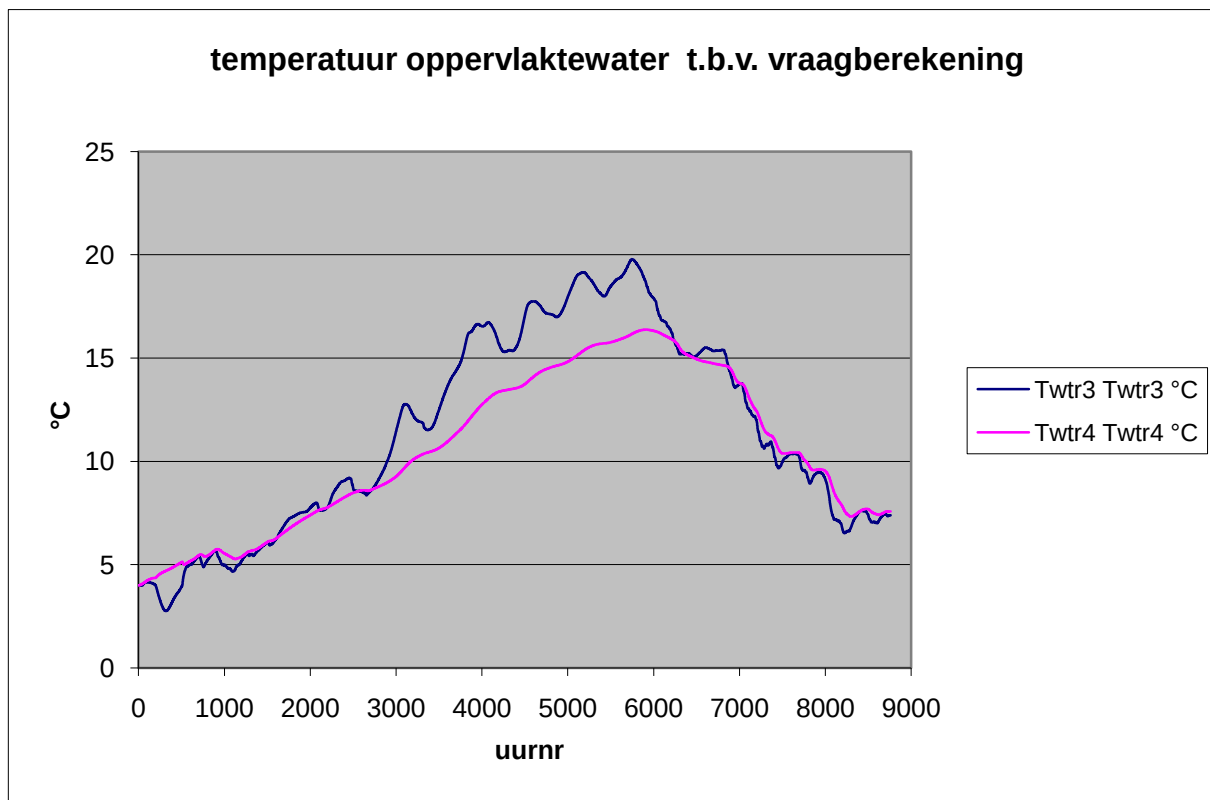
BIJLAGE B KLIMAATREFERENTIEJAAR

Verloop buitentemperatuur (TEMPREF) klimaatreferentiejaar



Indicatie verloop oppervlaktewatertemperatuur

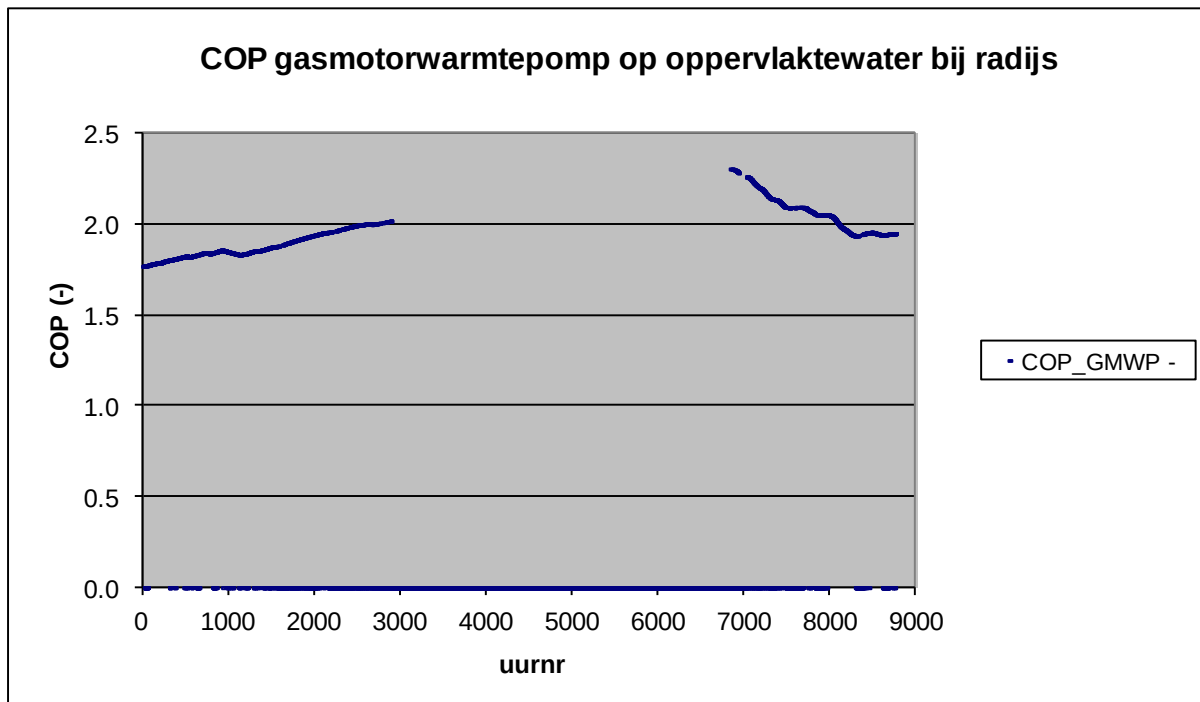
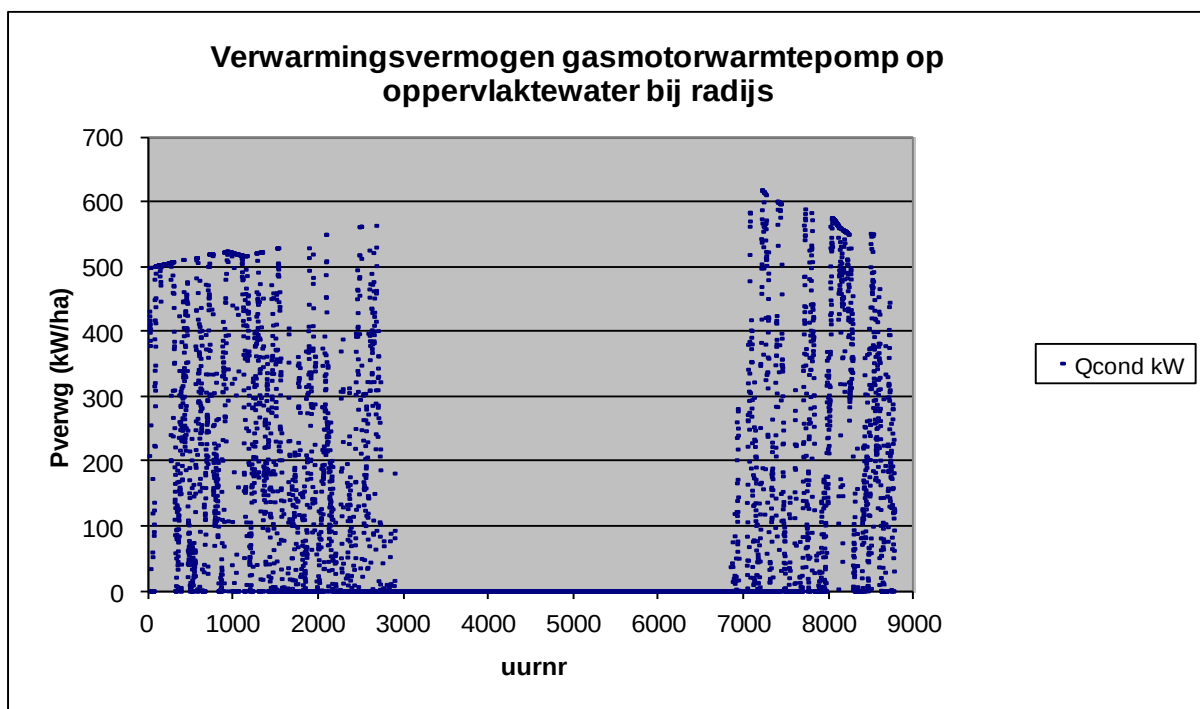
Uitgaande van het TEMPREF klimaatreferentiejaar is met een "first principles" model een raming gemaakt van de variabiliteit van de oppervlaktewatertemperatuur op verschillende diepten. Aangezien de werkelijke watertemperatuur van een bepaald oppervlaktewater van zeer veel verschillende omstandigheden afhangt (zoals geografische ligging, stroming, mate van beschutting, diepte van het water, gladheid van het wateroppervlak, helderheid van het water, windsnelheid, zonne-instraling, verdamping, et cetera, is het onmogelijk om dit precies te beschrijven (zeker binnen de gegeven projectscope). De feitelijke temperatuur hangt ook af van de diepte van de waterlaag waarover het gaat. Het eenvoudige model neemt zonneinstraling/reflectie mee, convectief warmtetransport aan het scheidsvlak tussen lucht en water, warmtegeleiding in het water en menging van waterlagen indien de dichtheid van de bovenliggende lagen hoger zou worden dan die van onderliggende lagen (i.h.a. dus als deze kouder zijn). Het resultaat van deze verkennende berekening (die niet meer dan indicatief kan zijn) is gegeven in de figuur hieronder.



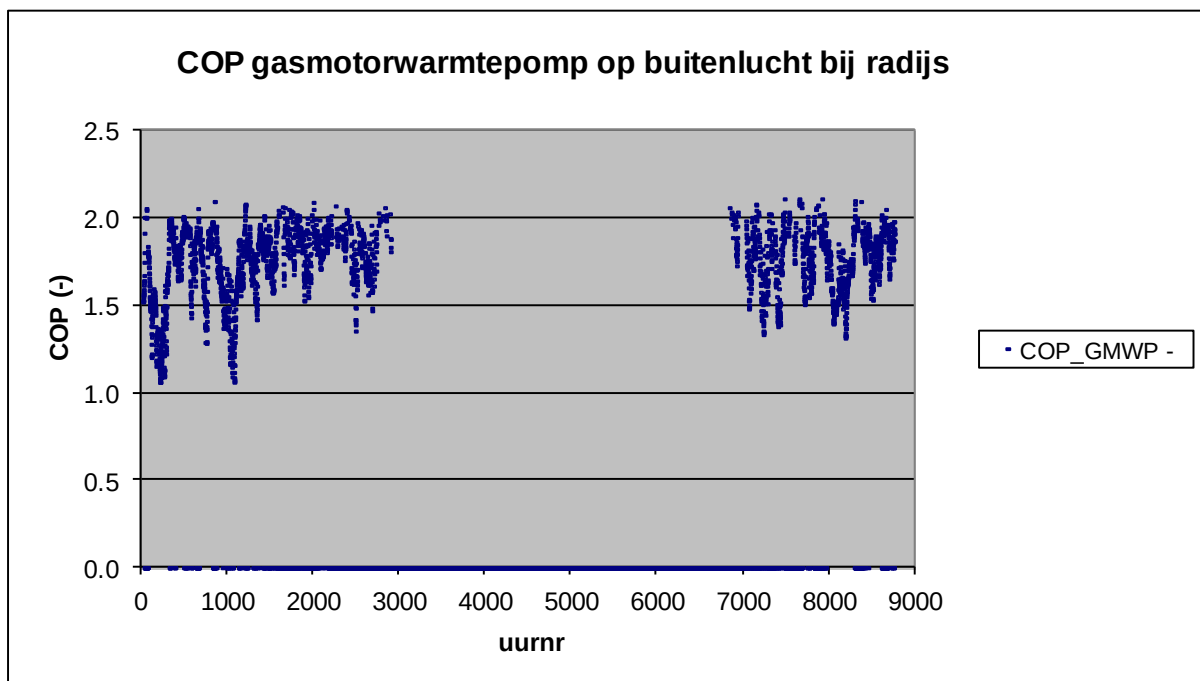
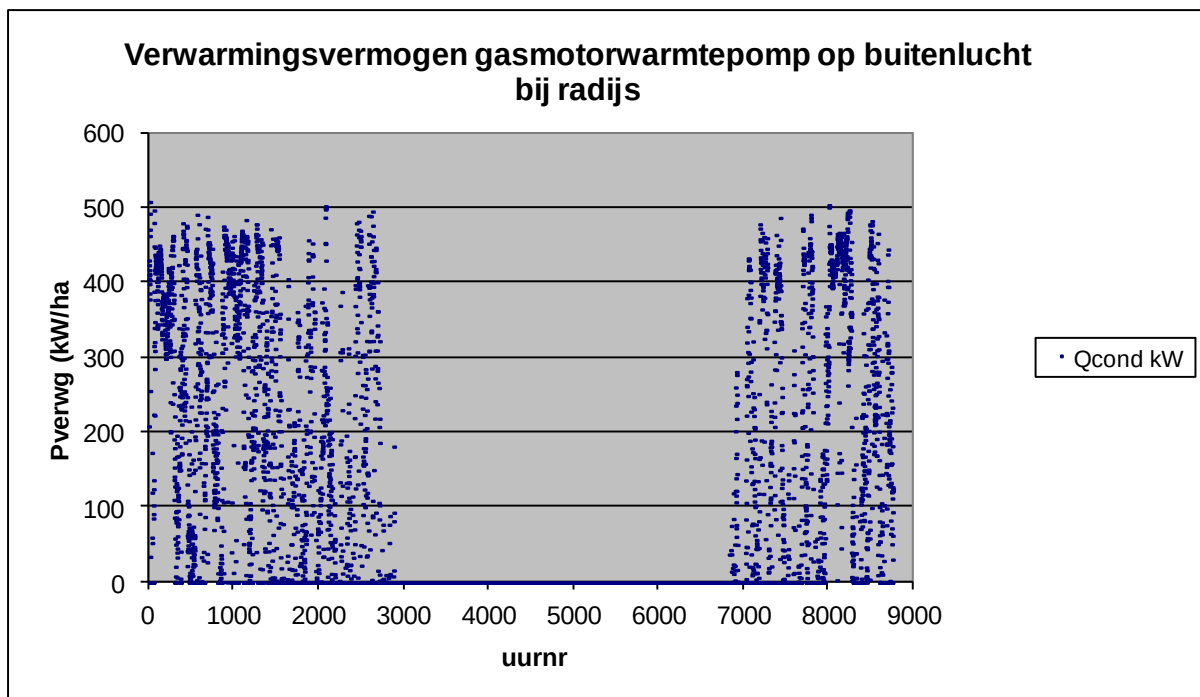
Twtr3 is bepaald op een gemiddelde laagdiepte van 0,4 m onder het oppervlak en Twtr4 op een gemiddelde diepte van 0,92 m. In de energieberekeningen is ervan uitgegaan, dat het water op een diepte van ongeveer 1 m wordt aangezogen. We hebben daarom met Twtr4 gerekend als de brontemperatuur voor een warmtepomp op oppervlaktewater.

BIJLAGE C DETAILS JAARRONDBEREKENINGEN WP-CONCEPTEN

Hieronder zijn op grafische wijze de resultaten gegeven van de jaarrondberekeningen voor de gasmotorgedreven warmtepomp (GMWP) voor radijs. De eerste situatie betreft oppervlaktewater als warmtebron. De gemiddelde COP over de verwarmingsperiode bedraagt 1.9.

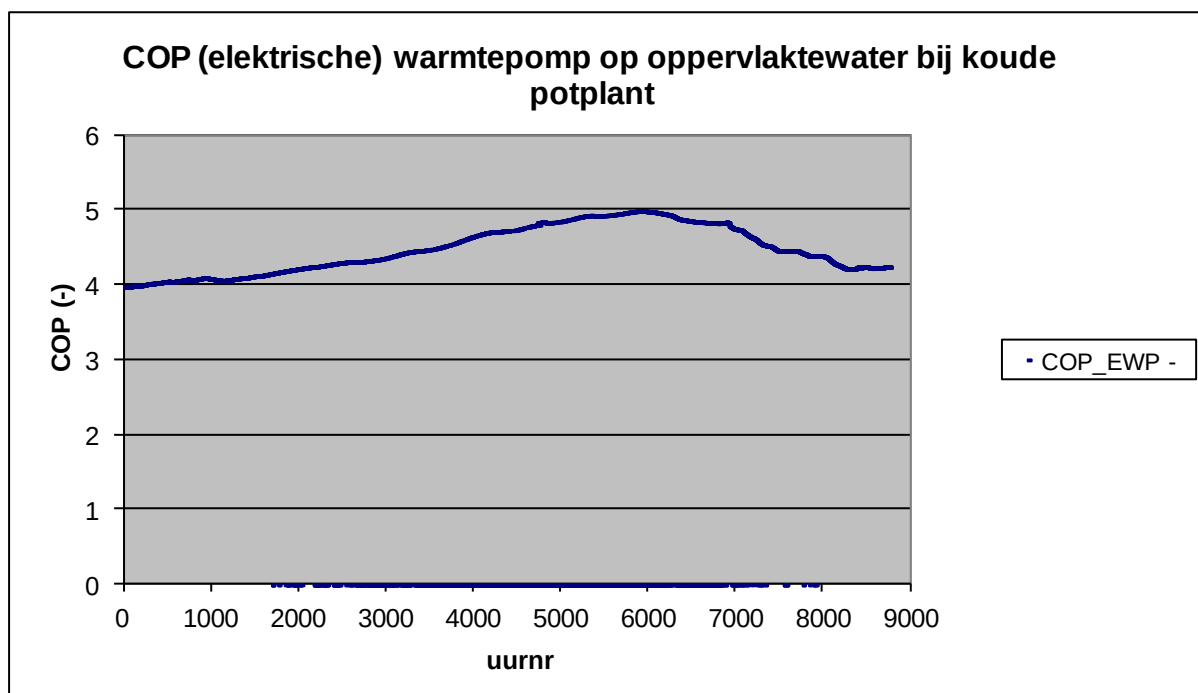
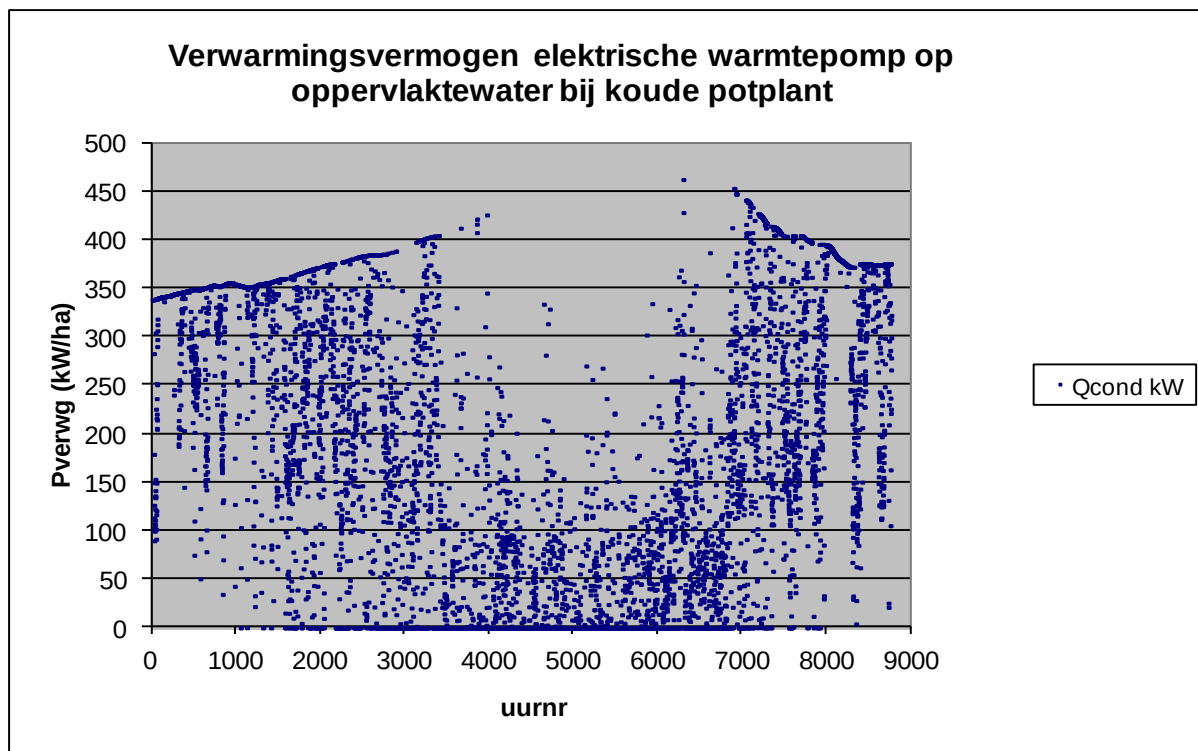


Voor de situatie op buitenlucht zijn de resultaten berekend, zoals hieronder aangegeven. De gemiddelde COP over de verwarmingsperiode bedraagt 1.7.

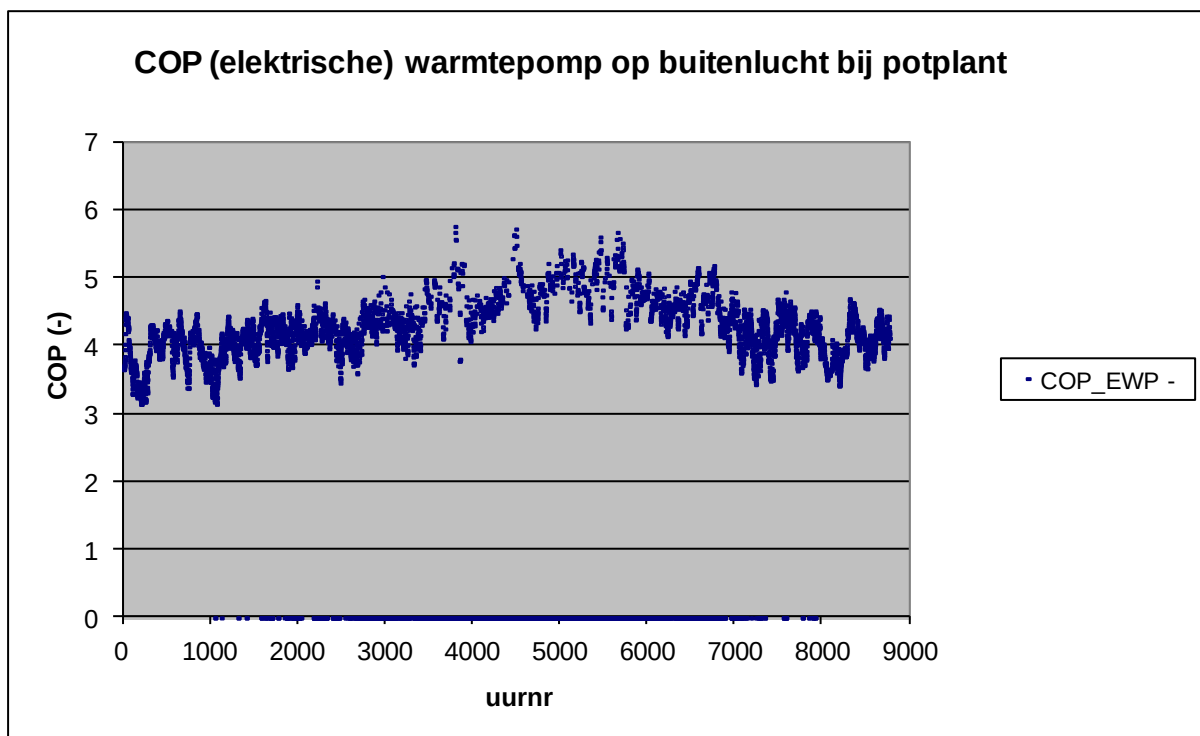
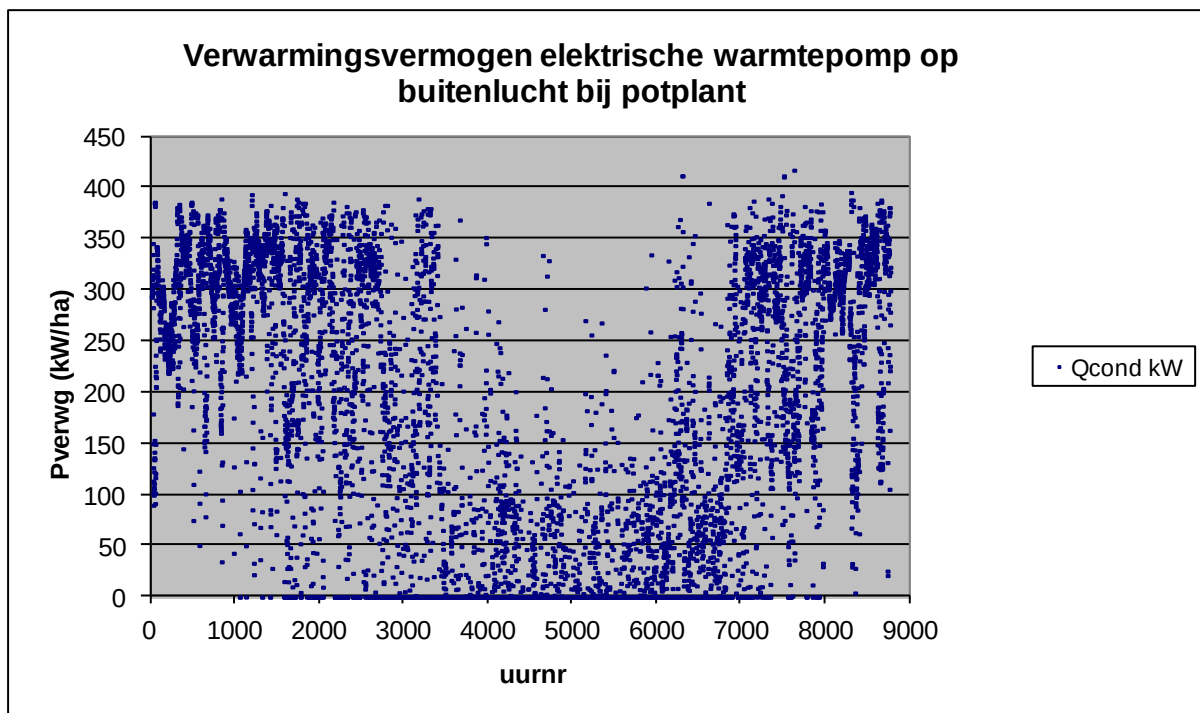


Bijlage C blad 3

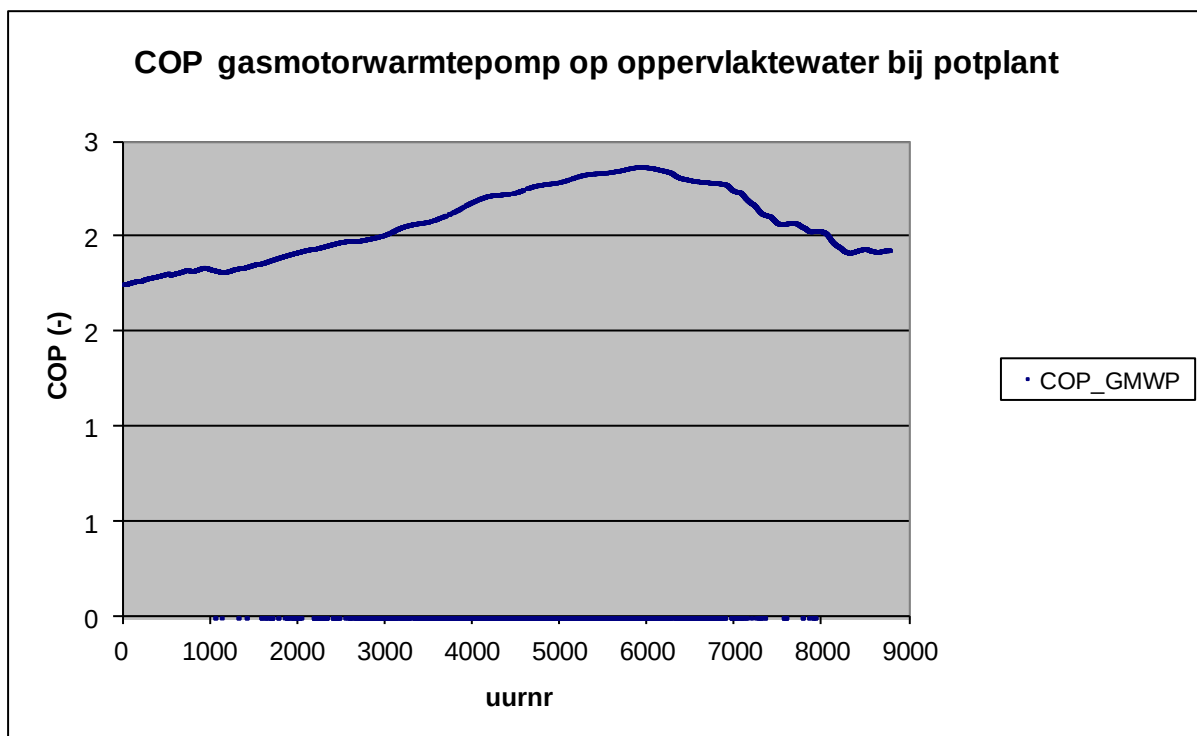
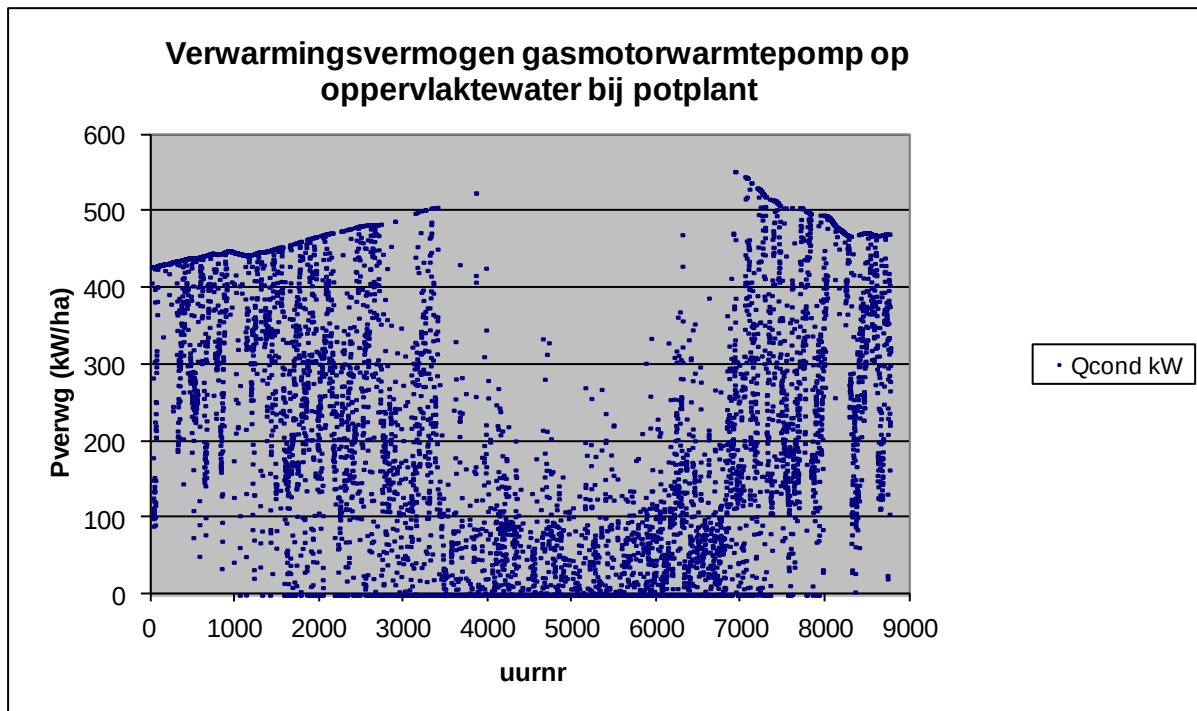
Detailresultaten jaarrondberekeningen voor de elektrische warmtepomp (EWP) op oppervlaktewater voor koude potplant. (De jaargemiddelde COP bedraagt 4.4)



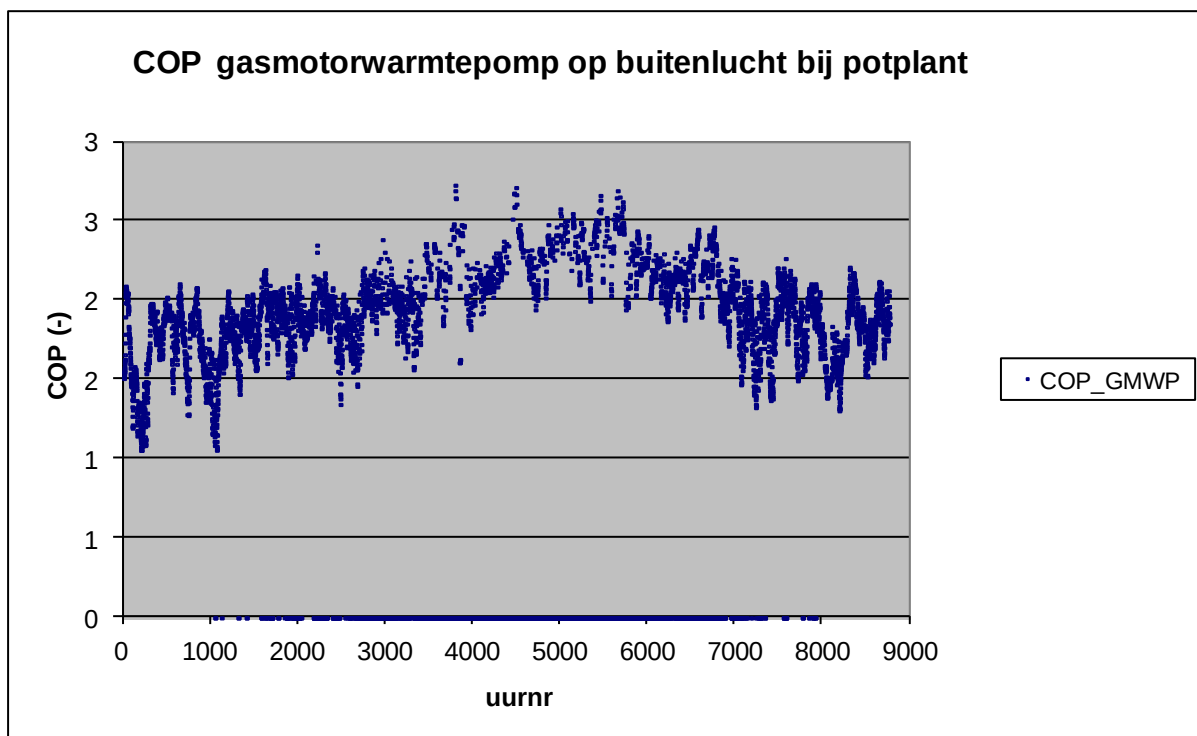
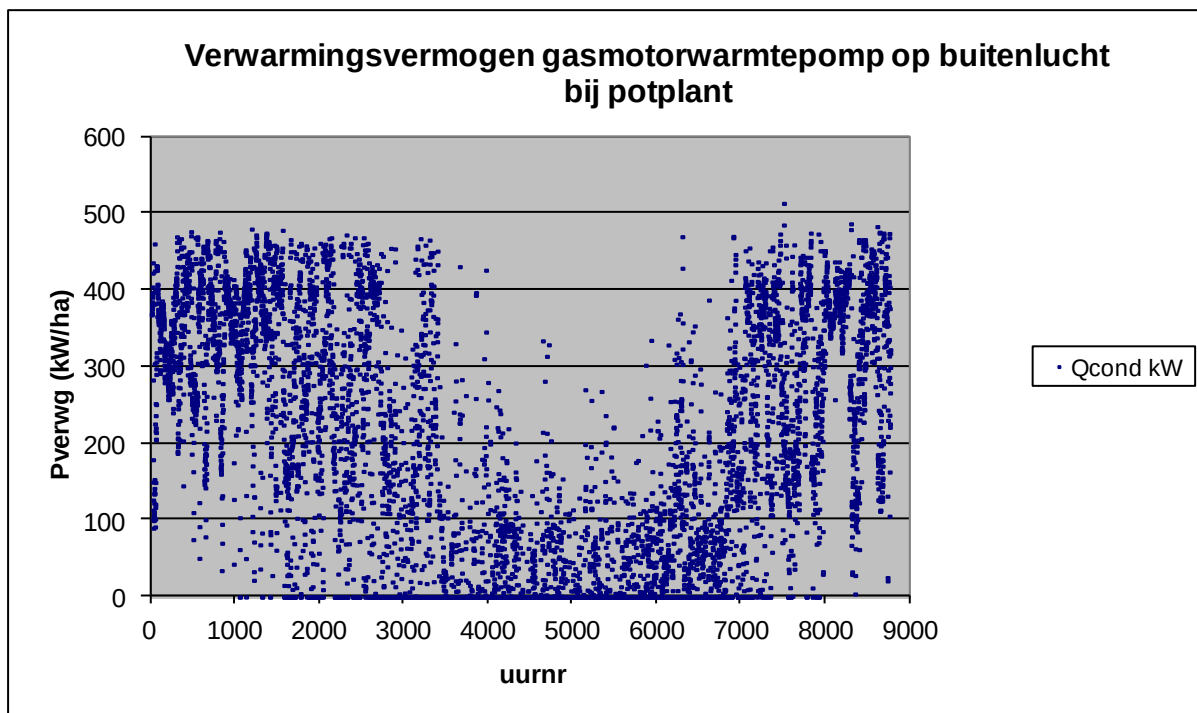
Detailresultaten jaarrondberekeningen voor de elektrische warmtepomp (EWP) op buitenlucht voor koude potplant (de jaargemiddelde COP bedraagt 4.21).



Detailresultaten jaarrondberekeningen voor de gasmotorgedreven warmtepomp (GMWP) voor potplant op oppervlaktewater. De jaargemiddelde COP (PER) bedraagt 2.0.



Detailresultaten jaarrondberekeningen voor de gasmotorgedreven warmtepomp (GMWP) voor potplant op buitenlucht. De jaargemiddelde COP (PER) bedraagt 1.9.



BIJLAGE D ENERGIE-INVESTERINGSAFTREK (EIA)

De financiële aantrekkelijkheid van de concepten kan naar verwachting nog worden verbeterd door Energie-InvesteringsAftrek (EIA) aan te vragen. Met de EIA wil de overheid het Nederlandse bedrijfsleven aansporen tot energiebesparing en toepassing van duurzame energie. Als een bedrijf investeert in energiebesparende bedrijfsmiddelen of duurzame energie, kan het via de EIA 41,5% van de investeringskosten aftrekken van de fiscale winst van de onderneming. Het directe financiële voordeel is afhankelijk van het belastingpercentage en bedraagt (als er voldoende winst gemaakt wordt) ongeveer 8 à 10% van de goedgekeurde investeringskosten. De EIA kan worden toegepast naast de gewone investeringsaftrek. Het budget voor 2012 is € 151 miljoen. Als het EIA-budget overschreden wordt, dan kan de minister van Financiën de regeling beperken of buiten werking stellen. Dit besluit wordt in de Staatscourant en op de website van Agentschap NL gepubliceerd.

Rekenvoorbeeld De fiscale winst in 2012 bedraagt € 500.000. De vennootschapsbelasting is 20% voor de eerste schijf tot 200.000 en 25% boven € 200.000. U doet voor € 300.000 nieuwe energie-investeringen. EIA bedraagt 41,5% van € 300.000, dat is € 124.500. De fiscale winst wordt nu € 375.500 (€ 500.000 - € 124.500). Zonder EIA betaalt u € 115.000 vennootschapsbelasting. Met EIA betaalt u slechts € 83.875 vennootschapsbelasting. Uw directe fiscale voordeel bedraagt € 31.125. Het netto EIA-voordeel is ongeveer 10%.

De Warmtepomp staat op de Energielijst van 2012 van apparaten/installaties die ontvankelijk zijn voor EIA, geregistreerd onder nummers (in de categorie bedrijfsgebouwen) 211103 en 211104 en (processen) 221103. De onderstaande tekst is overgenomen uit de brochure "Energie en Bedrijven - Energielijst 2012", uitgegeven door Agentschap NL.

211103 [w] [gewijzigd]

Warmtepompen

Bestemd voor: het verwarmen van bedrijfsgebouwen of het collectief verwarmen van woningen,
en bestaande uit:

- a. elektrisch gedreven brine/water warmtepomp met een $COP \geq 4,0$ gemeten conform NEN-EN 14511 bij conditie B0/W35 of gasgestookte ab- of adsorptiewarmtepomp met een gas utilization efficiency⁴ $\geq 1,6$ gemeten conform NEN-EN 12309-2 bij conditie B0/W35, (eventueel) bodemwarmtewisselaar of grondwaterbron, (eventueel) restwarmteopslagvat, (eventueel) aansluiting op het verwarmingsnet, (eventueel) verwarmingsnet, of
- b. elektrisch gedreven warmtepomp met directe expansie (DX) in de bodemwarmtewisselaar met een $COP \geq 4,5$ bij een conditie E4/W35, (eventueel) bodemwarmtewisselaar of grondwaterbron, (eventueel) restwarmteopslagvat, (eventueel) aansluiting op het verwarmingsnet, (eventueel) verwarmingsnet, of

⁴ GUE = gas utility efficiency. De GUE wordt gebruikt voor gasgestookte warmtepompen en is voor dit type warmtepompen een andere aanduiding voor de PER = primary energy ratio, de verhouding van nuttige energie en de benodigde hoeveelheid primaire-energie voor de aandrijving.

Bijlage D blad 2

c. elektrisch gedreven water/water warmtepomp met een COP $\geq 4,5$ gemeten conform NEN-EN 14511 bij conditie W10/W35 of gasgestookte ab- of adsorptiewarmtepomp met een gas utilization efficiency $\geq 1,8$ gemeten conform NEN-EN 12309-2 bij conditie W10/W35, (eventueel) grondwaterbron, (eventueel) restwarmteopslagvat, (eventueel) aansluiting op het verwarmingsnet, (eventueel) verwarmingsnet, of

d. elektrisch gedreven brine/lucht warmtepomp met een COP $\geq 3,0$ gemeten conform NEN-EN 14511 bij conditie B0/A20 of gasgestookte ab- of adsorptiewarmtepomp brine/lucht met een gas utilization efficiency $\geq 1,2$ gemeten conform NEN-EN 12309-2 bij conditie B0/A20, (eventueel) bodemwarmtewisselaar of grondwaterbron (eventueel) restwarmteopslagvat, (eventueel) aansluiting op het verwarmingsnet, (eventueel) verwarmingsnet, of

e. elektrisch gedreven water/lucht warmtepomp met een COP $\geq 4,5$ gemeten conform NEN-EN 14511 bij conditie W15/A20 of elektrisch gedreven warmtepomp met een COP $\geq 5,0$ gemeten conform NEN-EN 14511 bij conditie W20/A20 (waterloop) of gasgestookte ab- of adsorptiewarmtepomp water/lucht met een GUE $\geq 1,8$ gemeten conform NEN-EN 12309-2 bij conditie W15/A20 of gasgestookte ab- of adsorptiewarmtepomp met een GUE $\geq 2,0$ gemeten conform NEN-EN 12309-2 bij conditie W20/A20 (waterloop), (eventueel) bodemwarmtewisselaar of grondwaterbron, (eventueel) restwarmteopslagvat, (eventueel) aansluiting op het verwarmingsnet, (eventueel) verwarmingsnet, of

f. ab- of adsorptiewarmtepomp water/water of water/lucht waarbij de regenerator wordt aangedreven door afvalwarmte¹ of duurzame warmte¹², (eventueel) bodemwarmtewisselaar of grondwaterbron, (eventueel) restwarmteopslagvat, (eventueel) aansluiting op het verwarmingsnet, (eventueel) verwarmingsnet.

Het maximum investeringsbedrag voor de aansluiting op het verwarmingsnet en het verwarmingsnet zelf, genoemd onder a t/m f, dat voor Energie-investeringsaftrek in aanmerking komt, bedraagt **€ 200 per geïnstalleerde kW van het thermisch vermogen van de warmtepomp**.

Toelichting:

• Als de installatie altijd geregeld wordt op basis van de koelvraag, is het geen warmtepomp. Het kan dan wel een koelinstallatie met warmteterugwinning zijn. Zie de code 220813.

• Warmtepompsystemen waarbij ruimteverwarming en tapwater zijn gecombineerd, moeten voldoen aan de omschrijving van code 211103 of 211104. • NEN-EN 14511 en NEN-EN 12309-2 zijn niet van toepassing op een gasmotor gedreven warmtepomp. Een gasmotor gedreven warmtepomp zal op dezelfde wijze worden beoordeeld als de gasgestookte warmtepomp.

• Een luchtontvochtiger wordt niet als warmtepomp beoordeeld maar als een koelinstallatie met nuttig gebruik van condensorwarmte. De condensor kan in dat geval gemeld worden onder code 220813. Efficiënte luchtontvochtigers staan vermeld onder code 210705.

• Luchtkanalen komen niet in aanmerking.

Warmtepompen die zijn geplaatst in woningen komen niet in aanmerking. Indien een centraal (buiten de woning) opgestelde warmtepomp wordt gebruikt voor verwarming van meer dan één woning of andere gebouwen, komt de warmtepomp wel in aanmerking, het verwarmingsnet komt niet voor woningen in aanmerking.

211104 [w] [gewijzigd]

Warmtepompen (luchtgerelateerd)

Bestemd voor: het verwarmen van bedrijfsgebouwen of het collectief verwarmen van woningen,

en bestaande uit:

a. elektrisch gedreven lucht/water warmtepomp met een COP $\geq 4,0$ gemeten conform NEN-EN 14511 bij conditie A7/W35 of gasgestookte ab- of adsorptiewarmtepomp met een gas utilization efficiency $\geq 1,6$ gemeten conform NEN-EN 12309-2 bij conditie A7/W35, (eventueel) restwarmteopslagvat, (eventueel) aansluiting op het verwarmingsnet¹¹, (eventueel) verwarmingsnet, of

b. elektrisch gedreven lucht/water en lucht (gecombineerd) warmtepomp met een COP $\geq 4,0$ gemeten conform NEN-EN 14511 bij conditie A7/W35 of gasgestookte ab- of adsorptiewarmtepomp met een gas utilization efficiency $\geq 1,6$ gemeten conform NEN-EN 12309-2 bij conditie A7/W35, (eventueel) restwarmteopslagvat, (eventueel) aansluiting op het verwarmingsnet, (eventueel) verwarmingsnet, of

c. elektrisch gedreven lucht/lucht warmtepomp (Airconditioner systemen) met een COP $\geq 4,0$ gemeten conform NEN-EN 14511 bij conditie A7/A20 of gasgestookte ab- of adsorptiewarmtepomp met een gas utilization efficiency $\geq 1,6$ gemeten conform NEN-EN 12309-2 bij conditie A7/A20, of

Bijlage D blad 3

d. ab- of adsorptiewarmtepomp lucht/lucht of lucht/water waarbij de regenerator wordt aangedreven door afvalwarmte₁ of duurzame warmte₁₂, (eventueel) bodemwarmtewisselaar of grondwaterbron, (eventueel) restwarmteopslagvat, (eventueel) aansluiting op het verwarmingsnet, (eventueel) verwarmingsnet.

De correctie op gelijktijdigheid wordt berekend zoals het systeem is ontworpen, waarbij de gehanteerde gelijktijdigheid maximaal 130% bedraagt.

Het maximum investeringsbedrag voor de aansluiting op het verwarmingsnet en het verwarmingsnet zelf, genoemd onder a, b en d, dat voor Energie-investeringsaftrek in aanmerking komt, bedraagt **€ 200 per geïnstalleerde kW van het thermisch vermogen van de warmtepomp**.

Toelichting:

- Als de installatie altijd geregeld wordt op basis van de koelvraag, is het geen warmtepomp. Het kan dan wel een koelinstallatie met warmteterugwinning zijn. Zie de code 220813.
- Warmtepompsystemen waarbij ruimteverwarming en tapwater zijn gecombineerd, moeten voldoen aan de omschrijving van code 211103 of 211104.
- NEN-EN 14511 en NEN-EN 12309-2 zijn niet van toepassing op een gasmotor gedreven warmtepomp.
- Een gasmotor gedreven warmtepomp zal op dezelfde wijze worden beoordeeld als de gasgestookte warmtepomp.
- Een luchtontvochtiger wordt niet als warmtepomp beoordeeld maar als een koelinstallatie met nuttig gebruik van condensorwarmte. De condensor kan in dat geval gemeld worden onder code 220813. Efficiënte luchtontvochtigers staan vermeld onder code 210705.
- Luchtkanalen komen niet in aanmerking.
- Warmtepompen die zijn geplaatst in woningen komen niet in aanmerking. Indien een centraal (buiten de woning) opgestelde warmtepomp wordt gebruikt voor verwarming van meer dan één woning of andere gebouwen, komt de warmtepomp wel in aanmerking, het verwarmingsnet komt niet voor woningen in aanmerking.

221103 [w] [gewijzigd]

Warmtepomp

Bestemd voor: het nuttig aanwenden van warmte voor processen,

en bestaande uit:

a. elektrisch gedreven warmtepomp waarbij, bij een temperatuurlift (dT) tussen brontemperatuur (intrede temperatuur verdamper) en afgiftemtemperatuur (uittrede temperatuur condensor), de volgende COP-eis geldt:

COP $\geq$ 4,0 bij dT tot +40°C,

COP $\geq$ 3,5 bij dT van +40°C tot +50°C,

COP $\geq$ 3,0 bij dT $\geq$ +50°C,

(eventueel) bodemwarmtewisselaar of grondwaterbron, (eventueel) restwarmteopslagvat, of

b. een gasmotor gedreven warmtepomp of een gasgestookte ab- of adsorptiewarmtepomp waarbij, bij een temperatuurlift (dT) tussen brontemperatuur (intrede temperatuur verdamper) en afgifte temperatuur (uittredetemperatuur condensor), de volgende GUE-eis geldt:

GUE $\geq$ 1,6 bij dT tot +40°C.

GUE $\geq$ 1,4 bij dT van +40°C tot +50°C.

GUE $\geq$ 1,2 bij dT $\geq$ +50°C.

(eventueel) bodemwarmtewisselaar of grondwaterbron, (eventueel) restwarmteopslagvat, of

c. ab- of adsorptiewarmtepomp waarbij de regenerator wordt aangedreven door afvalwarmte₁ of duurzame warmte₁₂, (eventueel) bodemwarmtewisselaar of grondwaterbron, (eventueel) restwarmteopslagvat.

Toelichting:

Een installatie die hoofdzakelijk geregeld wordt op de koelvraag of dient als luchtontvochtiger wordt niet als warmtepomp beoordeeld.

Het kan dan wel een koelinstallatie met (eventueel) warmteterugwinning zijn. Zie de code 220212, 220813, 220715.