



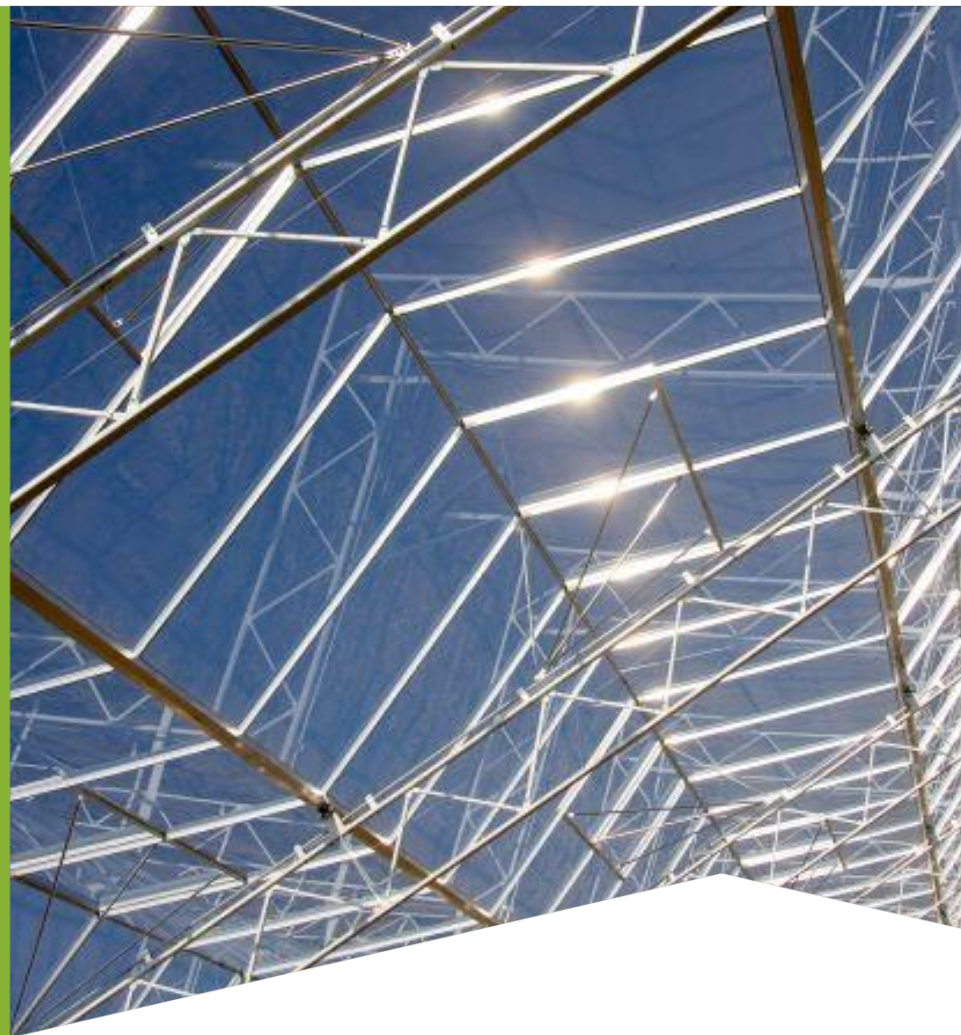
Besparen en verduurzamen

# Warmtepompen in de glastuinbouw

DATUM | 30 april 2024

OPDRACHTGEVER | Stichting Kennis in je Kas

STATUS | DEFINITIEF



# Warmtepompen in de glastuinbouw



## DATUM

30 april 2024

## UITGEVOERD DOOR

Bob Fennis, Jeroen Larrivee

## CO-LEZER

Stijn Schlatmann

## IN OPDRACHT VAN

Stichting Kennis in je Kas in het kader van Kas als Energiebron.

Dit rapport is tot stand gekomen als onderdeel van het programma Kas als Energiebron in opdracht van Glastuinbouw Nederland in samenwerking met het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

# Inhoudsopgave



## 1. Inleiding

*Doel en doelgroep, overzicht van de inhoud*



## 2. Werking warmtepomp

*Werking, COP en SCOP, jaarbelastingduurkromme*



## 3. Energieconcepten en inzetstrategie

*Invulling van de warmtevraag, financiële resultaten*



## 4. Overkoepelende aspecten

*Bijkomende belangrijke zaken*



## 5. Conclusie, discussie en aanbevelingen

*Betekenis van de resultaten*



## Bijlagen

# Voorwoord

Dit rapport is tot stand gekomen als onderdeel van het programma Kas als Energiebron, in opdracht van Glastuinbouw Nederland in samenwerking met het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

Tijdens het onderzoek heeft een door Glastuinbouw Nederland samengestelde begeleidingscommissie gefungeerd als klankbordgroep. De begeleidingscommissie bestond uit Glastuinbouw Nederland, De Rijke Techniek, ECW Energy, Jansen Hoeven, en het ministerie van LNV. We willen hierbij graag de leden van de begeleidingscommissie bedanken voor hun waardevolle suggesties tijdens het onderzoek.

We willen daarnaast de volgende partijen bedanken voor hun inbreng: Wageningen UR, Van Dijk Heating, Linthorst, Lek/Habo, Carrier, Ko Kolk Hortensia, Van Klaveren Plant, DivisionQ, AAB NL, IF Technology, Celsius.

# Begrippenlijst

JBDK	Jaar BelastingDuurKormme
CO <sub>2</sub>	Koolstof dioxide
NO <sub>x</sub>	Stokstof oxides
EG	Subsidies Energie-efficiëntie Glastuinbouw
MEI	Marktintroductie energie-innovaties glastuinbouw
SWG	Subsidie warmte-infra glastuinbouw
SDE	Subsidie Duurzame Energie
WKK	WarmteKracht Koppeling
WKO	Warmte Koude Opslag
WP	WarmtePomp
kW	kiloWatt, vermogen
MW	MegaWatt, vermogen
MW <sub>th</sub>	MegaWatt thermisch, vermogen
MWh	MegaWattuur, energiehoeveelheid
m <sup>3</sup>	kubieke meter, volumemaat
m <sup>3</sup> ae	kubieke meter aardgas equivalent, energiehoeveelheid
m <sup>3</sup> warmte	kubieke meter ae gebruikt voor warmtevraag, energiehoeveelheid
$\eta$	rendement of efficiëntie
COP	Coefficient of performance
SCOP	Seasonal Coefficient of performance
dT	temperatuur verschil
Zon-PV	Zon PhotoVoltaic, m.a.w. zonnestroom



# 1. Inleiding

## 1.1. Doelgroep en doel van het rapport

*Dit rapport is gemaakt voor Nederlandse telers die solitair of in clusters zonder collectieve verduurzaming opties opereren.*

Met dit rapport geven we de doelgroep inzicht in, en handvaten voor, warmtepomptoepassing voor de warmtevoorziening van hun kas. Dit doen wij door de belangrijkste technische en economische aspecten uit te werken. Primair is dit rapport bedoeld voor warmtepomptoepassingen die gebruikt worden voor de baseload, secundair is dit rapport bedoeld voor warmtepomptoepassingen die gebruikt worden voor midden- en piekload en efficiëntie verbeteringen.

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat de glastuinbouw streeft naar klimaatneutraal in 2040, waarbij voor 2030 een landelijke restemissiedoelstelling is geformuleerd van 4,3 megaton CO<sub>2</sub>-equivalenten (incl. methaanslib). Deze reductie wordt behaald door een divers pakket aan maatregelen en afspraken, onder andere:

- CO<sub>2</sub>-beprijzing voor de glastuinbouw
- Subsidies zoals de Energie-efficiëntie glastuinbouw (EG) en Marktintroductie energie-innovaties glastuinbouw (MEI) en de Subsidie warmte-infra glastuinbouw (SWIG)
- Fiscale aanpassingen die de juiste financiële prikkels creëren om te investeren in duurzame energie in plaats van aardgas.
- Kennisdeling en ontwikkeling via Kas als Energiebron, waar dit rapport onder valt.

De warmtepomp wordt een belangrijk puzzelstuk in het pad naar klimaatneutraal.

---

# 1. Inleiding

## 1.2. Belang van warmtepompen

Warmtepompen zijn zeer geschikt om in de warmtebehoefte van de glastuinbouw te voorzien en zijn van belang voor de maatschappij.

- 1. Een warmtepomp verlaagt de CO<sub>2</sub>-uitstoot.** Er wordt geen aardgas meer gebruikt maar elektriciteit. Door de hoge efficiëntie is daar bovendien minder van nodig om een gelijke hoeveelheid warmte te produceren. De elektrische ingaande energie wordt steeds duurzamer door de groei van zon- en windenergie. Warmtepompen worden niet voor niets door de International Energy Agency gezien als dé centrale technologie voor verduurzaming van warmte.
- 2. Een warmtepomp is energie-efficiënt.** Een warmtepomp gebruikt twee tot vijf keer minder energie voor verwarming dan een gasketel. Het is een efficiëntere manier van warmteproductie. Hoe kleiner het temperatuurverschil tussen warmtebron en gebruiker, hoe hoger het rendement.
- 3. Een warmtepomp is een economisch productiemiddel.** Warmtepompen zijn regelbaar in vermogen en in combinatie met een buffer ook regelbaar in de tijd. Hierdoor ontstaan diverse optimalisatie en stabilisatie mogelijkheden die het elektriciteitsnet ten goede komt. Deze rol vervult de glastuinbouw op dit moment ook met de inzet van WKK's. De warmtepomp is een productiemiddel die de rol van de WKK in de warmteproductie deels kan overnemen.

## 1.3. Leeswijzer

Na deze inleiding beschrijven we in hoofdstuk 2 de basisprincipes van warmtepompen. Specifiek worden voor de efficiëntie bepalende factoren toegelicht. In Hoofdstuk 3 beschrijven we diverse energieconcepten waarvan we er drie doorrekenen. Het hoofdstuk sluit af met een aantal praktijkcases. In Hoofdstuk 4 komen verschillende overkoepelende aspecten aan bod die relevant zijn voor ontwerp en realisatie. De conclusies, discussie en aanbevelingen volgen in Hoofdstuk 5. Het rapport wordt afgesloten met een aantal bijlagen waarvan de techniekbeschrijving de meeste slides omvat. De techniek beschrijving bevat een technische en praktische beschrijving van de meest relevante technieken die aan bod komen.

# 1. Inleiding

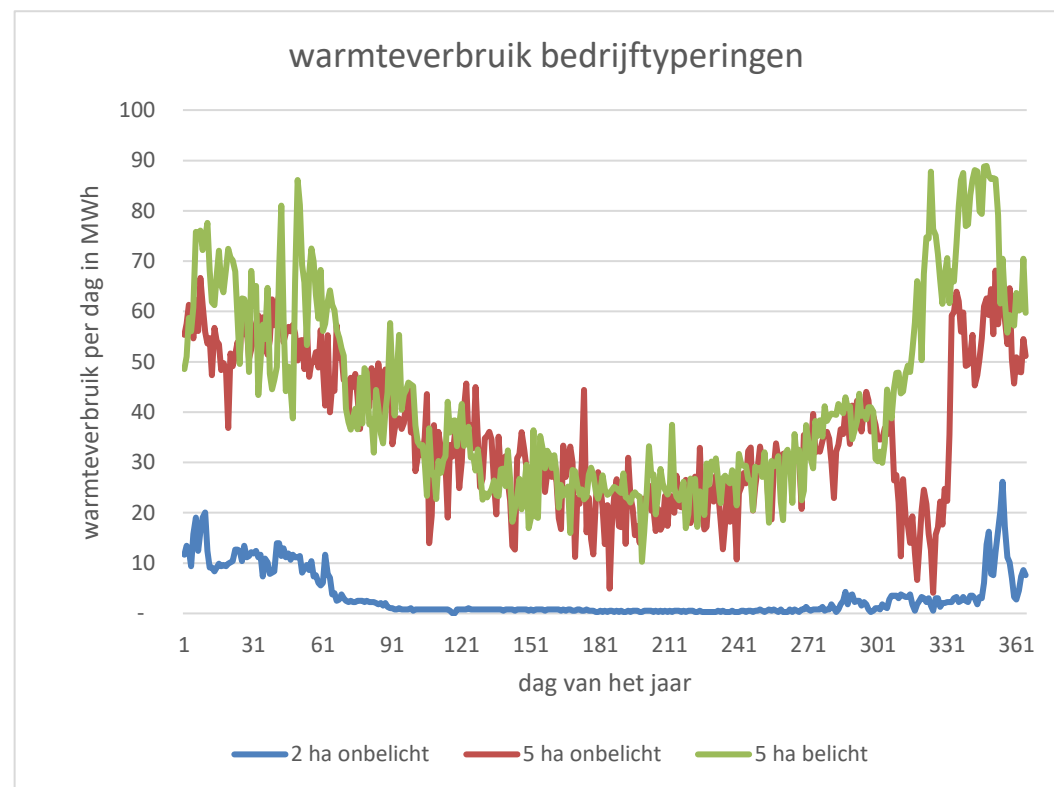
## 1.3. Typering glastuinbouw bedrijven

Het bieden van inzicht en overdragen van kennis werkt het best door dicht bij de praktijk te blijven. In dit rapport gebruiken we in basis drie bedrijf typering die aansluiten bij de doelgroep. De eerste betreft een teler met een onbelichte teelt zoals een potplant en een relatief klein kasoppervlak van 2 ha. De twee andere telers zijn groter (5 ha) en hebben een uitgebreider energieconcept.

	Extensief klein	Intensief onbelicht	Intensief belicht
Kas oppervlak [ha]	2	5	5
Voorbeeld teelt	Potplant koud	Paprika / komkommer	tomaat
Type belichting	Onbelicht	Onbelicht	Belicht
Energie concept	Ketel	Ketel + WKK & etmaalbuffer	Ketel + WKK & etmaalbuffer
Vermogen * [MWth]	2	3 + 3	3 + 3
Warmtevraag [m <sup>3</sup> ae / (m <sup>2</sup> jaar)]	7	27	32
Gasverbruik [m <sup>3</sup> ae / (m <sup>2</sup> jaar)]	7	59	70
Warmtevraag totaal [m <sup>3</sup> warmte]	140.000	1.490.000	1.768.000
Gasverbruik totaal [m <sup>3</sup> ]	140.000	2.950.000	3.500.000

\* Vermogen betreft het thermisch vermogen WKK met nuttig om te zetten warmte

Het totale warmteverbruik over een jaar van deze drie bedrijven is hieronder te zien. we zien dat het “2 ha onbelicht” profiel nagenoeg alleen in de winter warmtebehoefte heeft.

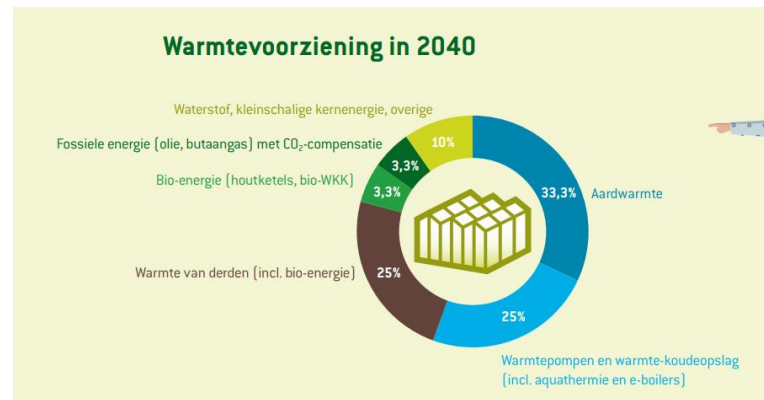




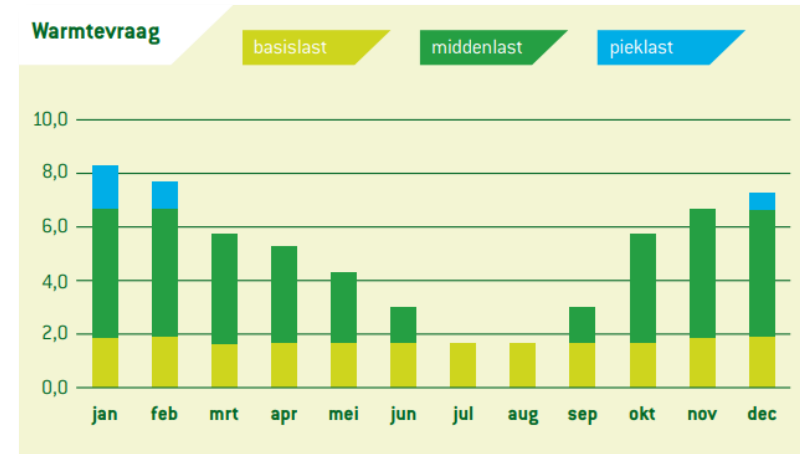
# 1. Inleiding

## 1.4 Hoe past de warmtepomp binnen de verduurzaming van de glastuinbouw?

Nederland staat voor een grote uitdaging: het verduurzamen van het energiesysteem en het uitfasen van aardgas. De glastuinbouw werkt toe naar klimaatneutraal in 2040. Naar verwachting zal 25% van de warmte ingevuld gaan worden door warmtepompen (en elektrische boilers). Tijdens de transitieperiode wordt de aardgas-WKK dus uitgefaseerd en de warmtepomp ingefaseerd. Het begint met het duurzaam invullen van basislast en middenlast. In de transitiefase staan beide machines op het bedrijf. Daarna verdwijnen de WKK's of worden ze omgebouwd naar waterstof. Een duurzame oplossing voor de pieklast (en backup) is nog niet voor handen. Warmtepompen zijn hier praktisch en economisch niet voor geschikt.



Warmtevoorziening 2040. Bron: Energievisie Glastuinbouw Nederland



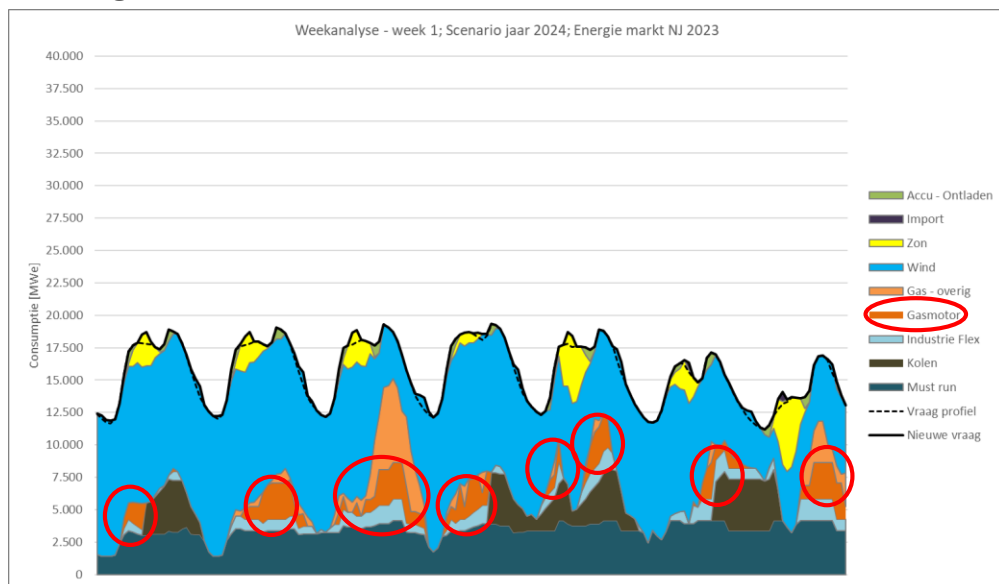
Warmtevraag indeling. Verduurzaming begint bij de basislast en daarna de middenlast. Bron: Energievisie Glastuinbouw Nederland

Voor de toepassing van warmtepompen zijn twee varianten mogelijk: all-electric en hybride. Bij all-electric vult de warmtepomp 100% van de warmtevraag in. Bij hybride vult de gasketel en/of de WKK de piekvoorziening in. Het is mogelijk om te starten met een hybride warmtepomp en voorbereidingen te treffen om later naar all-electric over te schakelen. Dan ben je "all-electric ready".

# 1. Inleiding

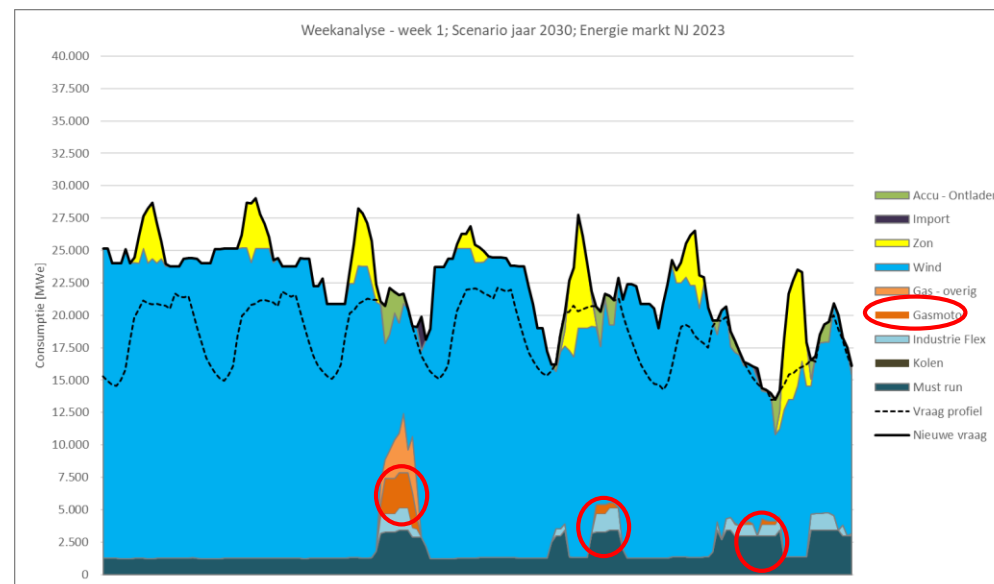
## 1.5 Wanneer draait de warmtepomp/WKK?

Tijdens de transitiefase wordt de inzet van de WKK voornamelijk gestuurd door de elektriciteitsmarkt. Dit kan benaderd worden met het merit order model. Het merit order model is een methode om de volgorde te bepalen waarin energiebronnen worden ingezet op het elektriciteitsnetwerk. Deze volgorde wordt bepaald op basis van de kosten per geproduceerde eenheid energie, oftewel de marginale kosten. De laatste 'centrale' die nodig is om aan de vraag te voldoen bepaalt de prijs. Een deel van de tijd zijn de WKK's prijszettend. De merit order geeft dus aan wanneer de WKK's zullen draaien, en wanneer niet.



Voorbeeldweergave weekprofiel elektriciteitsmix 2025- EMF model BlueTerra. Gasmotor = WKK

Door de grote groei van zon- en windenergie verandert de energiemix en verandert de merit order. De WKK zal minder gaan draaien, naar verwachting 30-40% minder dan in 2020. Onderstaand voorbeeld laat een januari week in 2030 zien met veel windenergie. De WKK draait dan nauwelijks. Dit is zichtbaar in onderstaande grafieken. Hoe verder richting 2040, hoe minder de WKK gaat doen en hoe meer de warmtepomp gaat draaien. Door stijgende belasting wordt warmte bovendien duurder, waardoor de warmtepomp ook eerder in beeld komt.



Voorbeeldweergave weekprofiel elektriciteitsmix 2030 - EMF model BlueTerra. Gasmotor = WKK

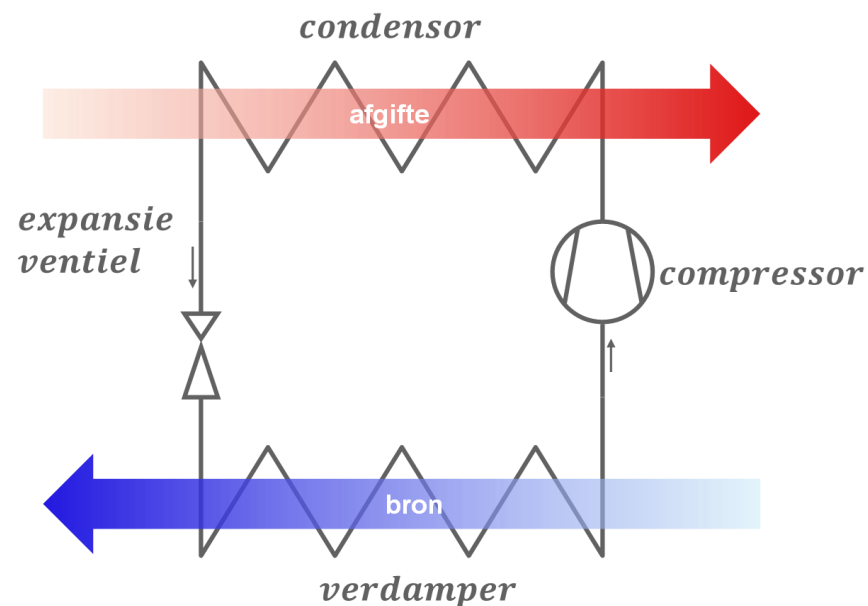
## 2. Werking warmtepomp

### 2.1. Werking warmtepomp - de basis

Er bestaan verschillende soorten warmtepompen. In de basis zijn ze echter hetzelfde; een warmtepomp verplaatst, ofwel “verpompt”, warmte van een bepaald temperatuurniveau naar een hoger temperatuurniveau. In dit rapport beperken we ons tot de meest gebruikelijke en toepasbare warmtepomp voor onze doelgroep en ons doel: de compressiewarmtepomp.

Bij een warmtepomp wordt altijd ergens warmte onttrokken en ergens warmte afgegeven. Het onttrekken en afgeven van warmte gebeurt door het koudemiddel dat warmte ergens aan onttrekt wanneer het vloeibaar is en verdampt en warmte afgeeft wanneer het gasvormig is en condenseert. De plek waar warmte wordt onttrokken wordt daarom ook de verdamper genoemd en de plek waar warmte wordt afgegeven de condensor.

Het koudemiddel verdampt en condenseert bij één bepaalde druk, door de druk in de condensor hoger te maken dan in de verdamper kan er op een ander temperatuur warmte onttrokken worden dan dat het afgegeven wordt. Het drukverschil wordt in stand gehouden door een compressor en een expansieventiel ofwel reduceer. De drukverhoging verzorgt ook de stroming van het koudemiddel. Het woord koudemiddel is maar half correct, het is ontstaan door het eerste grootschalige gebruik van compressie warmtepompen in koelkasten. Het zou net zo goed “warmtemiddel” kunnen heten omdat het ook warmte afgeeft. “werkmedium” is theoretisch een beter woord. Het figuur hiernaast geeft de warmtepomp schematisch weer.



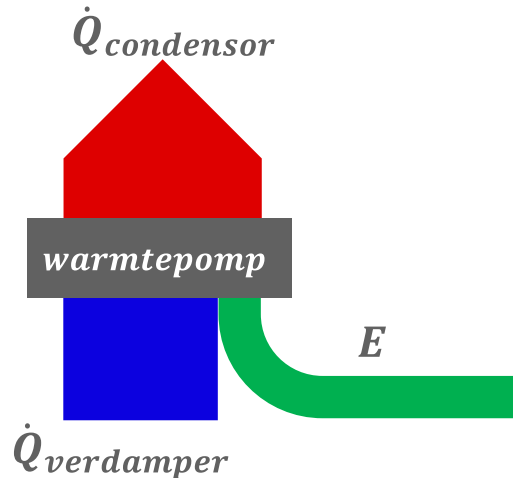
Werking van een Warmtepomp

## 2. Werking warmtepomp

### 2.2. Energiestromen, Energie-efficiëntie en (S)COP

De opbrengst van de warmtepomp is de hoeveelheid warmte die de condensor afgeeft en wordt aangeduid met ( $\dot{Q}_{condensor}$ ). Deze opbrengst bestaat uit twee delen.

1. De warmte die de verdamper onttrekt aan de bron, aangeduid met ( $\dot{Q}_{verdamper}$ )
2. De toegevoerde elektrische energie door de compressor, ook wel de compressiearbeid genoemd, genaamd ( $E$ ).



De drie energiestromen schematisch weergegeven.

De efficiëntie van de warmtepomp is één van de belangrijkste technische en economische aspecten. De efficiëntie wordt uitgedrukt als Coëfficiënt of Performance ofwel COP. Dit getal is direct gerelateerd aan de verhoudingen van energiestromen, het vertelt hoeveel energie er uit de condensor komt in verhouding tot de energie die de compressor verbruikt. Een COP van vier betekent dat er vier keer zo veel warmte uit de condensor komt als dat er aan elektrische energie de compressor in moet. Dit geeft de volgende formule:

$$COP = \frac{\dot{Q}_{condensor}}{E}$$

Naast de COP bestaat er voor Lucht-water warmtepompen ook een Seasonal Coëfficiënt of Performance (SCOP), ook wel de Seasonal Performance Factor (SPF) genoemd. Dit betreft dezelfde berekening echter over een langere tijdsspanne. Voor zowel de elektrische energie als de afgegeven energie wordt het totaal van een heel jaar gepakt. Hiermee wordt een eerlijker beeld gegeven van de efficiëntie in de praktijk. In de winter is de lucht bijvoorbeeld kouder, waardoor het rendement van een lucht/water warmtepomp lager wordt.

## 2. Werking warmtepomp

### 2.3. Temperatuurniveaus

De efficiëntie van de warmtepomp wordt hoofdzakelijk bepaald door de temperatuursprong tussen verdamper en condensor. De analogie met water is hierbij sterk en verhelderend: we nemen twee bakken met water, een volle op de grond en een lege twee meter erboven. We pompen het water uit de volle bak naar de hoger gelegen bak en verbruiken hiervoor elektriciteit met de pomp. Wanneer we dit doen met een hoogteverschil van vier in plaats van twee meter moet de pomp twee keer zo veel energie verbruiken terwijl dezelfde hoeveelheid water verpompt is.

Bij een warmtepomp werkt dit vergelijkbaar, het water is de energie die verplaatst wordt en het verschil in hoogte is het verschil in temperatuur tussen de verdamper en condensor, zie ook figuur rechts. Hoe hoger het temperatuurverschil hoe groter het pompvermogen bij een gelijkblijvende warmte afgifte.

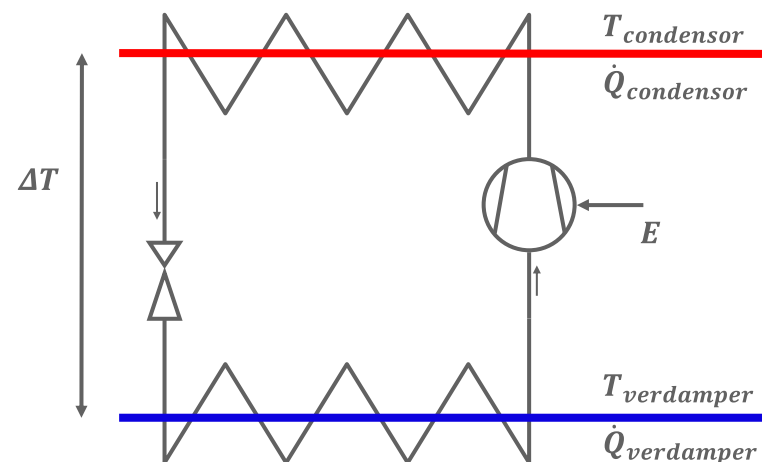
De efficiëntie van de warmtepomp, uitgedrukt in een COP, kan berekend worden op basis van de verdamper en condensor temperatuur. Dit is ontdekt door Sadi Carnot en wordt daarom de Carnotfactor genoemd. Volgens Carnot is de COP in het ideale geval de condensortemperatuur in Kelvin gedeeld door de het temperatuur verschil tussen condensor en verdamper ( $\Delta T$ ). In de praktijk zijn er diverse inwendige verliezen waardoor op deze Carnotfactor nog een rendement “ $\eta$ ” moet worden gezet. Dit leidt tot de volgende formule en voorbeeld berekening:

$$COP = \eta \cdot \frac{T_{condensor}[K]}{\Delta T}$$

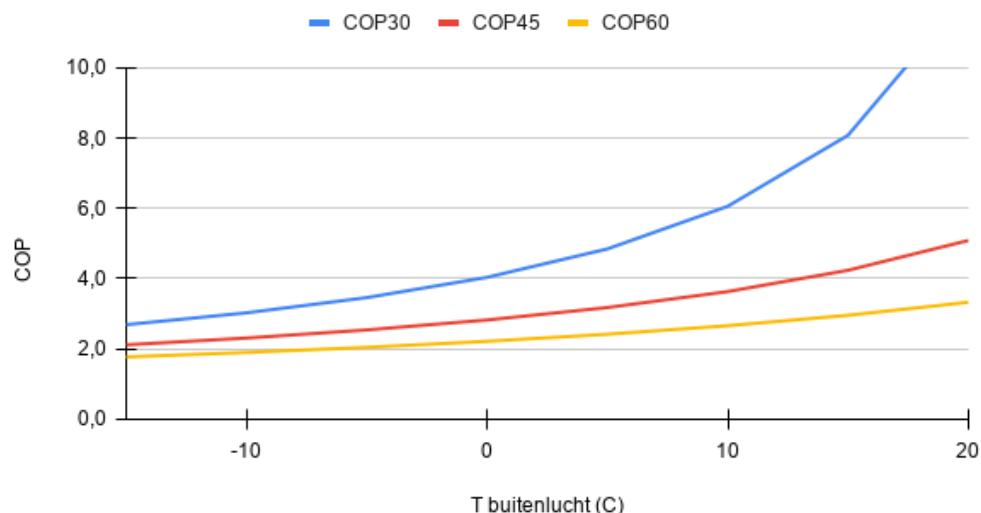
$$COP = 60\% \cdot \frac{60 + 273}{60 - 20} = 5$$

Het rendement “ $\eta$ ” varieert van 50% bij zeer kleine warmtepompen tot 70% voor warmtepompen in de 10 MW range.

**De belangrijkste takeaway is dat bij een 20% grotere temperatuursprong de COP 20% slechter wordt en de WP 20% groter moet zijn.**



## 2. Werking warmtepomp



*Praktijkrendement van een specifieke lucht/water warmtepomp - relatie tussen COP en afgiftetemperatuur en brontemperatuur (buitenlucht). De getallen achter COP refereren naar de watertemperatuur. Bron: Circulectric.nl*

Bovenstaande figuur laat goed zien hoe de COP van een lucht/water warmtepomp op buitenlucht verandert bij verschillende combinaties van buitentemperatuur en afgiftetemperatuur. Het rendement van een warmtepomp op buitenlucht met een condensortemperatuur op 30 °C heeft een bijna twee keer hoger rendement dan een warmtepomp met een condensor op 60 °C. Het is dus belangrijk om te streven naar warmteproductie op een zo laag mogelijke temperatuur.

### 2.4. Warmteafgifte en transportvermogen

Zoals de slide hiervoor toelicht zorgt een lagere aanvoertemperatuur en retourtemperatuur voor zowel een lagere investering door het kleinere compressor vermogen, als lagere operationele kosten door de hogere COP. Het is dus belangrijk deze temperaturen omlaag te brengen.

Lagere aanvoer temperaturen zorgen voor een lagere warmteafgifte. Dit moet opgelost wordt door vergroting van het warmtewisselend oppervlak.

We nemen een Venlo kas als voorbeeld met een tralie breedte van 8 meter en 10 rail buizen van 51mm. We nemen aan dat de kas oorspronkelijke gestookt werd met een buistemperatuur van 45 °C. **Bij verdubbeling van het aantal rail buizen kan de buistemperatuur omlaag van 45 °C naar 34 °C waarbij dezelfde warmteafgifte plaatsvindt.**

Naast verdubbeling van het warmtewisselend oppervlak moeten ook de transportleidingen de verdubbeling van het debiet aankunnen. Hiervoor moet naar verwachting extra transportleidingen, of grotere transportleidingen, geplaatst worden.

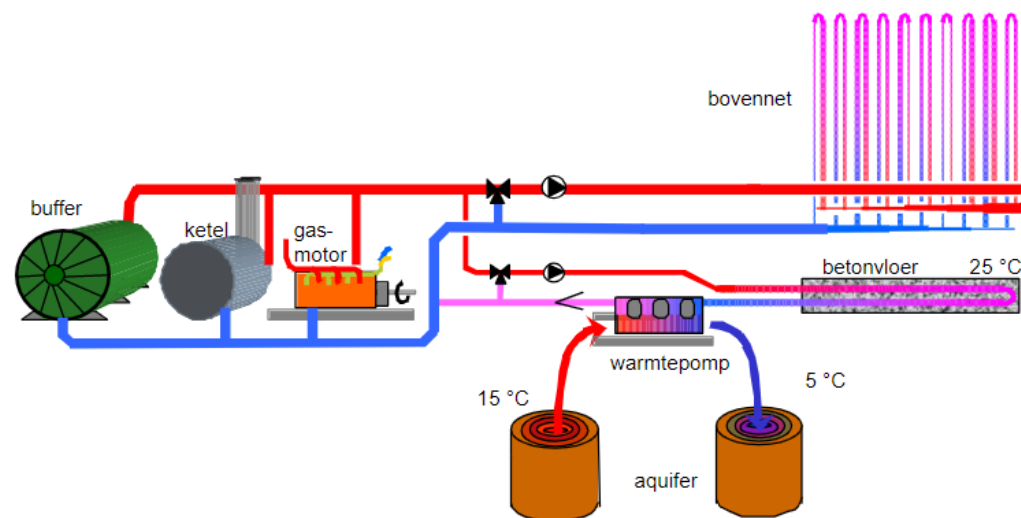
## 2. Werking warmtepomp

### 2.5. Hydraulische inpassing

Een warmtepomp moet hydraulisch (waterzijdig) ingepast worden in het energiesysteem van een glastuinbouwbedrijf. Bij het hydraulisch inpassen van een warmtepomp in het energiesysteem van een kas zijn verschillende aspecten van belang. Allereerst moet de warmtepomp aangesloten worden op de juiste leidingen en pompen. Afhankelijk van de kas zijn dit buisleiding, vloerverwarming, luchtverwarming of een combinatie hiervan. Hierbij moet rekening worden gehouden met de stromingsrichting, drukniveaus, weerstanden, temperatuureisen en het debiet.

Verder is het essentieel om de warmtevraag van de kas nauwkeurig te analyseren en te berekenen, zodat de warmtepomp adequaat gedimensioneerd kan worden. Dit omvat het bepalen van de benodigde capaciteit van de warmtepomp om aan de verwarmingsbehoeften van de kas te voldoen, evenals het beoordelen van de seizoensgebonden variaties in warmtevraag.

Tot slot is het van belang om aandacht te besteden aan de efficiëntie en duurzaamheid van het hydraulische systeem, bijvoorbeeld door het gebruik van energiezuinige pompen, isolatie van leidingen en het optimaliseren van het systeemontwerp voor minimale energieverliezen.



Bron: Kempkes, De Zwart (2002). Perspectieven voor de warmtepomp in combinatie met vloerverwarming bovennet betonvloer warmtepomp aquifer

In de figuur hierboven wordt een hydraulisch schema van de kas met betonvloer verwarmingssysteem dat verwarmd wordt met een warmtepomp weergegeven. In dit schema wordt de warmtepomp aangedreven met een gasmotor. Het motorkoelwater en de warmte uit de rookgaskoeler worden dan gebruikt voor het buisverwarmingssysteem.

## 2. Werking warmtepomp

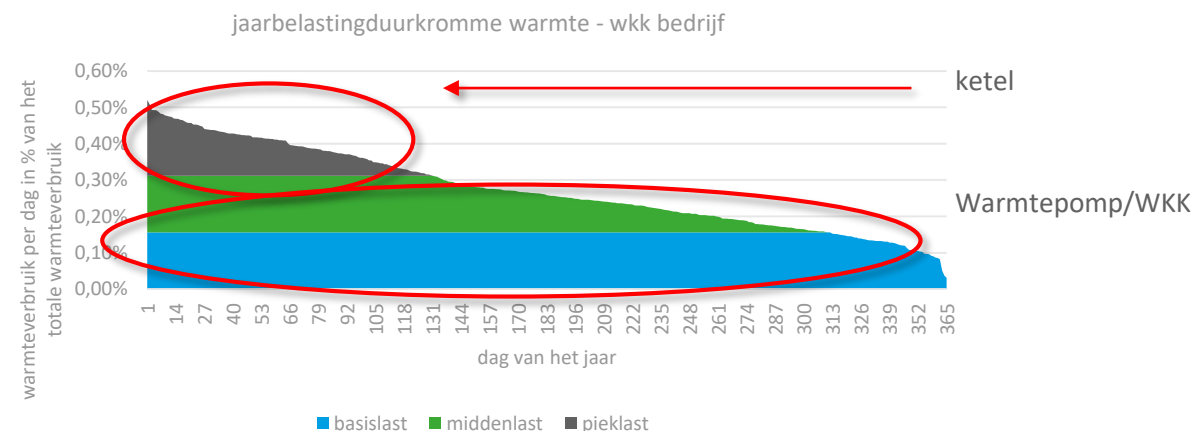
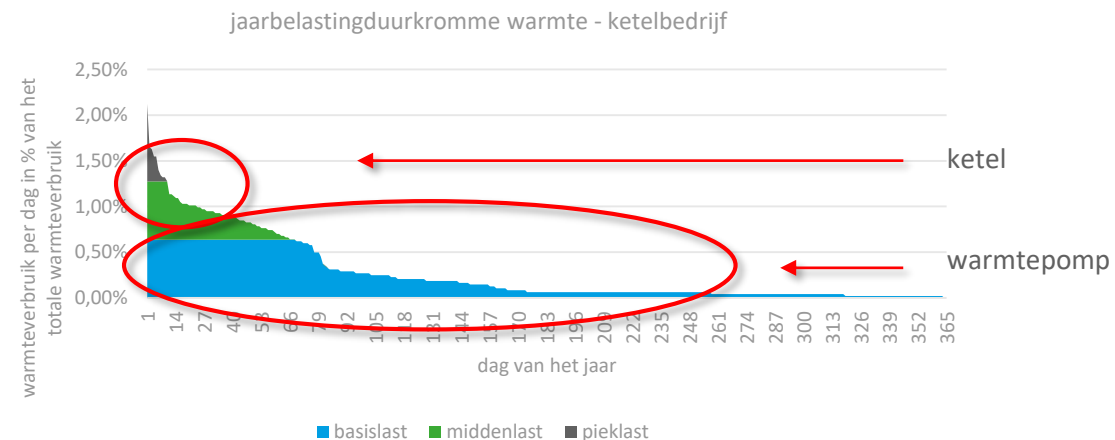
### 2.6. Dimensionering warmtepomp

Er zijn twee opties om je warmtevraag te vervullen: een all-electric warmtepomp die de volledige warmtevraag kan dekken, of een hybride variant die samenwerkt met een bestaande gasketel en/of warmtekrachtkoppeling (wkk). Beide opties hebben hun eigen voor- en nadelen.

Bij het kiezen van de grootte van de warmtepomp is maatwerk vereist. Verschillende factoren spelen een rol, zoals beschikbare bronnen, specifieke behoeften, subsidies en elektrische capaciteit. In de praktijk komen hybride warmtepompen meer voor dan all-electric warmtepompen.

Als richtlijn kan een hybride warmtepomp in eerste instantie worden gedimensioneerd op 40-60% van de piekvraag voor warmte. Hiermee kan doorgaans 70-90% van de warmtevraag worden gedekt. Verderop in de analyse zal voor elk energieconcept een specifieke dimensionering worden bepaald. Hieronder staan overwegingen voor het kiezen van een kleinere of grotere warmtepomp:

Kleinere warmtepomp (hybride)	Grotere warmtepomp (all-electric)
Minder flexibel, meer draaiuren	Meer flexibel, minder draaiuren
Goedkoper	Duurder
Duurder per kW	Goedkoper per kW
Lagere nettarieven	Hogere nettarieven
Past sneller binnen elektra aansluiting	Grotere kans op netverzwaring





## 2. Werking warmtepomp

### 2.7. Samenvatting warmtepompen

- De meest voorkomende warmtepompen zijn van het type compressiewarmtepompen volgens het Carnot proces.
  - $$COP = \eta \cdot \frac{T_{condensor}[K]}{\Delta T}$$
  - De interne temperatuursprong is de belangrijkste factor bij de bepaling van de COP van een warmtepomp. Zorg dus voor bronnen met een zo hoog mogelijke temperatuur en met een voldoende warmte-uitwisselend oppervlak (condensor en verdamper).
  - Het totale thermische vermogen van een warmtepomp varieert met de temperatuursprong; hoe groter de sprong hoe kleiner het vermogen. De warmtepomp wordt gedimensioneerd op de “worst case”. Bij een lucht-water warmtepomp betekent dit dat er meer vermogen in de lente, zomer en herfst beschikbaar is.
  - Onderkoeling en oververhitting verhogen de COP van een warmtepomp.
  - Geef goede specificaties op van de aanvoer en retour temperatuur van het afgiftesysteem bij verschillende seizoenen om teleurstellingen betreffende de COP te voorkomen.
- Dimensionering is maatwerk, maar enkele vuistregels kunnen worden gebruikt voor een eerste berekening:
    - dimensioneer bij ketelbedrijven de warmtepomp op 40-60% van de piekvraag;
    - dimensioneer bij WKK bedrijven op het thermische vermogen van de WKK.

# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## 3.1. Systeemaanpak verduurzaming

Wil je met warmtepompen aan de slag? Denk dan aan de trias Energetica:

1. Eerst besparen door middel van diverse energiebesparingen (extra scherm, isolatie, LED, ontvochtiging, het Nieuwe Telen et cetera). Onderzoek hierbij ook of de aanvoertemperatuur van het CV-systeem omlaag kan. Hoe lager, hoe efficiënter een warmtepompconcept kan werken.
2. Zoeken naar duurzame invulling warmtevraag.
  - a) Zoeken naar een zo hoogwaardig mogelijke warmtebron met een zo hoog mogelijke temperatuur. Opties:
    - *WKO met zonthermie als regeneratie*
    - *WKO met kaswarmtewinning als regeneratie*
    - *WKO met aquathermie als regeneratie*
    - *Geïntegreerde ontvochtiging met warmteopslag*
    - *Standalone ontvochtiging zonder warmteopslag*
    - *Lagetemperatuur restwarmte (25-35 °C)*
    - *Buitenlucht warmtepomp*
    - *Extra uitkoelen rookgassen WKK*
    - *Extra uitkoelen geothermie*
  - b) Overweeg een warmtepompconcept met één of meerdere van deze bronnen.

Er zijn dus veel warmtepompconcepten en variaties mogelijk. Denk bijvoorbeeld aan de combinatie van meerdere bronnen, de uitvoering hybride of all-electric en concepten met WKO en zonder WKO.

In deze doorrekening nemen we drie energieconcepten mee.

- Buitenlucht warmtepomp
- WKO met aquathermie als regeneratie
- Kaswarmte (geïntegreerde ontvochtiging met warmteopslag). Dit wordt in Paragraaf 3.3 verder toegelicht.



Trias Energetica

# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## 3.2. Toelichting drie bedrijfstypen

In H1.4 zijn drie type bedrijven gegeven. Deze bedrijfstyperingen, hierna casus genoemd, hebben hun eigen kenmerken met betrekking tot de verduurzamingsopgave. We willen uiteindelijk weten of, en op welke manier, een energieconcept rendabel is.

### **Casus 1: 2 ha extensief ketelbedrijf - potplant**

Dit betreft een teelt die weinig arbeid behoeft en geteeld kan worden met lage temperaturen. De omzet van dergelijke bedrijven is relatief laag waardoor hoge investeringen niet terug verdiend worden. Voor deze case proberen we de investering laag te houden. Dit bedrijf beschikt over een 3x 125A t/m 125 kVA elektra aansluiting en heeft een transportcapaciteit van 50 kW gecontracteerd.

### **Casus 2: 5 ha intensief onbelicht met WKK - paprika/komkommer**

Dit betreft een teelt die relatief veel arbeid behoeft en relatief hoge temperaturen nodig heeft. Hierdoor is de omzet hoog waardoor hoge investeringen gemakkelijker terug verdiend kunnen worden. Voor deze case proberen we economisch verantwoord maximaal te verduurzamen. Vanwege de niet essentiële functie van de WKK krijgt de WP in principe voorrang op het leveren van warmte. Dit bedrijf beschikt over een 1.750 kVA t/m 5.000 kVA elektra aansluiting en heeft een transportcapaciteit van 300 kW gecontracteerd voor afname.

### **Casus 3: 5 ha intensief belicht met WKK – tomaat**

Deze case is gelijk aan Case 2, We proberen hier ook economisch verantwoord maximaal te verduurzamen. Vanwege de wel essentiële functie van de WKK voor belichting wordt de WKK voor dit doel wel benut. In alle energieconcepten vult de WKK de elektriciteitsvraag van de belichting in. Dit bedrijf beschikt over een 1.750 kVA t/m 5.000 kVA elektra aansluiting en heeft een transportcapaciteit van 1400 kW gecontracteerd voor afname. 1400 kW betreft de helft van het vermogen van de belichting.

# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## 3.3. Toelichting energieconcepten (EC)

### EC1 Lucht-water warmtepomp

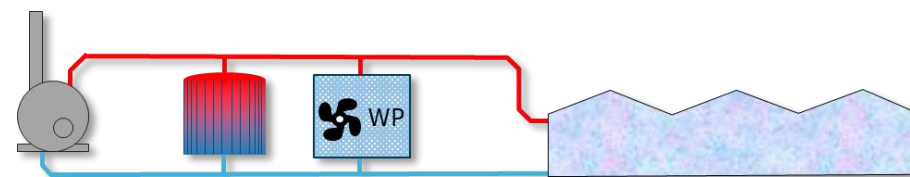
We voorzien het bedrijf van een lucht-water warmtepomp die additioneel is aan het bestaande energieconcept. Hiermee creëren we een laagdrempelige hybride oplossing waardoor er economisch geoptimaliseerd kan worden, de WP gebruikt kan worden wanneer hij het efficiëntst is en we een beperkte installatie nodig hebben met dito investering en netaansluiting.

### EC2 WKO warmtepomp

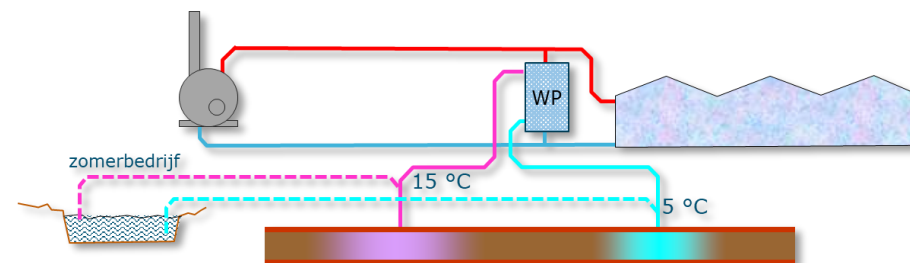
We voorzien het bedrijf van een WKO bron die geregenereerd wordt met aquathermie. Regeneratie met zonthermie en kaswarmte is in bijlage 2 te vinden. Om dit concept economisch logisch te maken moet maximaal gebruik gemaakt worden van de WKO bron wat betekent dat de bestaande installatie een zo minimaal mogelijke rol moet spelen. Dit heeft als voordeel dat er maximaal verduurzaamd wordt en er in principe geen gasaansluiting meer nodig is. Een olie gestookte back-up ketel kan dan voor enkele dagen per jaar gebruikt worden in geval van storing, onderhoud of sneeuw.

### EC3 Geïntegreerde ontvochtiging met warmteopslag

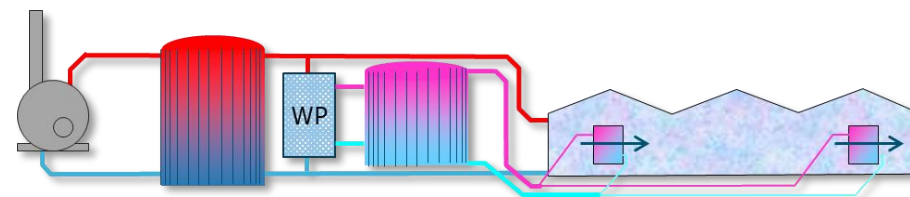
We voorzien het bedrijf van een geïntegreerd ontvochtiging met warmteoogst systeem. Dit systeem ontvochtigt de kas met een warmtepomp en oogst de warmte. Het bestaat uit luchtbehandelingskasten, warmtepomp(en) en buffers. Het is een kapitaal intensief systeem en moet dus maximaal benut worden voor optimale economische resultaten. Dit systeem is met name geschikt voor intensieve teelten die veel verdampen omdat daar veel warmte te oogsten valt. Dit zijn in de regel ook de groente teelten en voornamelijk de belichte teelten.



Energieconcept EC1 Casus 1: Buitenlucht warmtepomp



Energieconcept EC2 Casus 1: WKO met warmtepomp



Energieconcept EC3 Casus 1: Geïntegreerde ontvochtiging

## 3. Energieconcepten en inzetstrategie

### 3.4. Opzet berekening en versimpelingen

Zoals bij elk rekenmodel worden diverse onderdelen versimpeld om de berekeningen hanteerbaar te houden en de resultaten leesbaar. Hieronder lopen we de berekening door en geven we aan welke versimpelingen zijn gemaakt. Het resultaat van de berekening is een warmtekostprijs. Elke casus is doorgerekend voor de referentie situatie, drie energieconcepten voor drie zichtjaren. Er zijn dus  $3 \times 4 \times 3 = 36$  warmtekostprijzen die als resultaat dienen.

#### Energie belasting, nettarieven, netaansluiting en CO<sub>2</sub>-prijs

Het verbruik van gas en elektriciteit doorloopt de staffels. De kosten per staffel variëren per zichtjaar. Het gasverbruik omvat enkel het gasverbruik in de WKK en/of de ketel. Het elektriciteitsverbruik omvat enkel het verbruik van het WP en regeneratiesysteem. De WP en WKK staan nooit tegelijk aan waardoor de WP geen elektriciteit van de WKK gebruikt. Voor de gasaansluiting worden nettarieven gerekend. Voor de elektrische aansluiting\* worden alleen de meerkosten gerekend. Het gasverbruik resulteert in een CO<sub>2</sub>-uitstoot waar een prijs voor meegenomen wordt.

#### Commodity prijzen

Het verbruik van elektriciteit wordt verrekend tegen de commodity prijzen. Het verbruik van aardgas wordt voor de ketel verrekend tegen de commodity prijzen. Voor de WKK wordt geen commodity prijs gerekend. We stellen dat de WKK-brandstofkosten gelijk zijn aan de inkomsten door verkoop van elektriciteit. Hiermee wordt de WKK een gratis warmtebron, afgezien van de afschrijving,

onderhoudskosten en vanaf 2025 de fiscale maatregelen. Dit betreft ongeveer 11 €/MWh aan onderhoudskosten inclusief revisie (bron: KWIN 2023). De afschrijving van een WKK, uitgaande van een levensduur van 60.000 draaiuren, is ook ongeveer 11 €/MWh (bron: KWIN 2023). De som van onderhoudskosten en afschrijving bedraagt dan circa 22 €/MWh, of 20 €/ct/m<sup>3</sup> warmte.

#### Warmtepomp berekening

De WP wordt gedimensioneerd volgens de vuistregels en vervolgens aangepast aan de hand van de hiervoor beschreven case en energieconcept toelichting. De COP wordt bepaald op basis van de aanvoertemperatuur en de bron temperatuur. In het geval van buitenlucht als bron is 2023 als klimaatjaar gekozen. We berekenen de inzet van de warmtepomp en dit resulteert in een invulling van de JBDK. Bij de opzet van het energieconcept wordt de manier waarop de WP ingezet wordt beschreven en de JBDK getoond. Voor de nettarieven voor elektriciteit gaan we niet uit van het aansluitvermogen van de WP omdat deze gemakkelijk 2 á 3 x hoger is dan het nominale vermogen. We gaan uit van het berekende maximale vermogen + 20%.

#### Investerings, onderhoudskosten en subsidies

Alle grote investeringen die gedaan moeten worden (WP, buffer, leidingnet, klimaatcomputer, bronboring, et cetera), worden als totaal getoond waarmee vervolgens een simpele terugverdientijd berekend wordt. Hiernaast worden vaste onderhoudskosten en variabele onderhoudskosten meegenomen zoals weergegeven bij de economische parameters van de technieken. Subsidies worden meegenomen conform paragraaf 3.6.

## 3. Energieconcepten en inzetstrategie

### 3.5. Niet meegenomen kosten en discussiepunten

#### CO<sub>2</sub>-inkoop kosten

CO<sub>2</sub>-inkoopkosten zijn niet meegenomen in de scope vanwege de te grote variatie aan kosten per gebruikscasus en de te grote variatie in de baten.

#### Vermogenscorrectie warmtepomp bij koud weer

Voor EC1: Lucht-water warmtepomp is het zo dat de warmtepomp in thermisch vermogen afneemt bij koudere temperaturen. Dit aspect is niet meegenomen vanwege de complexiteit. Het effect is zeer beperkt omdat op de koudste dagen van het jaar de ketel of WKK de warmte levert.

#### Berekening geïntegreerde ontvochtiging met warmteterugwinning

De berekening van het geïntegreerde ontvochtiging met warmteterugwinning-systeem dat gebruikt wordt in EC3 is uitgevoerd door van Dijk Heating die het betreffende systeem levert. De dimensionering en de energetische resultaten hangen sterk samen met klimaataspecten in de kas zoals ventilatievoud, vochtverdamping en luchtvochtigheid. Het energie technische en economische model dat gebouwd is voor dit rapport is niet in staat deze berekeningen te doen.

#### Kosten netaansluiting blijven gelijk aan nu

De kosten voor de netaansluiting zullen stijgen in de aankomende jaren, hoeveel is echter niet zeker. We zijn uitgegaan van de aansluit- en transporttarieven van Stedin anno 2024 en hebben geen stijging meegenomen.

#### Inkomsten, draaiuren en afschrijvingskosten WKK blijven gelijk

De inkomsten van de verkoop van elektriciteit van de WKK is sterk afhankelijk van de markt en de ontwikkelingen in de markt. Zo zijn er diverse markten waarop de WKK ingezet kan worden die wel of niet aansluit op de wensen van de teler. De versimpeling dat de WKK een gratis warmtemachine is (op onderhoudskosten, afschrijving en vanaf 2025 energiebelasting en CO<sub>2</sub>-heffing na) is niet voor elke situatie een goede versimpeling. Wanneer de WKK minder dan 1/3<sup>de</sup> van het jaar draait en deze uren hoofdzakelijk in de winter vallen is deze versimpeling, gezien het doel van het rapport, gerechtvaardigd. Uiteraard worden de energiebelasting en CO<sub>2</sub>-heffing vanaf 2025 wel meegenomen in de kostprijs van de warmte uit de WKK. In de berekeningen worden alle onderhoudskosten, afschrijving, belastingen en heffingen toegerekend aan de warmte van de WKK.

# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## 3.6. Economische parameters

In de tabel rechts zijn drie zichtjaren getoond met daarin de economische parameters. De kentallen voor investeringen en onderhoud staan in bijlage 4.

### Uitkomst en eenheden

Het resultaat van de doorrekening van de energieconcepten is een warmtekostprijs in €/m<sup>3</sup> warmte zonder de kosten voor de investering. Eén m<sup>3</sup> warmte kan ingevuld worden door een gasketel, waarbij je simpelweg één m<sup>3</sup> ae nodig hebt om één m<sup>3</sup> warmte te creëren. Wanneer je één m<sup>3</sup> warmte in wilt vullen met een WKK heb je grofweg twee m<sup>3</sup> ae nodig omdat maar een deel van de ingaande energie als warmte uit de WKK komt. Als resultaten rekenen we een kostprijs uit om de warmtevraag in te vullen, en deze is daarom uitgedrukt in €/m<sup>3</sup> warmte. Ook als de warmtevraag volledig door een WP wordt ingevuld presenteren we de resultaten in €/m<sup>3</sup> warmte waarbij de m<sup>3</sup> warmte als energiehoeveelheid gezien moet worden.

In de resultaten grafieken wordt ter vergelijking een globale aardwarmteprijs getoond die gebaseerd is op 70% van de aardgas commodity prijs in 2030.

De warmtekostprijs kan omgerekend worden naar andere eenheden met behulp van onderstaande omrekenfactoren.

- 1 m<sup>3</sup> ae = 8,79 kWh of 0,03165 GJ (op onderwaarde)
- 1 kWh = 0,1137 m<sup>3</sup> aardgas equivalent
- 1 MWh = 113,7 m<sup>3</sup> aardgas equivalent
- 1 GJ = 31,6 m<sup>3</sup> aardgas equivalent

Product	Eenheid	2025	2030	2035
Aardgas commodity prijs**	€/MWh	33,00	30,00	35,00
Aardgas commodity prijs omgerekend**	[ct/m <sup>3</sup> ]	29,0	26,4	30,8
Elektriciteit base	€/MWhe	86,00	69,00	83,00
Elektriciteit piek	€/MWhe	96,00	80,00	95,00
CO2 heffing	€/ton	12,25	17,70	25,00
CO2 heffing	[ct/m <sup>3</sup> ] gas	2,2	3,2	4,5
EB gas staffel 1 (tot 1.000 m <sup>3</sup> )	[ct/m <sup>3</sup> ] gas	13,8	37,7	62,8
EB gas staffel 2 (tot 170.000 m <sup>3</sup> )	[ct/m <sup>3</sup> ] gas	13,8	37,7	62,8
EB gas staffel 3 (tot 1 mln m <sup>3</sup> )	[ct/m <sup>3</sup> ] gas	13,6	25,4	36,2
EB gas staffel 4 (tot 10 mln m <sup>3</sup> )	[ct/m <sup>3</sup> ] gas	20,6	24,0	24,0
EB gas staffel 5 (vanaf 10 mln m <sup>3</sup> )	[ct/m <sup>3</sup> ] gas	5,4	5,4	5,4
EB stroom staffel 0 t/m 2.900 kWh	ct/kWh	10,0	7,1	7,1
EB stroom staffel 2.901 t/m 10.000 kWh	ct/kWh	10,0	7,1	7,1
EB stroom staffel 10.001 t/m 50.000 kWh	ct/kWh	6,7	6,6	6,6
EB stroom staffel 50.001 t/m 10 miljoen kWh	ct/kWh	3,8	3,6	3,6
EB stroom staffel meer dan 10 miljoen kWh zakelijk	ct/kWh	3,3	3,0	3,0
Gasverbruik belast bij 100% netlevering	%	0	30%	30%
Gasverbruik belast bij belichting (0% netlevering)	%	38%	72%	72%
geschatte onderhoudskosten WKK	[ct/m <sup>3</sup> ] warmte	10	10	10
geschatte afschrijvingskosten WKK	[ct/m <sup>3</sup> ] warmte	10	10	10
rente op lening	%	0%	0%	0%
termijn lening	jaar	15,0	15,0	15,0

\* Alle tarieven zijn van januari 2024, en betreffen nominale cijfers met prijspeil 2023/2024. Dat betekent dat deze cijfers onderhevig zijn aan inflatie.

\*\* Voor kleinere aardgasverbruikers (tot circa 170.000 m<sup>3</sup>) geldt een gasprijs die 5% hoger is dan de groothandelsprijs.

De belastingtarieven zijn gebaseerd op de [belastingplanstukken 2024](#)

# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## Variabele elektriciteitsprijzen

We nemen aan dat de warmtepomp alleen gaat draaien tijdens uren met de laagste stroomprijzen. Om een representatieve elektriciteitsprijs te kunnen bepalen is een analyse uitgevoerd om per dag de goedkoopste uren te bepalen waarop de warmtepomp gaat draaien. De aanpak is als volgt

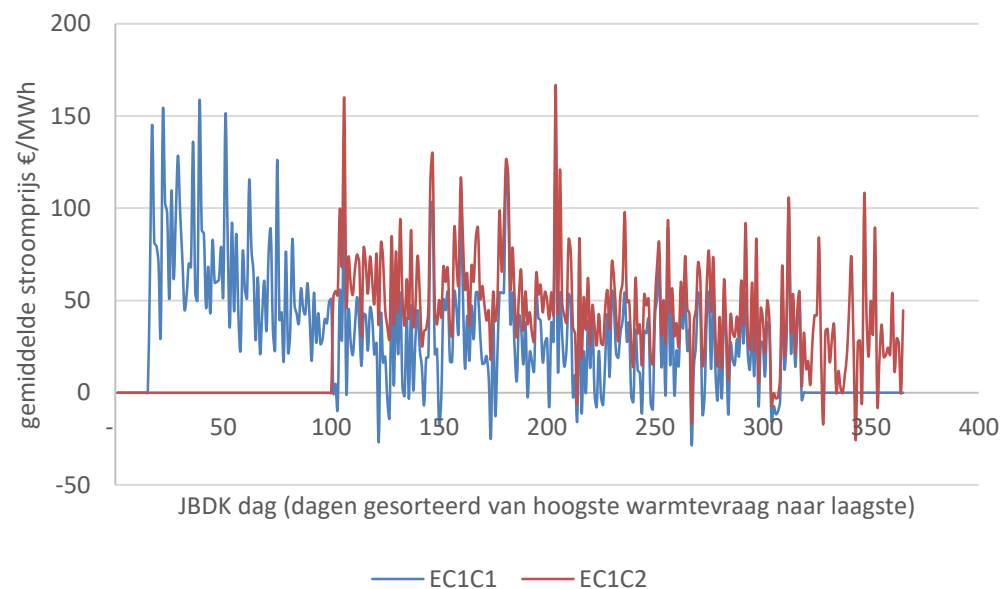
1. Bepaal stroomprijzen per uur voor het jaar 2030 op basis van BlueTerra EMF model.
2. Bepaal voor elke dag hoeveel uur de warmtepomp moet draaien. Dit varieert per energieconcept-casus combinatie.
3. Kies per dag de goedkoopste uren voor het aantal uren dat de warmtepomp moet draaien.
4. Neem de gemiddelde prijs van alle uren waarop de warmtepomp draait.

Dit resulteert in een significant lager uurtarief dan een baseload tarief zoals in onderstaande tabel te zien is. In de kostprijsdoorrekening worden naast de commodity prijzen ook energiebelasting en nettarieven meegenomen.

## Benodigde buffer capaciteit

Om gebruik te maken van variabele elektriciteitsprijzen moet warmte gebufferd worden voor later gebruik. We voorzien in buffercapaciteit dat grofweg equivalent is aan acht uur warmtelevering met de WP op vollast bij een delta T van 15 °K.

Gewogen gemiddelde stroomprijs	Eenheid	EC1	EC2	EC3
Case 1: ketelbedrijf	€/MWh	59,2	55,8	50,6
Case 2: wkk onbelicht	€/MWh	50,9	52,9	61,5
Case 3: wkk belicht	€/MWh	46,1	43,6	43,7



Gewogen gemiddelde elektriciteitsprijs op dagbasis [€/MWh] t.b.v. de warmtepomp voor cases EC1C1 en EC1C2. In de wintermaanden moet de warmtepomp meer uren per dag draaien, waardoor de gemiddelde gewogen elektriciteitsprijs hoger is dan in de zomer. De brondata is een prijscurve van 2030 o.b.v. het BlueTerra EMF model. NB: Bij EC1C2 staat de WP tijdens de koudste 100 dagen uit, in de grafiek staat daar de elektriciteitsprijs op €0.



# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## Subsidies

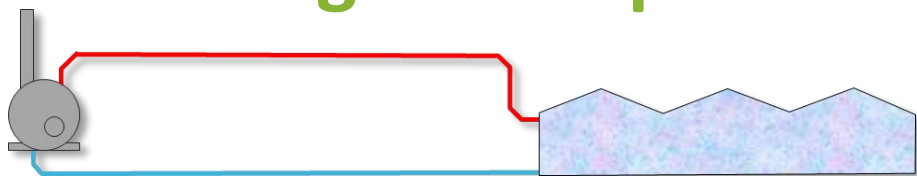
Subsidiereregels zijn meegenomen waar bekend. Voor de buitenlucht warmtepomp is SDE++ subsidie beschikbaar (vanaf 500 kW vermogen) en meegenomen. Voor EC2 wordt afhankelijk van de regeneratie een subsidieregeling meegenomen. Voor geïntegreerde ontvochtiging is nog geen SDE++ subsidie beschikbaar. Wel kan geïntegreerde ontvochtiging gebruikmaken van EIA belastingvoordeel op de warmtepomp en EG subsidie op de luchtbehandelingskasten. NB: subsidieregels veranderen vaak. Het is mogelijk dat de tarieven in de tabel ten tijden van publicatie alweer gewijzigd zijn.

- Voor EC1 is voor elke casus de SDE++ subsidie meegenomen.
- Voor EC2 is de subsidie afhankelijk van de regeneratie.
  - Voor EC2 i.c.m. aquathermie is bij elke casus de bijbehorende SDE++ regeling meegenomen.
  - Voor EC2 i.c.m. zonthermie is bij elke casus de bijbehorende SDE++ regeling meegenomen.
  - Voor EC2 i.c.m. kaswarmte is bij elke casus de EG subsidie meegenomen voor de luchtbehandelingskast.
- Voor EC3 is voor elke casus zowel de EIA als de EG subsidie meegenomen.

Zie voor meer informatie Sheet 48.

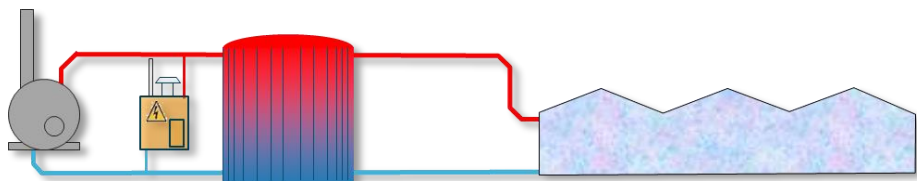
Subsidie SDE++ WKO warmtepomp			
basisbedrag SDE++	€/MWhth		69,4
correctiebedragformule	€/MWhth		70%xTTF(LHV)
correctiebedrag gemiddeld schatting	€/MWhth	€	23,35
netto subsidie	€/MWhth		46
max vollast uren	uur		3.500
minimum vermogen	kWth		500
Subsidie SDE++ aquathermie   zonthermie			
basisbedrag SDE++	€/MWhth		92,8   97,6
correctiebedragformule	€/MWhth		(TTF[LHV] + EB3 + ODE 3) / 90%
correctiebedrag gemiddeld schatting	€/MWhth		58
netto subsidie	€/MWhth		35   39
max vollast uren	uur		3.500   600
minimum vermogen	kWth		500
Subsidie EIA + EG			
warmtepomp investering korting EIA	%		10%
LBK investering korting EG	%		20%
maximale kosten LBK investering EG	€/m <sup>2</sup>		30
maximaal subsidiebedrag EG	€		375.000

# 3. Energieconcepten en inzetstrategie



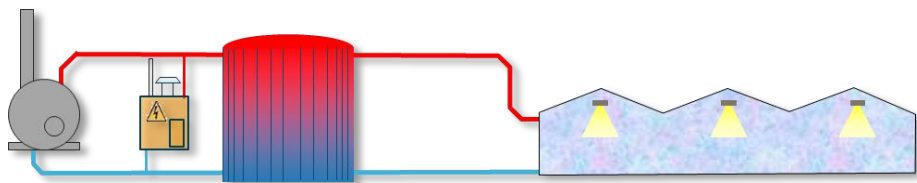
Belangrijkste kenmerken		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag ketel	%	100%	100%	100%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	140.000	140.000	140.000
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	45/45	45/45	45/45

Casus 1



Belangrijkste kenmerken		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag ketel	%	20%	20%	20%
Invulling warmtevraag WKK	%	80%	80%	80%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	2.950.000	2.950.000	2.950.000
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	45/45	45/45	45/45

Casus 2



Belangrijkste kenmerken		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag ketel	%	20%	20%	20%
Invulling warmtevraag WKK	%	80%	80%	80%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	3.500.000	3.500.000	3.500.000
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	45/45	45/45	45/45

Casus 3

## 3.7. Opzet energieconcept 0 (EC0): de referentie

Als vergelijkingsmateriaal met de warmtepomp wordt eerst de referentiesituatie uitgewerkt. In de referentiesituatie wordt aardgas verstoekt in een WKK of gasketel. Hieronder worden de energieconcepten van drie type bedrijven weergegeven.

### Opzet EC0 – Casus 1: 2 ha ketelbedrijf – potplant

De warmteproductie van de gasketel voedt de kas rechtstreekt. De gehele jaarlijkse warmtevraag wordt ingevuld door de gasketel.

### Opzet EC0 – Casus 2: 5 ha WKK onbelicht – paprika / komkommer

Hoofdzakelijk voedt de WKK de kas met tussenkomst van een buffer zodat elektriciteitsproductie losgekoppeld is van de warmteproductie. De ketel dient als back-up en als piekvoorziening. De jaarlijkse warmtevraag wordt ingevuld door de WKK en beperkt door de gasketel.

### Opzet EC0 – Casus 3: 5 ha WKK belicht – tomaat

Idem als casus 2: De WKK voedt de kas met tussenkomst van een buffer zodat elektriciteitsproductie losgekoppeld is van de warmteproductie. De ketel dient als back-up en als piekvoorziening. De jaarlijkse warmtevraag wordt ingevuld door de WKK met beperkte ondersteuning door de gasketel.

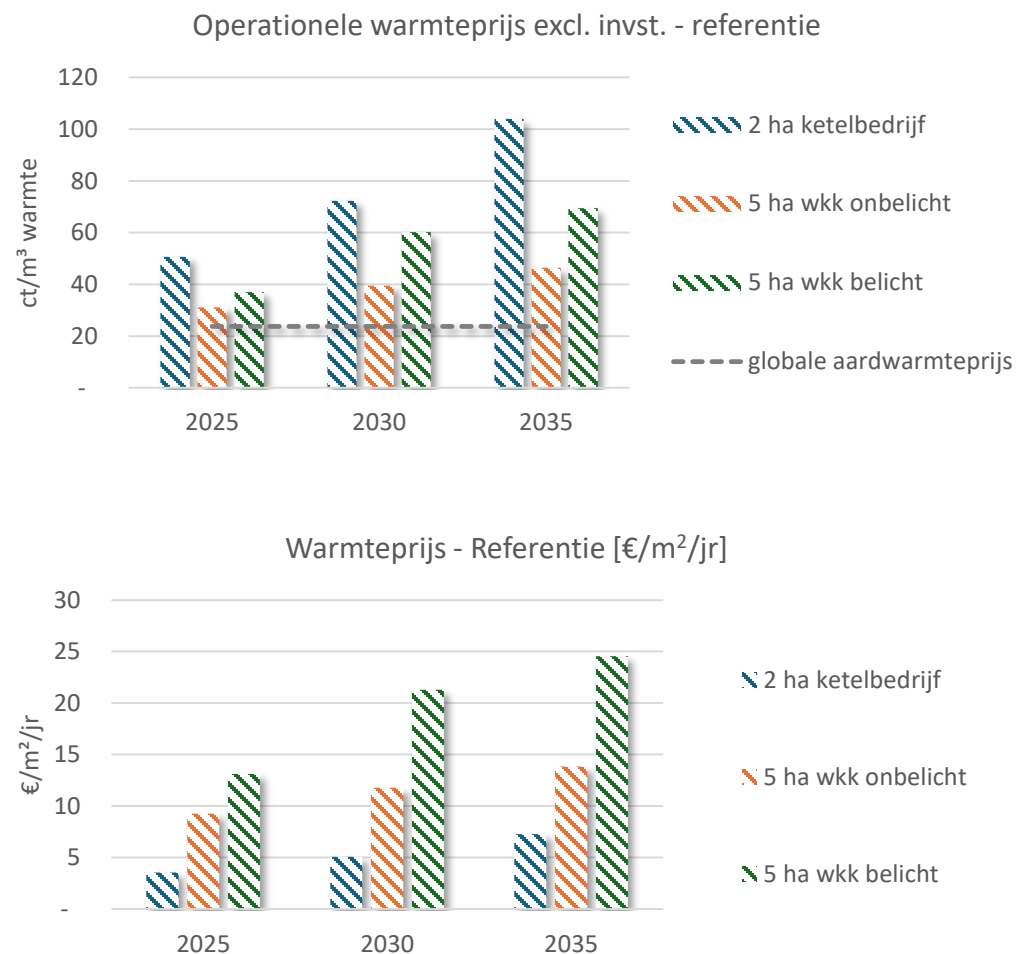
# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## 3.8. Resultaten ECO referentie

De referentie situatie resulteert in de volgende warmtepreizen.

We zien dat de komende jaren de grootste stijging plaatsvindt bij het 2 hectare ketelbedrijf, waar de warmtekostprijs verdubbelt richting 2035. Deze verdubbeling komt hoofdzakelijk door de verhoogde energiebelasting. Het 5 ha WKK onbelicht bedrijf ziet de laagste stijging van grofweg 50%, dit zit hoofdzakelijk in de mate waarin gasverbruik voor netlevering wordt belast. Vanaf 2030 wordt dit gasverbruik voor circa 30% belast in plaats van 0% in 2025. Het 5 ha WKK belicht bedrijf ziet een stijging van 90% in de warmteprijs die hoofzakelijk bepaald wordt door de mate waarin gasverbruik voor belichting (eigen verbruik) wordt belast. Dit betreft 38% in 2025 en stijgt naar 72% vanaf 2030. De warmteprijs in euro per m<sup>2</sup> kent andere absolute waarden omdat het oppervlak van de bedrijven verschilt, de stijging door de zichtjaren heen blijft echter gelijk.

NB: voor de wkk bedrijven worden zowel onderhoudskosten als afschrijvingskosten van de WKK meegenomen. Zie Sheet 23.



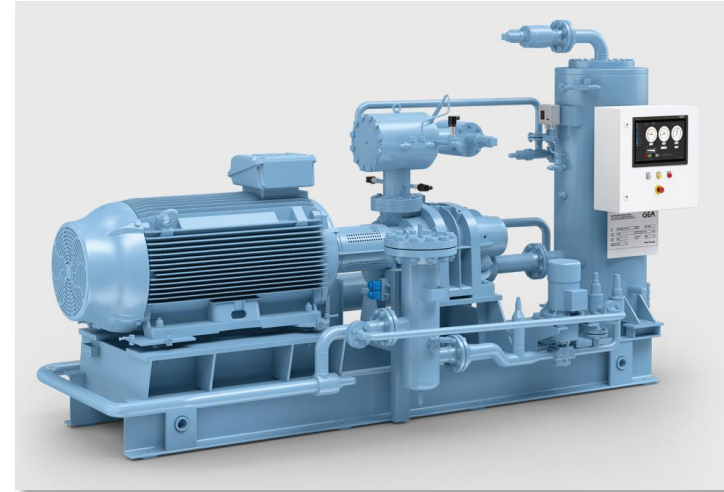
# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## 3.9. Opzet EC1: Lucht-water warmtepomp

De buitenluchtwarmtepomp bestaat uit een buitenlucht unit met daarop de verdamper. Het kan zijn dat de compressor op dezelfde skid is gebouwd, maar het kan ook zijn dat de warmtepompcompressor binnen staat. In dit energieconcept wordt een lucht-water warmtepomp additioneel aan de bestaande situatie geïnstalleerd. De warmtepomp haalt warmte uit de buitenlucht en brengt dit naar een hoger temperaturniveau. Bij alle energieconcepten wordt geïnvesteerd in de lucht/water warmtepomp, buffer en randapparatuur. De warmtepomp gaat onder een bepaalde buitentemperatuur uit om de benodigde netcapaciteit laag te houden en de COP hoog.



Buitenunit lucht/water warmtepomp 267 kW. Bron: Carrier



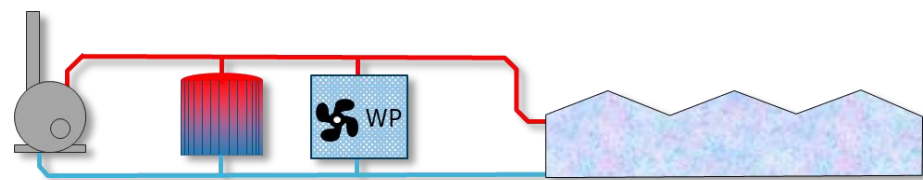
Ammoniak warmtepomp – GEA GRASSO SP1 HP

### 3. Energieconcepten en inzetstrategie

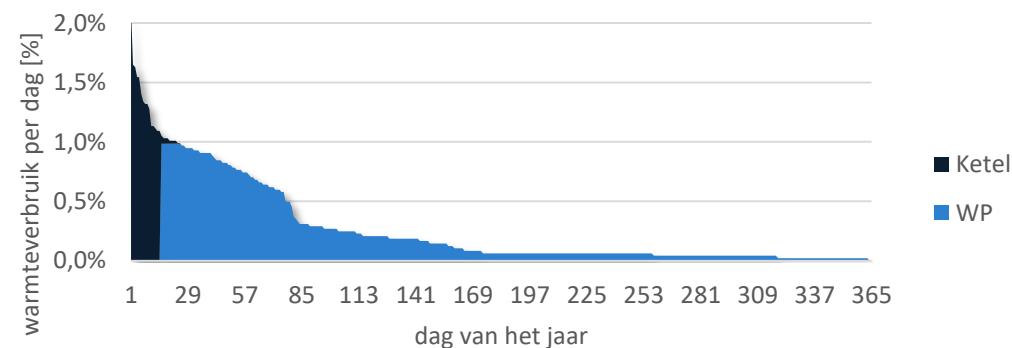
#### Opzet EC1 – Casus 1: lucht/water warmtepomp bij een 2 ha ketelbedrijf – potplant

De warmtepomp voedt de kas met tussenkomst van een buffer van 200 m<sup>3</sup> zodat de WP kan draaien op uren met lage elektriciteitsprijzen. De warmtepomp gaat uit op dagen waarop de gemiddelde buitentemperatuur onder de 0 °C komt. Dit komt gemiddeld 15 dagen per jaar voor. De investering(en) voor deze casus bestaat naast de warmtepomp uit een buffervat. Hiernaast wordt de netaansluiting uitgebreid naar een 175 kVA t/m 630 kVA aansluiting op basis van het nominale vermogen van de warmtepomp. Er wordt betaald voor 153 kW extra contractcapaciteit. Uitgangspunt is een enigszins zuinige kas die onder normale omstandigheden verwarmd kan worden met een buistemperatuur van 45 °C.

Belangrijkste kenmerken		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	79%	79%	79%
Invulling warmtevraag ketel	%	21%	21%	21%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	29.000	29.000	29.000
SCOP WP	/	3,7	3,7	3,7
Elektrisch vermogen WP	kW	135	135	135
Elektrisch verbruik WP	KWh	260.000	260.000	260.000
vollasturen WP	h	1.923	1.923	1.923
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	45/45	45/45	45/45
Totale investering	€	531.000	531.000	531.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	37.000	39.000	48.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	71.000	101.000	146.000
Besparingen per jaar	€/jaar	34.000	63.000	98.000
Terugverdientijd	sTVT	16	8	5
Terugverdientijd zonder SDE++	sTVT	n/a	30	10



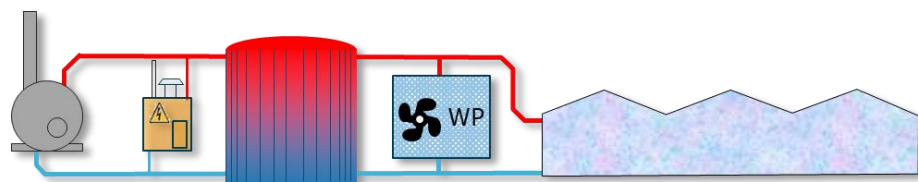
JBDK 2 ha ketelbedrijf - EC1 Lucht-water WP



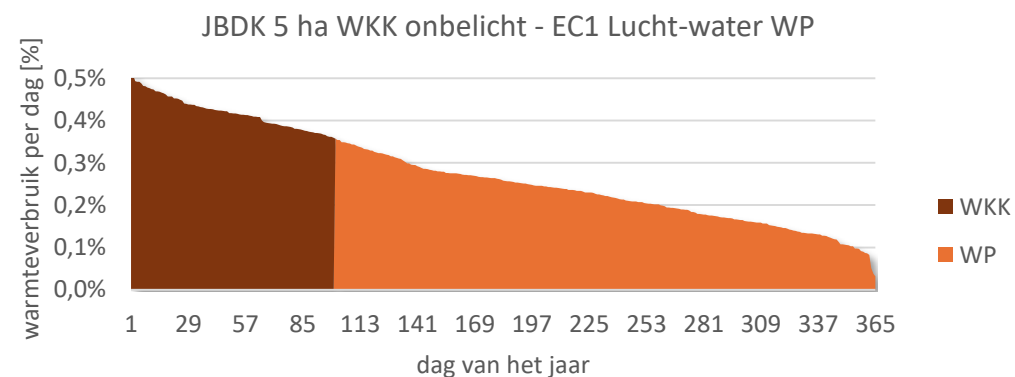
### 3. Energieconcepten en inzetstrategie

#### Opzet EC1 – Casus 2: lucht/water warmtepomp bij een 5 ha WKK onbelicht bedrijf – paprika / komkommer

De buitenlucht warmtepomp voedt de kas met tussenkomst van de bestaande buffer. De WP gaat uit op dagen waarop de gemiddelde buitentemperatuur onder de 6,7 °C komt, dit betreft de koudste 100 dagen van het jaar. Hierdoor draait de WKK 2400 uur per jaar. Er worden geen extra investeringen gedaan. De netaansluiting wordt niet uitgebreid omdat het elektrische vermogen van de WP kleiner is dan die van de WKK. Een buffervat is al aanwezig. De contractcapaciteit wordt wel uitgebreid met 363 kW extra contractcapaciteit.



Belangrijkste kenmerken		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	58%	58%	58%
Invulling warmtevraag ketel	%	0%	0%	0%
Invulling warmtevraag WKK	%	42%	42%	42%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	1.392.000	1.392.000	1.392.000
SCOP WP	/	4,4	4,4	4,4
Elektrisch vermogen WP	kW	445	445	445
Elektrisch verbruik WP	KWh	1.734.000	1.734.000	1.734.000
vollasturen WP	h	3.892	3.892	3.892
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	45/40	45/40	45/40
Totale investering	€	1.521.000	1.521.000	1.521.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	87.000	132.000	171.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	464.000	590.000	692.000
Besparingen per jaar	€/jaar	377.000	458.000	521.000
Terugverdientijd	sTVT	4	3	3
Terugverdientijd zonder SDE++	sTVT	24	11	7

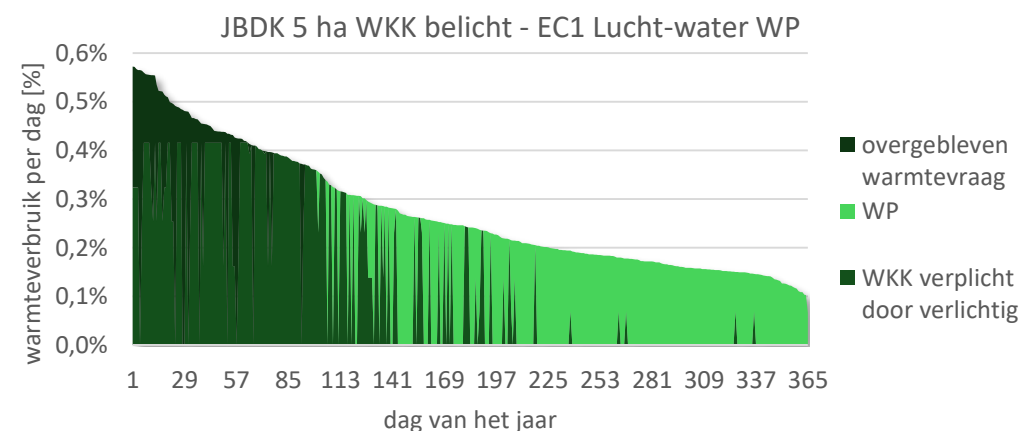
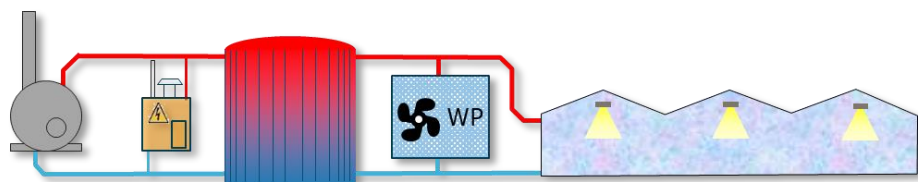


# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## Opzet EC1 – Casus 3: lucht/water warmtepomp bij een 5 ha WKK belicht bedrijf – tomaat

Deze opzet is hetzelfde als die voor casus 2. De warmtepomp voed de kas met tussenkomst van de bestaande buffer. De WP gaat uit op dagen waarop de gemiddelde buitentemperatuur onder de 6,7 °C komt, dit betreft de koudste 100 dagen van het jaar. De WKK draait voor de verlichting wat in het figuur aangeduid is als “WKK verplicht door verlichting”. Hiernaast draait de WKK om warmte te produceren in de winter, dit betreft het overgrote deel van “overgebleven warmtevraag”. De netaansluiting hoeft niet uitgebreid en er worden geen extra kosten voor de contractcapaciteit meegenomen omdat het elektrische vermogen van de WP kleiner is dan het vermogen dat gebruikt wordt in de referentie.

Belangrijkste kenmerken		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	42%	42%	42%
Invulling warmtevraag ketel	%	2%	2%	2%
Invulling warmtevraag WKK	%	56%	56%	56%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	2.252.000	2.252.000	2.252.000
SCOP WP	/	4,6	4,6	4,6
Elektrisch vermogen WP	kW	474	474	474
Elektrisch verbruik WP	KWh	1.412.000	1.412.000	1.412.000
vollasturen WP	h	2.976	2.976	2.976
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	45/40	45/40	45/40
Totale investering	€	1.694.000	1.694.000	1.694.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	127.000	352.000	467.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	656.000	1.065.000	1.227.000
Besparingen per jaar	€/jaar	529.000	713.000	760.000
Terugverdientijd	sTVT	3	2	2
Terugverdientijd zonder SDE++	sTVT	7	4	4

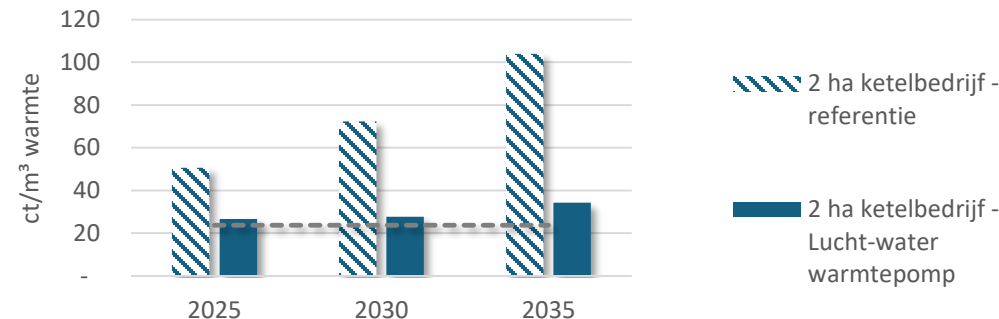


# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

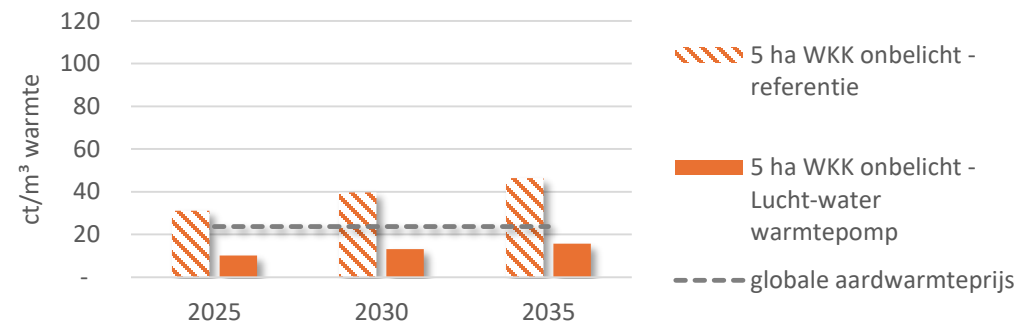
## 3.10. Resultaten EC1 lucht-water warmtepomp

De lucht-water warmtepomp resulteert bij alle drie de type bedrijven en alle zichtjaren in een significante operationele kostendaling. Met het prijsverschil moet de investering terug betaald worden. In het zichtjaar 2025 zien we alleen bij het 2 ha ketelbedrijf een terugverdientijd van boven de vijf jaar. In het zichtjaar 2035 zien we voor elk type bedrijf een terugverdientijd van vijf jaar of minder. De resultaten tonen aan dat dit hybride energieconcept een kosteneffectieve oplossing is waarmee grofweg de helft van de warmtevraag ingevuld kan worden. Zonder SDE++ heeft alleen het WKK belichte bedrijf een terugverdientijd van onder de vijf jaar waarbij er gestuurd wordt op het produceren van warmte tijdens goedkope elektra uren.

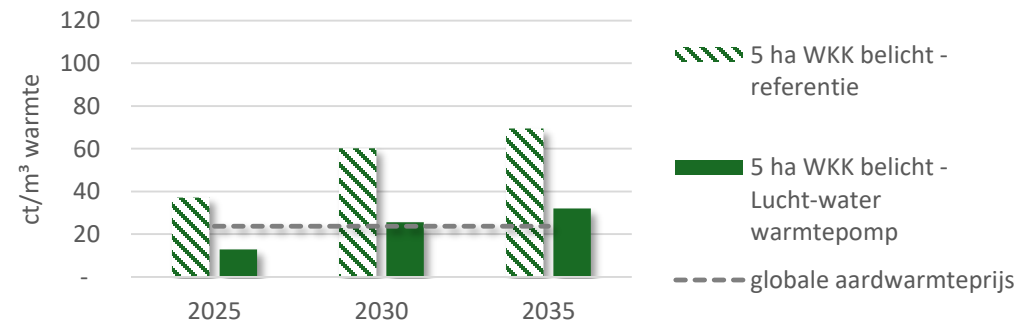
Operationele warmteprijs excl. invst. - EC1 Buitenlucht WP



Operationele warmteprijs excl. invst. - EC1 Buitenlucht WP



Operationele warmteprijs excl. invst. - EC1 Buitenlucht WP





# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## 3.11. Opzet EC2: WKO met warmtepomp

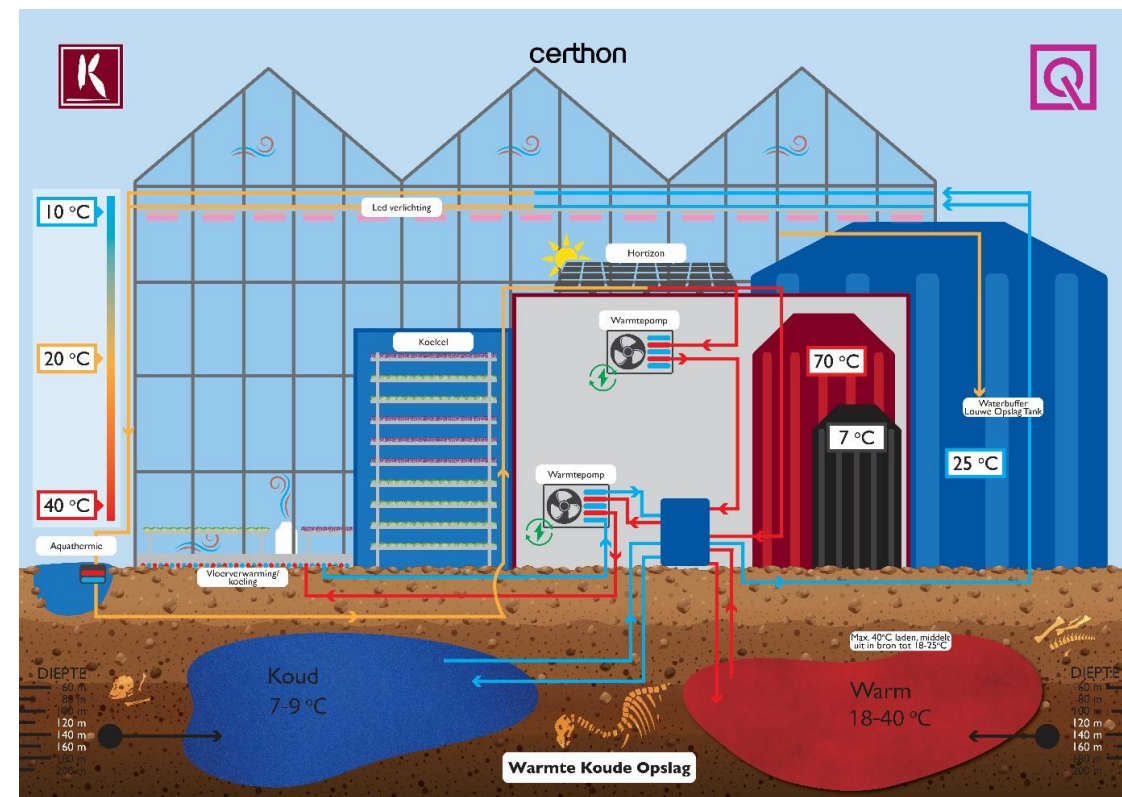
Het WKO concept bestaat uit bodembronnen, een regeneratiebron (hier aquathermie), één of meerdere warmtepompen en bovengrondse warmtebuffers. Ter inspiratie staan hieronder enkele voorbeelden. Bij alle bedrijfstypes wordt geïnvesteerd in een WKO doublet (bodemenergie) voor seizoens-warmteopslag, een warmtepomp om de WKO-warmte in de winter op een bruikbaar temperatuurniveau te brengen en een systeem waarmee de WKO geregenereerd wordt in de zomer. Het regenereren van de WKO bron kan met kaswarmte, aquathermie of zonthermie. We gaan uit van aquathermie omdat dit het goedkoopst is, dit is echter niet bij elk bedrijf toepasbaar.\*



Aquathermie. Foto: Koppert Cress



Ammoniak warmtepomp – GEA GRASSO SP1 HP

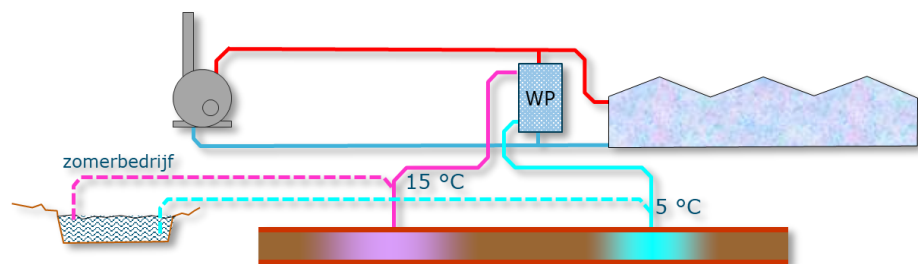


Technisch schema met WKO: Koppert Cress | Certhon

# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

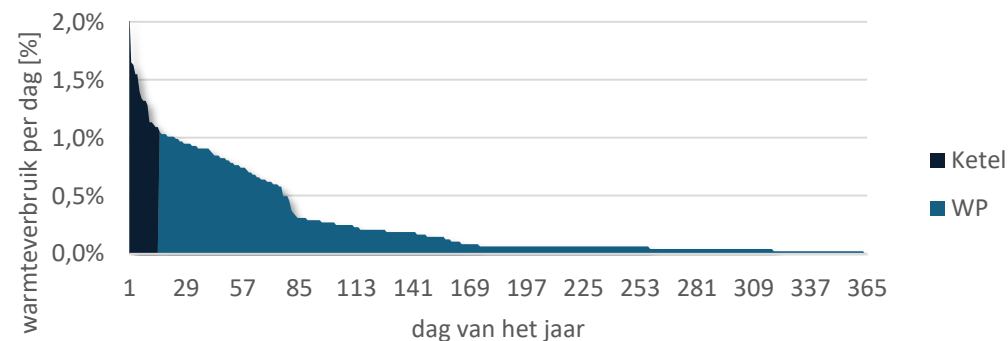
## Opzet EC2 – Casus 1: WKO met warmtepomp t.b.v. 2 ha ketelbedrijf – potplant

De warmtepomp voed de kas met tussenkomst van een buffer van 200 m<sup>3</sup> zodat de WP kan draaien op uren met lage elektriciteitsprijzen. De warmtepomp gebruikt de warmte uit de WKO om in de winter de kas te verwarmen. Er vinden geen extra investeringen plaats ten opzichte van hierboven genoemd. Ook niet voor het verdubbelen van de 51'ers. De aanvoertemperatuur in de winter is 45 °C. De koudste vijftien dagen van het jaar worden door de gasketel ingevuld om de WP installatie klein te houden. De netaansluiting wordt uitgebreid naar een 175 kVA t/m 630 kVA aansluiting en er wordt betaald voor 120 kW extra contractcapaciteit.



Belangrijkste kenmerken EC2C1		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	79%	79%	79%
Invulling warmtevraag ketel	%	21%	21%	21%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	29.032	29.032	29.032
COP WP	/	3,9	3,9	3,9
Elektrisch vermogen WP	kW	139	139	139
Elektrisch verbruik WP	KWh	249.000	249.000	249.000
vollasturen WP	h	1.794	1.794	1.794
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	45/40	45/40	45/40
Totale investering	€	699.000	699.000	699.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	39.000	41.000	50.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	71.000	101.000	146.000
Besparingen per jaar	€/jaar	32.000	61.000	96.000
Terugverdientijd	sTVT	22	11	7
Terugverdientijd zonder subsidie	sTVT	n/a	26	11

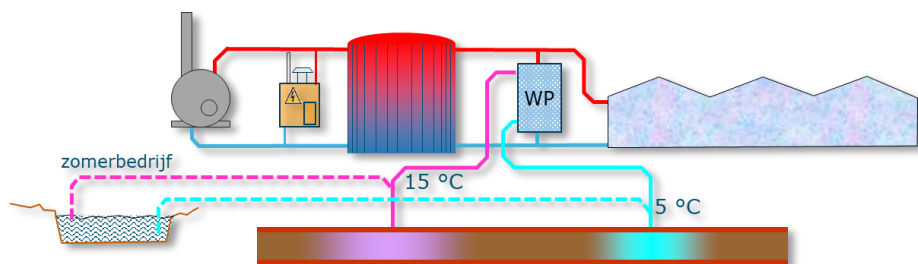
JBDK 2 ha ketelbedrijf - EC2 WKO WP



# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

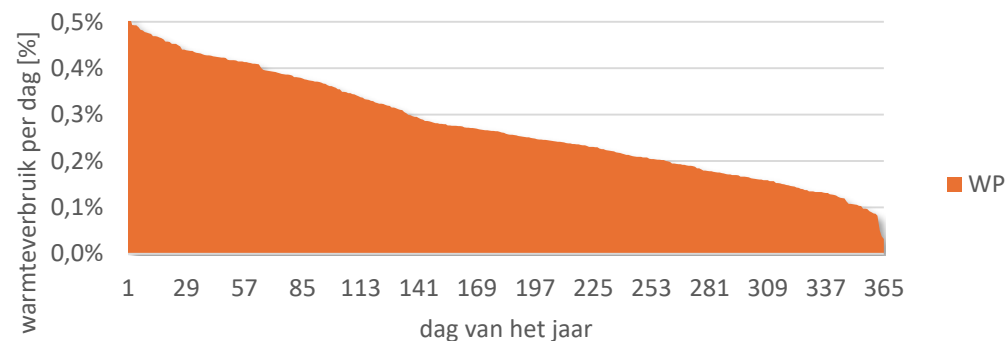
## Opzet EC2 – Casus 2: WKO met warmtepomp t.b.v. 5 ha WKK onbelicht – paprika/komkommer

De warmtepomp gebruikt de warmte uit de WKO om in de winter de kas te verwarmen. Naast de eerder genoemde investeringen wordt het aantal 51'ers verdubbeld waardoor de COP beter is. De aanvoertemperatuur is hierdoor in de winter 36 °C en in de zomer 34 °C. Om de investering terug te verdienen moet de WKO veel gebruikt worden en is zowel de ketel als de WKK overbodig. De gasaansluiting vervalt om jaarlijkse kosten te besparen. Een olietel voorziet in de benodigde back-up voorziening. De netaansluiting hoeft niet uitgebreid te worden. Er wordt wel betaald voor 404 kW extra contractcapaciteit.



Belangrijkste kenmerken EC2C2		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	100%	100%	100%
Invulling warmtevraag ketel	%	0%	0%	0%
Invulling warmtevraag WKK	%	0%	0%	0%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	0	0	0
COP WP	/	5,0	5,0	5,0
Elektrisch vermogen WP	kW	572	572	572
Elektrisch verbruik WP	KWh	2.636.000	2.636.000	2.636.000
vollasturen WP	h	4.605	4.605	4.605
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	36/34	36/34	36/34
Totale investering	€	2.548.000	2.548.000	2.548.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	65.000	57.000	57.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	464.000	590.000	692.000
Besparingen per jaar	€/jaar	399.000	533.000	635.000
Terugverdientijd	sTVT	6	5	4
Terugverdientijd zonder subsidie	sTVT	47	14	9

JBDK 5 ha WKK onbelicht - EC2 WKO WP

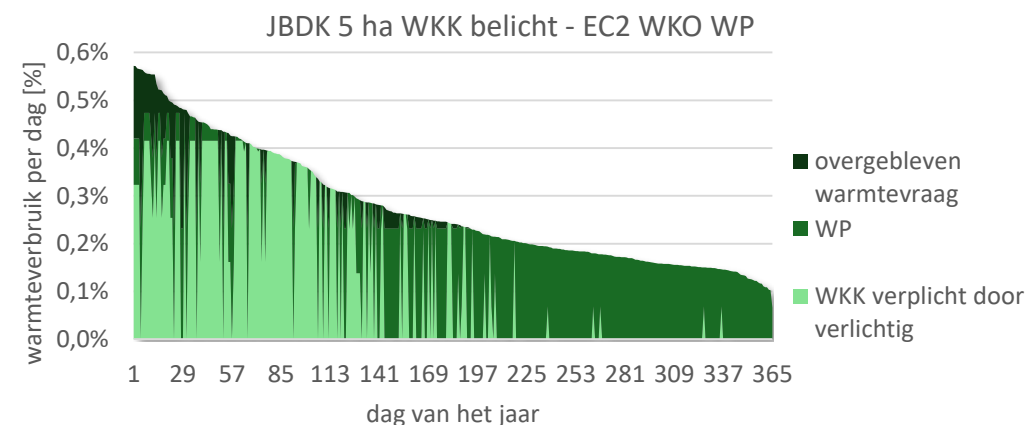
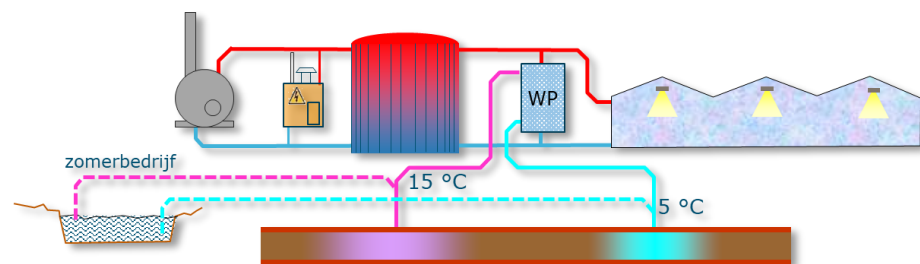


# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## Opzet EC2 – Casus 3: WKO met warmtepomp t.b.v. 5 ha WKK belicht – tomaat

De warmtepomp gebruikt de warmte uit de WKO om in de winter de kas te verwarmen. Naast de eerder genoemde investeringen wordt het aantal 51'ers verdubbeld waardoor de COP beter is. Hierdoor is de aanvoertemperatuur in de winter 36 °C en in de zomer 34 °C. De WKK draait voor de verlichting wat in het figuur aangeduid is als “WKK verplicht door verlichting”. Hiernaast draait de WKK om warmte te produceren, dit betreft het overgrote deel van “overgebleven warmtevraag”. De WP maakt een stuk minder draaiuren omdat de WKK draait en hiernaast vervalt de gasaansluiting niet. De WP en WKO bron is vanwege de lagere inzet ook grofweg de helft zo groot als bij casus 2. De netaansluiting wordt niet uitgebreid en er worden geen extra kosten voor de capaciteit meegenomen omdat het elektrische vermogen van de WP kleiner is dan het vermogen dat gebruikt wordt in de referentie.

Belangrijkste kenmerken EC2C3		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	47%	47%	47%
Invulling warmtevraag ketel	%	0%	0%	0%
Invulling warmtevraag WKK	%	53%	53%	53%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	2.094.000	2.094.000	2.094.000
COP WP	/	5,1	5,1	5,1
Elektrisch vermogen WP	kW	297	297	297
Elektrisch verbruik WP	KWh	1.431.000	1.431.000	1.431.000
vollasturen WP	h	4.823	4.823	4.823
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	36/34	36/34	36/34
Totale investering	€	1.509.000	1.509.000	1.509.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	211.000	435.000	550.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	656.000	1.065.000	1.227.000
Besparingen per jaar	€/jaar	445.000	630.000	678.000
Terugverdientijd	sTVT	3	2	2
Terugverdientijd zonder subsidie	sTVT	6	3	3

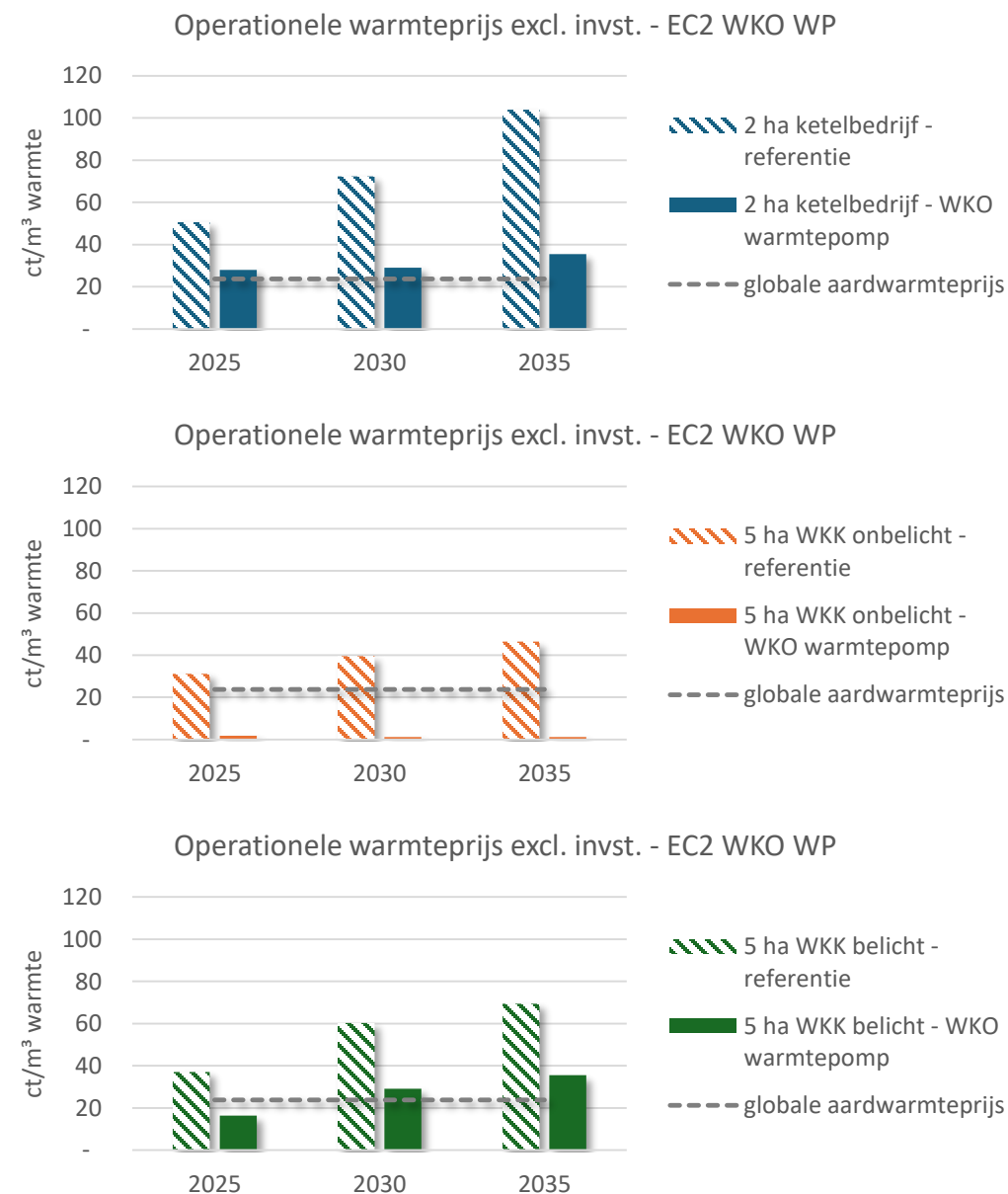


# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## 3.12. Resultaten EC2 WKO met warmtepomp

De WKO warmtepomp met aquathermie resulteert bij alle drie de type bedrijven en alle zichtjaren in een significante operationele kostendaling. Met het prijsverschil moet de investering terugbetaald worden. Alleen bij het 2 ha ketelbedrijf zien we in alle zichtjaren een terugverdientijd van boven de vijf jaar. Bij het 5 ha WKK onbelicht bedrijf zien we vanaf 2030 terugverdientijden van vijf jaar of minder. Bij het 5 ha WKK belichte bedrijf zien we in alle zichtjaren terugverdientijden van vijf jaar of minder. De resultaten tonen aan dat dit energieconcept een kosteneffectieve oplossing is. Zonder SDE++ heeft alleen het WKK belichte bedrijf een terugverdientijd van onder de vijf jaar.

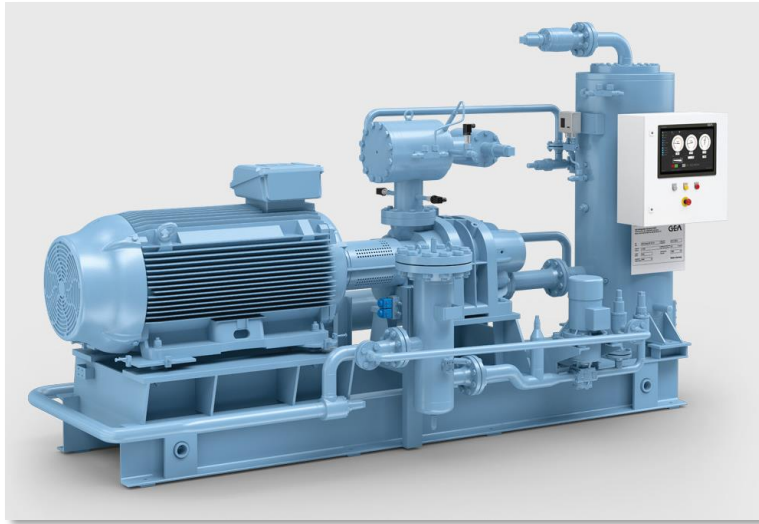
Deze resultaten zijn doorgerekend waarbij gebruik gemaakt wordt van aquathermie om de bron te regenereren. Andere regeneratieopties zijn duurder.\*



## 3. Energieconcepten en inzetstrategie

### 3.13. Opzet EC3 geïntegreerde ontvochtiging

Het geïntegreerde ontvochtigingsconcept bestaat uit luchtbehandelingskasten, één of meerdere warmtepompen en buffers. Ter inspiratie staan hieronder enkele voorbeelden. Bij alle energieconcepten wordt geïnvesteerd in een kaswarmte terugwin systeem dat zowel voelbare als latente warmte terugwint\*. Hiernaast zijn er in totaal twee buffers benodigd, een WP, extra leidingwerk en een klimaatcomputer. Het ventilatiesysteem gebruikt koud water (licht blauw) om warmte uit de kas te onttrekken, dit resulteert in lauwwater (paars) dat naar de buffer gaat. De WP onttrekt warmte aan dit lauwwater en verwarmt hier water uit het verwarmingcircuit (blauw) mee naar aanvoertemperatuur (rood). Vanwege de hoge investering moet het systeem een zo groot mogelijk deel van de warmtevraag invullen om de lagere operationele kosten maximaal te benutten.



Ammoniak warmtepomp – GEA GRASSO SP1 HP



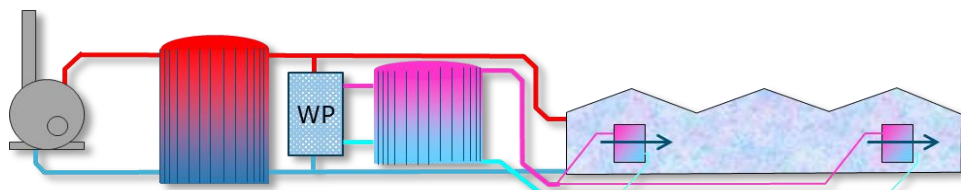
Ontvochtiger. Foto: Van Dijk Heating AVS-C

# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## 3.13. Opzet EC3 geïntegreerde ontvochtiging

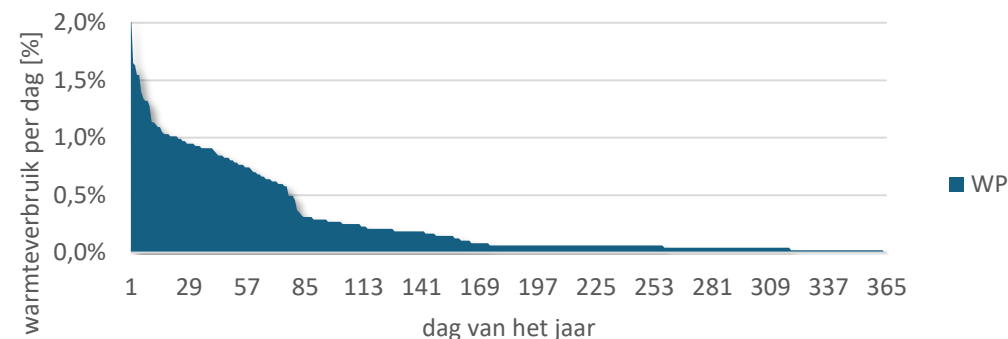
### Opzet EC3– Casus 1: 2 ha ketelbedrijf – potplant

De warmtepomp vult de gehele warmtevraag, en gebruikt hiervoor de verdampingswarmte uit de kas. Wel is naast een warmtebuffer ook een koudebuffer nodig. Andere bronnen zijn in deze casus niet nodig. De gasaansluiting vervalt om jaarlijkse kosten te besparen. Een olietel voorziet in de benodigde back-up voorziening. De netaansluiting wordt uitgebreid naar een 630 kVA t/m 1.000 kVA aansluiting en wordt er betaald voor 588 KW extra contractcapaciteit. De onbelichte potplantenteelt blijkt niet geschikt voor een geïntegreerd ontvochtigingssysteem. Omdat er zo weinig verdamping plaatsvindt, moet er veel lucht worden rondgepompt wat resulteert in een hoog elektrisch energieverbruik dat meer dan twee keer zo hoog ligt als wanneer de warmte geleverd wordt met een WKO.



Belangrijkste kenmerken		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	100%	100%	100%
Invulling warmtevraag ketel	%	0%	0%	0%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	0	0	0
COP WP	/	5,0	5,0	5,0
Elektrisch vermogen WP	kW	478	478	478
Elektrisch verbruik WP	KWh	702.000	702.000	702.000
vollasturen WP	h	1.468	1.468	1.468
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	40/40	40/40	40/40
Totale investering	€	1.596.000	1.596.000	1.596.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	147.000	142.000	142.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	71.000	101.000	146.000
Besparingen per jaar	€/jaar	-77.000	-41.000	4.000
Terugverdientijd	sTVT	n/a	n/a	428
Terugverdientijd zonder EG en EIA	sTVT	n/a	n/a	477

JBDK 2 ha ketelbedrijf - EC3 geïntegreerde ontvochtiging

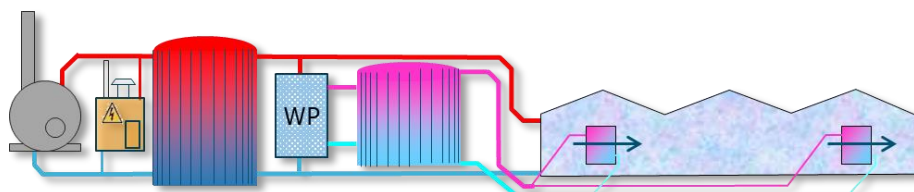


# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

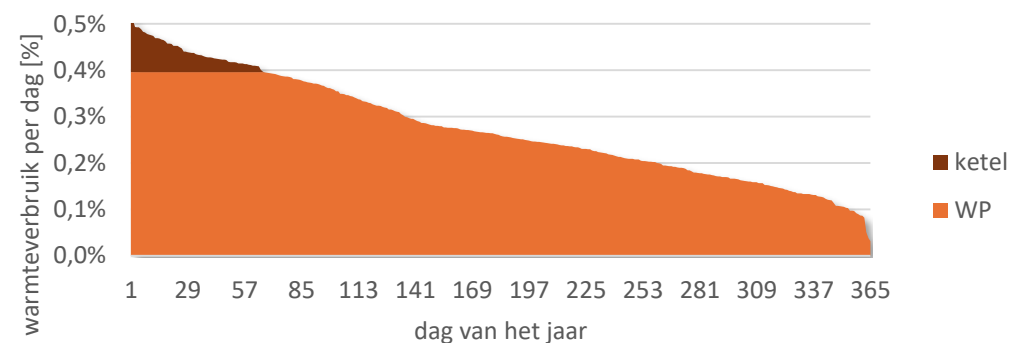
## Opzet EC3 – Casus 2: 5 ha WKK onbelicht – paprika / komkommer

De warmtepomp vult nagenoeg de gehele warmtevraag, en gebruikt hiervoor de verdampingswarmte uit de kas. Wel is naast een warmtebuffer ook een koudebuffer nodig. Een klein deel van de warmtevraag kan niet ingevuld worden en hiervoor wordt de ketel ingezet. De onbelichte paprika/komkommer is redelijk geschikt voor een geïntegreerd ontvochtigingssysteem, waardoor het elektrische energieverbruik maar 10% hoger is dan wanneer de warmte geleverd wordt met een WKO. De netaansluiting hoeft niet uitgebreid te worden. Er wordt wel betaald voor 467 kW extra contractcapaciteit.

Belangrijkste kenmerken		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	97%	97%	97%
Invulling warmtevraag ketel	%	3%	3%	3%
Invulling wartevraag door WKK	%	0%	0%	0%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	42.000	42.000	42.000
COP WP	/	5,0	5,0	5,0
Elektrisch vermogen WP	kW	575	575	575
Elektrisch verbruik WP	KWh	2.736.000	2.736.000	2.736.000
vollasturen WP	h	4.759	4.759	4.759
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	40/40	40/40	40/40
Totale investering	€	2.957.000	2.957.000	2.957.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	430.000	430.000	444.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	464.000	590.000	692.000
Besparingen per jaar	€/jaar	34.007	159.000	248.000
Terugverdientijd	sTVT	87	19	12
Terugverdientijd zonder EG en EIA	sTVT	99	21	14



JBDK 5 ha WKK onbelicht - EC3 geïntegreerde ontvochtiging



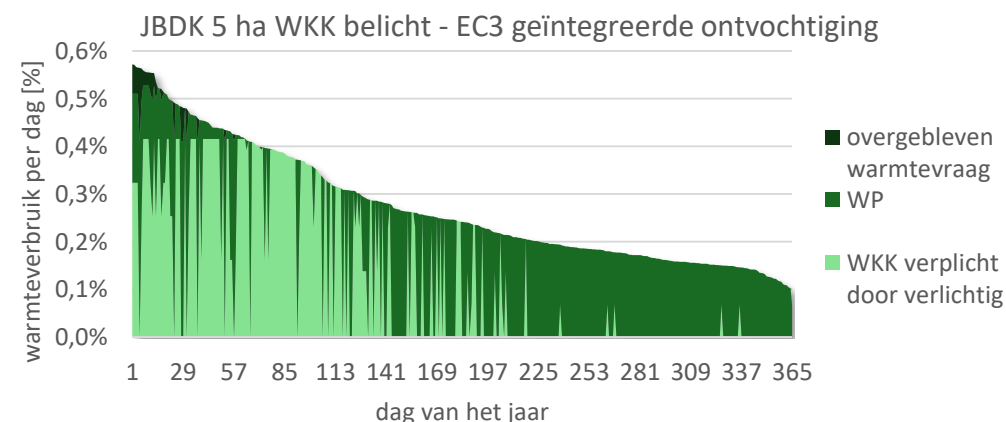
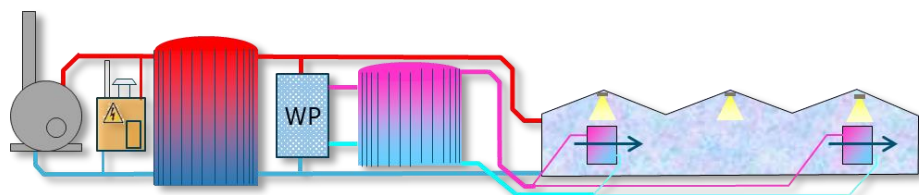


# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## Opzet EC3 – Casus 3: 5 ha WKK belicht – tomaat

De warmtepomp vult ongeveer de helft in van de gehele warmtevraag, en gebruikt hiervoor de verdampingswarmte uit de kas. Dit heeft te maken met de WKK die verplicht draait om de verlichting van elektriciteit te voorzien. De belichte tomatenteelt is zeer geschikt voor een geïntegreerd ontvochtiging systeem wat resulteert in een hoge efficiëntie dat grofweg hetzelfde verbruikt als de WKO case\*. De netaansluiting wordt niet uitgebreid en er worden geen extra kosten voor de capaciteit meegenomen omdat het elektrische vermogen van de WP kleiner is dan het vermogen dat gebruikt wordt in de referentie.

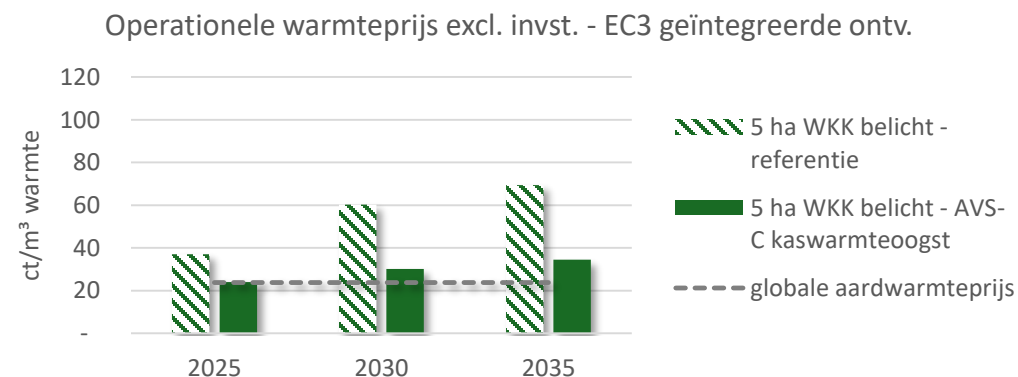
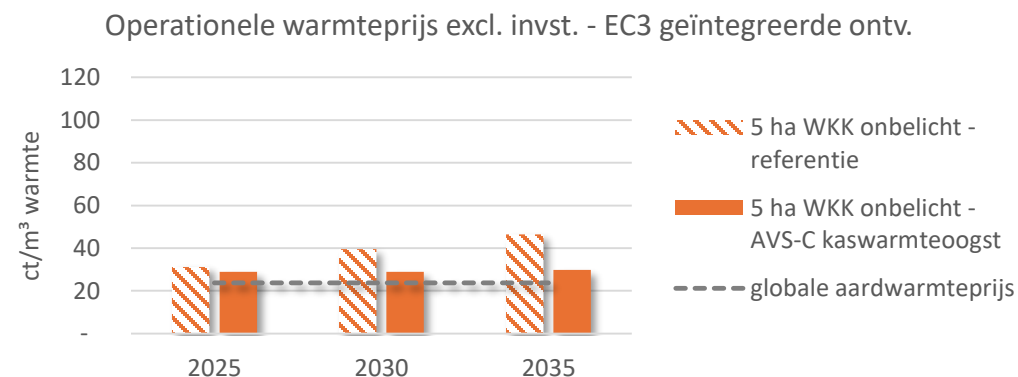
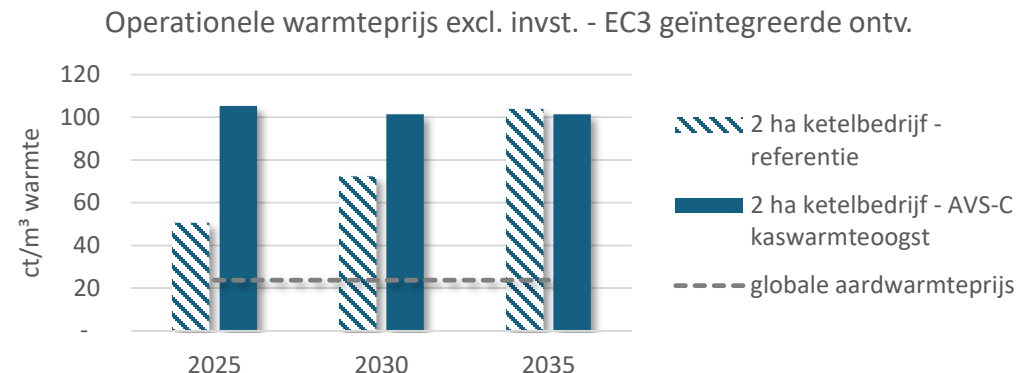
Belangrijkste kenmerken		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	52%	52%	52%
Invulling warmtevraag ketel	%	0%	0%	0%
Invulling wartevraag door WKK	%	48%	48%	48%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	840.000	840.000	840.000
COP WP	/	5,0	5,0	5,0
Elektrisch vermogen WP	kW	580	580	580
Elektrisch verbruik WP	kWh	1.631.000	1.631.000	1.631.000
vollasturen WP	h	2.812	2.812	2.812
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	40/40	40/40	40/40
Totale investering	€	2.661.000	2.661.000	2.661.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	339.000	449.000	525.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	656.000	1.065.000	1.227.000
Besparingen per jaar	€/jaar	317.000	616.000	703.000
Terugverdientijd	sTVT	8	4	4
Terugverdientijd zonder EG en EIA	sTVT	10	5	4



# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## 3.14. Resultaten EC3 geïntegreerde ontvochtiging

Vanwege de lage systeemefficiëntie bij een potplanten teelt zien we dat de warmteprijs in 2035 net zo hoog is als de referentie en ervoor zelfs hoger. Het 5 ha onbelichte bedrijf ziet voor elk zichtjaar een lagere warmteprijs. Het 5 ha belichte bedrijf ziet ook een warmteprijs die altijd lager is dan de referentie. Bij deze belichte tomatenteelt is er kaswarmte in overvloed waardoor het systeem efficiënt is. Met het warmteoverschot zou een tweede identieke kas voorzien kunnen worden van warmte\*. Bij een belichte teelt zonder WKK zou het concept positiever kunnen zijn door de hogere invulling van de warmtevraag. De terugverdientijd is enkel bij het belichte WKK bedrijf in 2030 en 2035 kleiner dan 5 jaar. De impact van subsidies is erg klein aangezien het een kleine korting op de investering betreft.



\*Een systeem met halve capaciteit is niet mogelijk omdat de kas dicht gaat om warmte te oogsten. Dit betekent dat de capaciteit groot genoeg moet zijn om voldoende en gelijkmatig te ontvochtigen. Het overschot aan te oogsten warmte hoeft niet benut te worden, dit kan middels buitenlucht weg geventileerd worden.

# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## 3.15. duiding resultaten in de praktijk

De resultaten zijn sterk afhankelijk van de precieze situatie van de klant. Daarom moet elke bedrijf een eigen onderzoek uit voeren om de beschikbare verduurzamingsopties in kaart te brengen en te vergelijken. Hieronder staan een aantal situaties benoemd waardoor de resultaten uit dit rapport anders uit kunnen pakken.

### Bestaande systemen

Bestaande systemen kunnen een grote impact hebben op de investering die gedaan moet worden. Een kas met vloerverwarming kan al op lage temperatuur verwarmen en heeft daarom geen investering in verdubbeling van het aantal 51'ers nodig. Kassen of teelten met koeling hebben een bestaand systeem om kaswarmte te oogsten dat grote besparingen met zich meebrengt.

### Teelt specifieke voordelen

Verwarmen met lage temperatuur heeft als voor of nadeel dat de luchtbeweging anders is en de temperatuur verschillen lager. verwarmen met een geïntegreerd ontvochtiging systeem levert een droger klimaat met lagere piek temperaturen in de zomer, ook is de kas in dit systeem veel vaker en langer dicht wat het gebruik van CO<sub>2</sub> verminderd, maar mogelijk ook de gevoeligheid ten opzicht van insecten en ziektes beïnvloed.

### Samenwerking

Het geïntegreerde ontvochtiging systeem dat toegepast wordt bij de 5 ha WKK belichte teler heeft veel warmte over, hiernaast beschikt het over een WKK en ketel die beide operationeel blijven. Dit concept is daardoor zeer geschikt om toe te passen bij een bedrijf met een dubbele teelt. Ook zou het leveren van warmte aan een buurbedrijf mogelijk interessant kunnen zijn.

# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## 3.16. Inspiratie uit de praktijk



Foto: kwekerij Van Klaveren Plant

### Specificaties

Warmtepomp: 3x68,5 kW water/water  
Koelmiddel: R410a  
Bronstelsel: 32x bodemlussen 180m diep  
Warmteafgifte: 51mm bovennet  
Warmteterugwinning: via betonvloer  
Aanvoertemperatuur: 50 °C  
Verwachte gasbesparing: 80.000 m<sup>3</sup> per jaar  
Indicatie investering: 260.000 euro



Foto: kwekerij Ko Kolk Hortensia

### Specificaties

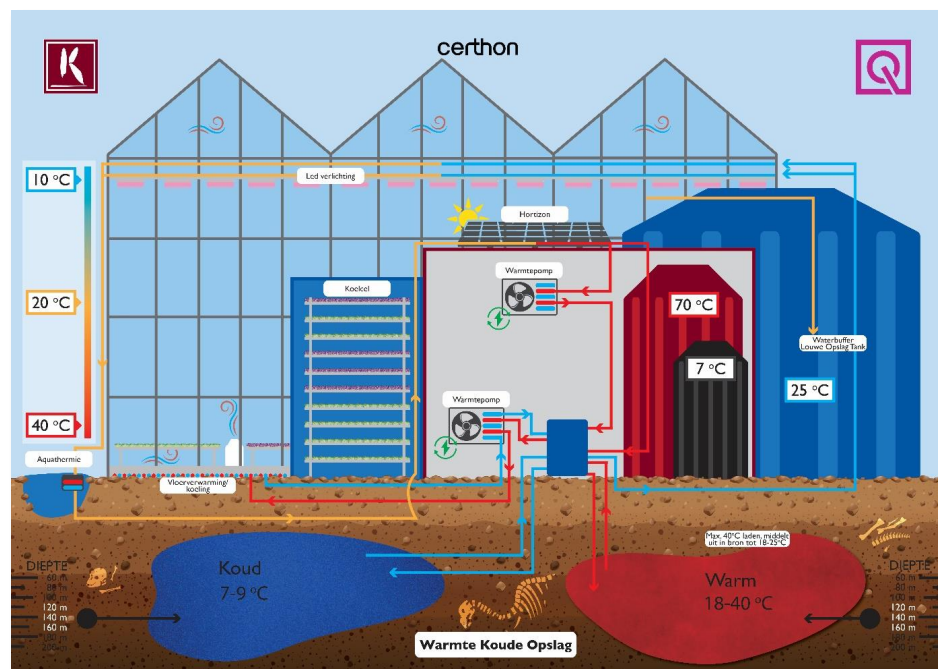
Warmtepomp: 730 kW water/water  
Koelmiddel: propaan (R290)  
Bronstelsel: 130m diep open bron (WKO)  
Warmteafgifte: dubbel 51mm ondernet  
Warmteterugwinning: 6x LBK's  
Aanvoertemperatuur: 30 °C  
Verwachte gasbesparing: 80.000 m<sup>3</sup> per jaar  
Indicatie investering: 350.000 euro

Van Klaveren Plant uit Kudelstaart gebruikt een compacte opstelling van drie warmtepompen in combinatie met bodemlussen voor het verwarmen van 1,5 hectare glas. De warmteafgifte gaat middels buizen, met een aanvoertemperatuur van circa 50 °C. Door middel van vloerkoeling wordt warmte geogst en wordt de bron geregenereerd. "De keuze voor een warmtepomp voor mijn nieuwe locatie was een no-brainer - het past perfect bij mijn visie van duurzaamheid en milieubewustzijn", aldus hortensiateler Ard van Klaveren.

Ko Kolk Hortensia uit Amstelveen gebruikt een warmtepomp in combinatie met een warmte-koude opslag (WKO) voor het verwarmen van 3 hectare glas. Door middel van luchtbehandelingskasten (LBK's) met luchtslangen wordt de kas ontvochtigd en wordt warmte geogst om de bron te laden. De warmteafgifte gaat middels buisrail en groeibuis met een aanvoertemperatuur van ongeveer 30 °C. "Door de verduurzamingstechnieken die ik toepas op dit bedrijf, ben ik minder afhankelijk van de grillige energiemarkt", aldus hortensiateler Bartjan Kolk.

# 3. Energieconcepten en inzetstrategie

## 3.16. Inspiratie uit de praktijk



Schema: Koppert Cress | Certhon



Foto: Koppert Cress

### Specificaties

- Warmtepomp: 2400 kW water/water
- Bronstelsysteem: WKO, 160 m<sup>3</sup>/uur
- Warmteafgifte: vloer, LBK's, bovennet
- Warmteterugwinning: LBK's, restwarmte koelcellen, aquathermie, zonthermie, LED-koeling.
- Verwachte gasbesparing: 540.000 m<sup>3</sup> per jaar
- Indicatie investering: vertrouwelijk

Koppert Cress uit Monstter heeft een ingenieus energiesysteem opgebouwd, waarbij meerdere warmtebronnen en buffers met elkaar verbonden zijn. Zo wordt gebruik gemaakt van warmte uit de sloot (aquathermie), zonnearmte, kaswarmte, restwarmte van de koelcellen en restwarmte van de watergekoelde LED-lampen. De warmte wordt met name geoogst in de periode juni-september. Er is sprake van een koudebuffer, een lauw water buffer, een heetwater buffer en een warmtekoudeopslag in de bodem. De besparing van het hele systeem bedraagt ongeveer 540.000 m<sup>3</sup> aardgas per jaar.

# 4. Overkoepelende aspecten

## 4.1. Netaansluiting en capaciteit

De warmtepomp moet worden aangesloten op het interne elektriciteitsnetwerk van een bedrijf. Er moet voldoende vermogen beschikbaar zijn voor de (piek)stroom van de warmtepomp. Dit is meteen een grote uitdaging vanwege netcongestie en transport schaarste. Op veel plaatsen in Nederland is geen extra transportcapaciteit meer beschikbaar.

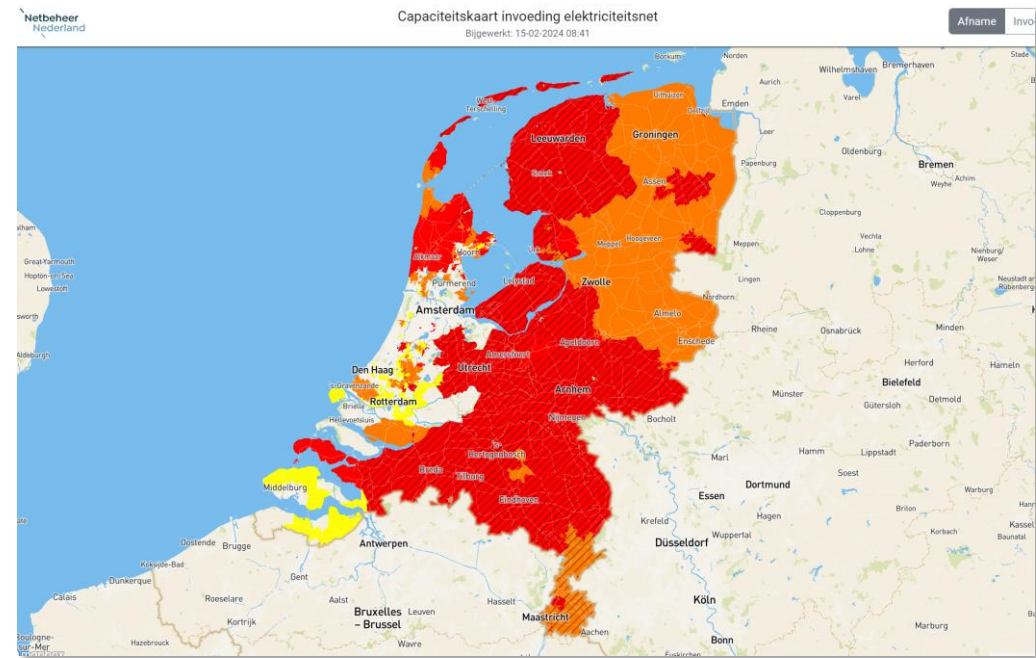
Er zijn twee zaken nodig:

- voldoende fysieke aansluitcapaciteit op je aansluiting (in kVA of MVA);
- voldoende contractcapaciteit (kW).

Belichtende bedrijven zullen voldoende capaciteit op hun aansluiting hebben voor een warmtepomp. De vraag hierbij is wel hoeveel uur per dag die capaciteit beschikbaar is. Belichtende bedrijven draaien hun belichting grotendeels op WKK-stroom. Dat betekent dat gecontracteerde afnamecapaciteit niet altijd voldoende is voor een warmtepomp. Dit is een aandachtspunt. Belichte bedrijven kunnen tijdens de uren dat de belichting uitstaat de warmtepomp gebruiken en daarmee de kas verwarmen en de buffer vullen.

Voor onbelichte bedrijven zonder WKK zal in veel gevallen de aansluiting verzwaaard moeten worden en/of de contractcapaciteit uitgebreid moeten worden. Neem contact op met je netbeheerder om te onderzoeken welke mogelijkheden er zijn.

Nieuw is de mogelijkheid tot flexibele capaciteitscontracten, de zogenaamde “non-firm ATO”. Dit is een nieuwe contractvorm die als doel heeft om de restcapaciteit in het net te benutten. Het komt erop neer dat klanten met een ATO alleen gebruik kunnen maken van het net op de momenten dat er restcapaciteit beschikbaar is, of op de momenten waarvoor afspraken zijn gemaakt. Neem hiervoor contact op met je netbeheerder.



Stand van zaken beperkingen elektriciteitsnet. Bron: Netbeheer NL

## 4. Overkoepelende aspecten

### 4.2. Installatie en onderhoud

Het is essentieel om de warmtepompinstallatie te integreren met bestaande bedrijfsprocessen en systemen. Naast de warmtepomp moet ook een bronsysteem worden aangelegd. In het geval van WKO of bodemplussen zijn dat bronboringen. Voor een lucht-water warmtepomp is een (forse) buitenunit nodig (zie afbeelding). Denk hierbij aan ruimtebeslag en geluid. Voor zonthermie en aquathermie zijn ook aanvullende investeringen nodig.

De warmtepomp heeft periodiek onderhoud nodig. Dit omvat regelmatige controles van de verschillende componenten, zoals compressoren, warmtewisselaars, leidingen, sensoren, sturingskasten et cetera. U kunt hiervoor een onderhoudscontract afsluiten. Het monitoren van energieverbruik en efficiëntie is ook van belang om eventuele afwijkingen tijdig te detecteren en corrigeren.

Bepaalde koudemiddelen vragen extra aandacht. Zo zijn verplichte lekcontroles voor brandbare koudemiddelen (propan, isobutaan). Hier zitten kosten aan verbonden.



Voorbeeld buitenunit lucht/water warmtepomp 267 kW. Bron: Carrier

## 4. Overkoepelende aspecten

### 4.3. Subsidies en financiële stimulansen

Er is [SDE++](#) subsidie verkrijgbaar voor lucht-water warmtepompen met een thermisch vermogen van minimaal 500 kW. In 2023 was een lucht-water warmtepomp opgenomen in de SDE++ met een minimum afgiftetemperatuur van 70 °C en de gasketel als referentie. De regeling van 2024 is nog niet gepubliceerd, maar in het eindadvies van PBL en in de kamerbrief lijkt de temperatuureis te worden losgelaten en komt er een WKK referentie in plaats van ketelreferentie. Dit maakt in één keer de regeling veel beter passend voor de glastuinbouw. De regeling ziet er op het eerste gezicht gunstig uit.

De SDE++ subsidie keert gedurende vijftien jaar een bedrag uit per eenheid geproduceerde warmte. Warmtepompen met WKO en aquathermie als regeneratie komen ook in aanmerking voor SDE++.

Vanaf 2024 kunnen zowel kleine als grotere warmtepompen gebruik maken van de Energie Investeringsaftrek ([EIA](#)). Dit levert effectief circa 10% voordeel op de investering. Onder de EIA vallen ook “systemen voor het koelen en verwarmen van (semi-)gesloten tuinbouwkassen”, waaronder WKO-bronnen en kaswarmteonttrekking. Ook bij de EIA wordt alleen subsidie verleend aan warmtepompen met natuurlijke koudemiddelen. EIA en SDE++ kunnen niet worden gecombineerd.

Voor luchtbehandelingssystemen (waaronder standalone ontvochtiging en geïntegreerde ontvochtiging ) kan gebruik gemaakt worden van de Energie-efficiëntie Glastuinbouw ([EG](#)) subsidie.

Zie ook Sheet 25.

Component	Subsidie
Lucht-water warmtepomp vanaf 500 kW met natuurlijk koudemiddel	SDE++ (per eenheid warmte)
Warmtepomp met natuurlijk koudemiddel	EIA (10% v/d investering)
WKO met aquathermie	SDE++ (per eenheid warmte)
Luchtbehandeling (ontvochtiging)	EG (20% v/d investering)
Kaswarmte onttrekking	EIA (10% v/d investering)
WKO bron	EIA (10% v/d investering)



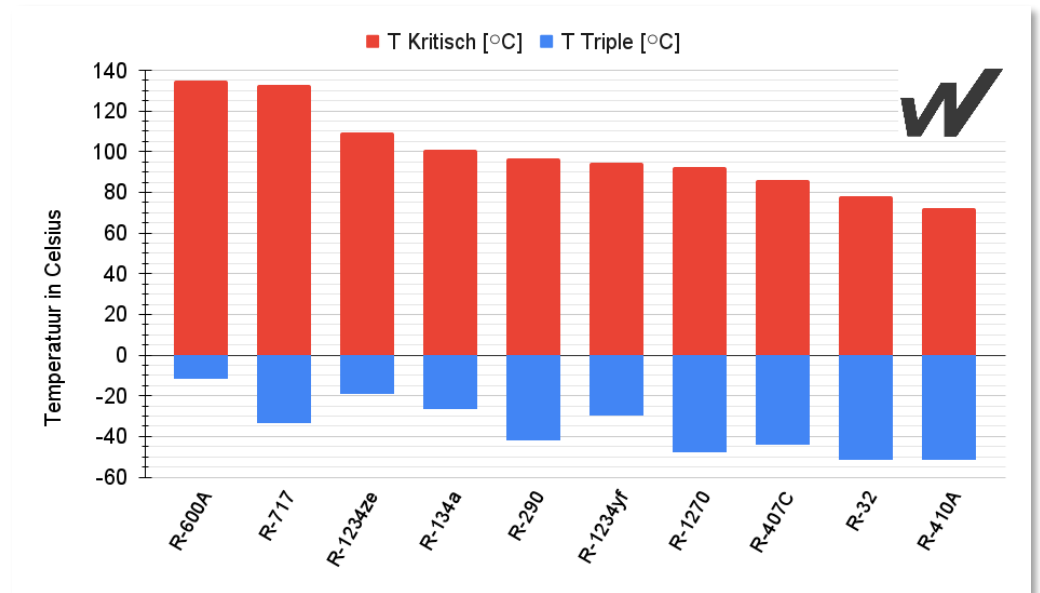
# 4. Overkoepelende aspecten

## 4.4 Koudemiddelen

Koudemiddelen zijn stoffen die in koelmachines en warmtepompen worden gebruikt om warmte te transporteren. Voor mechanische warmtepompen is een hele reeks aan koudemiddelen (of: werkmiddelen) beschikbaar. Ieder werkmiddel heeft voor- en nadelen en verschillende kritische temperaturen en drukken.

Tegenwoordig maken warmtepompen gebruik van diverse koudemiddelen, met synthetische en natuurlijke varianten als belangrijkste categorieën. Elk koudemiddel heeft een specifiek temperatuurbereik. Synthetische koudemiddelen, zoals R32, R-410A, worden vaak ingezet vanwege hun efficiëntie en prestaties. De meeste synthetische koudemiddelen hebben echter een aanzienlijke broeikasemissie (Global Warming Potential, GWP).

In contrast hiermee worden natuurlijke koudemiddelen, zoals butaan (R600), ammoniak (R717), propaan (R290) en CO<sub>2</sub> (R744), als duurzamer beschouwd. In Nederland en Europa worden synthetische koudemiddelen uitgefaseerd, ook voor bestaande installaties. De EU verordening is [hier](#) te vinden. De goed leesbare samenvatting van NVKL is [hier](#) beschikbaar. Vooralsnog geldt dit niet voor synthetische middelen met een laag GWP, zoals R1234ze en R1234yf. **Subsidies zijn echter sinds 2023 alleen te krijgen op warmtepompen met natuurlijke koudemiddelen!**



Overzicht temperatuurbereik koelmiddelen. Bron: warmtepompberekenen.nl

## 4. Overkoepelende aspecten

### 4.5 Vergunningen

Vanaf 2024 is de Omgevingsvergunning van kracht. Dit is één vergunning bestaande uit verschillende onderliggende vergunningdelen. De volgende vergunningdelen kunnen van toepassing zijn:

- bouwvergunning (omgevingsvergunning bouw). Dit is nodig in de volgende gevallen:
  - er is een nieuw gebouw nodig voor de warmtepomp;
  - de brandcompartimenten in het bestaande gebouw moeten aangepast worden;
  - er is sprake van grote verdampers buiten het gebouw (bouwwerk niet zijnde een gebouw). Van toepassing bij buitenlucht warmtepomp.
- milieuvergunning (omgevingsvergunning milieu). In het Bal (Besluit activiteiten leefomgeving, voorheen Activiteitenbesluit Wet milieubeheer) zijn algemene regels opgenomen voor warmtepompsystemen. Voor warmtepompsystemen is geen milieuvergunning nodig, maar er kan wel sprake zijn van een meldingsplicht conform het Bal.
- watervergunning. Bij open bodemenergiesysteem (WKO) is een watervergunning nodig ten behoeve van onttrekking en retourneren van grondwater.

Bij twijfel over de vergunningen is het raadzaam om professioneel advies in te winnen, mogelijk bij een milieudeskundige of een adviesbureau dat gespecialiseerd is in milieuwetgeving. Zij kunnen de specifieke situatie beoordelen en u helpen bij het voldoen aan eventuele (meldingsplichtige) vereisten.

Component	Vergunning
Omgevingsvergunning (bouw)	Bij nieuwbouw/verbouw ketelhuis en bij bouwwerken niet-zijnde een gebouw (bijvoorbeeld externe verdampers)
Omgevingsvergunning (milieu)	X
Omgevingsvergunning (beperkte milieutoets)	Alleen bij gesloten bodemenergiesystemen
Omgevingsvergunning (water)	Alleen bij open bodemenergiesystemen (WKO)
Omgevingsvergunning (natuur)	X
Melding Bal (v/h activiteitenbesluit)	Alleen bij gesloten bodemenergiesystemen

# 4. Overkoepelende aspecten

## 4.6 Innovaties warmtepompen

Er zijn verschillende innovaties op het gebied van warmtepompen die in de komende jaren worden verwacht.

### Koudemiddelen

Zoals beschreven in Paragraaf 5.4 vindt er een verschuiving plaats naar natuurlijke koudemiddelen. Er komen warmtepompen met natuurlijke koudemiddelen beschikbaar voor alle systeemgroottes. Vooral propaan en ammoniak lijken de nieuwe standaard te gaan worden.

### Hogere temperaturen

Er komen steeds meer warmtepompen op de markt met meerdere compressiestappen die temperaturen van 80+ °C kunnen halen. Dit maakt warmtepompen makkelijker inpasbaar, maar gaat ten koste van het rendement. De tuinbouw kan normaal gesproken uit de voeten met lagere temperaturen.

### IOT – smart heating

Daarnaast wordt er verwacht dat warmtepompen intelligenter worden door integratie met slimme technologieën, zoals IoT (Internet of Things) en kunstmatige intelligentie en integratie met klimaatsystemen. Dit stelt warmtepompsystemen in staat om zich aan te passen aan variabele energiebronnen en gebruikspatronen, waardoor ze efficiënter en kosteneffectiever worden.

### Standaardisatie

In de periode tot 2030 wordt verwacht dat standaardisatie een sleutelrol zal spelen in de verdere ontwikkeling van warmtepomptechnologie. Standaardisatie zal bijdragen aan een breder scala van toepassingen en een eenvoudigere integratie van warmtepompen in diverse situaties.

## 4. Overkoepelende aspecten

### 4.7 Innovaties WKO – warmteopslag op 50 °C

De wettelijke maximale temperatuur waarmee warmte mag worden opgeslagen is 25 °C, om bodemeffecten te beperken. Op dit moment wordt onderzocht wat het zou betekenen als warmte tot circa 50 °C opgeslagen zou mogen worden, het zogenaamde midden temperatuuropslag ([MTO](#)). Hier wordt onder andere door Greenport West-Holland en partners onderzoek naar gedaan ([link](#)).

Let op: dit heeft alleen zin als de WKO geregenereerd wordt met een warmtebron op hogere temperatuur, bijvoorbeeld restwarmte, aardwarmte, of zonthermie. De koude bron krijgt namelijk ook een hogere temperatuur, waardoor het lastig wordt om te regenereren met kaswarmte (max. 20 °C)\*. Ook zit er een hogere minimum schaal aan MTO ten opzichte van WKO vanwege de hogere energieverliezen bij kleine installaties.

Het verhogen van de maximale toegestane injectietemperatuur heeft de volgende voordelen:

- Een hoger rendement van de warmtepomp (COP);
- grotere warmteopslagcapaciteit (tot twee keer hoger);
- WKO wordt bij meer bedrijven haalbaar.

MTO vraagt om extra monitoring, vergunningvoorschriften en slim technisch en ruimtelijk ontwerp. **Vanuit energietransitie perspectief is aan te raden om de regels omtrent WKO te versoepelen. Er zijn pilots nodig, en daarna opschaling.**



The screenshot shows a webpage header with the Greenport West-Holland logo and navigation icons. The main title is 'Samen kansen pakken met Middelhoge Temperatuur Opslag' with a date of '26 mei 2023'. Below the title is a photograph of industrial equipment, including a large cylindrical tank and various pipes. The text below the photo discusses a meeting on July 4th about a potential application of MTO (Middelhoge Temperatuur Opslag) and its benefits compared to traditional WKO systems.

Bron: Greenport West-Holland

# 5. Conclusie, discussie en aanbevelingen

## 5.1 Discussie

In deze discussie van de resultaten worden verschillende beperkingen beschreven die de nauwkeurigheid en toepasbaarheid van de analyse beïnvloeden.

### Versimpelingen

De grootste versimpeling zit in de WKK die we zien als gratis warmtebron, afgezien van de afschrijving en onderhoudskosten en energiebelasting en CO<sub>2</sub>-heffing. Wat precies de kosten of inkomsten zijn varieert sterk met de uurprijzen op de elektriciteitsmarkt en de strategie van de teler.

De één na grootste versimpeling heeft een vergelijkbaar karakter: de elektriciteitsprijs. Per energieconcept bepalen we een gewogen elektriciteitsprijs op basis van een weging van goedkope uren in een jaar. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen de zichtjaren.

### Gelijke kosten netaansluiting voor de zichtjaren

We rekenen met gelijke kosten voor de netaansluiting voor de drie zichtjaren. Tegelijkertijd is het bekend dat er zeer grote investeringen gedaan worden in het elektriciteitsnet die verhaald gaan worden via de kosten voor de netaansluiting.

### Complexiteit energieconcept

Alle energieconcepten voegen een bepaalde mate van complexiteit toe aan een tuinbouwbedrijf, zowel in de ontwerpfase als in de realisatie. Voorbeelden van complexiteit verhogende aspecten zijn onder andere het afwegen van

dimensionering, welke warmtebron op welk moment moet draaien, optimaliseren van de instellingen, onderhoud, storingen, keuringen en wettelijke verplichtingen.

### Risico's

In de economische doorrekening wordt geen rekening gehouden met risico's. Hiermee wordt een belangrijk investeringsaspect niet gewogen. Voorbeelden van risico's zijn het verstoppert van een WKO bron, het debiet en dus vermogen van de WKO bron en hogere of lagere energieprijzen.

### Optimalisaties

In de doorrekening wordt nauwelijks geoptimaliseerd omdat het model hier niet in voorziet. De WP en/of buffer zou groter gedimensioneerd kunnen worden zodat meer gebruik gemaakt kan worden van uren met goedkope elektriciteitsprijzen.

In casus 3 draait de verlichting altijd op de WKK. Hierbij zou de verlichting ook kunnen draaien op de netaansluiting. De kosten voor verlichting op het net en warmte uit de WP moet afgewogen worden tegen de kosten voor het draaien van de WKK. Hiernaast moet ook de contract capaciteit in beschouwing genomen worden.

### Prijzen

Zowel de kosten voor componenten als de kosten voor gas en elektriciteit zijn onderhevig aan veranderingen.

# 5. Conclusie, discussie en aanbevelingen

## 5.2 Algehele conclusie

Warmtepompen worden al jaren in de glastuinbouw toegepast bij een select aantal teelten die ook koeling gebruiken, zoals phalaenopsis, hortensia en tulpen. Daar zijn warmtepompen in combinatie met WKO een beproefd concept omdat zowel de warmte als de koeling van de warmtepomp gebruikt wordt, wat het systeem efficiënt maakt. De komende jaren worden warmtepompen interessant voor meer bedrijfstypen en toepassingen. De warmtepomp wordt hiermee een belangrijk puzzelstuk in de energietransitie van de glastuinbouw.

In het onderzoek is gekeken naar drie bedrijfstypes, drie energieconcepten, en drie zichtjaren. voor elk bedrijfstype zijn er een of meerdere energieconcepten zijn die zich binnen vijf jaar terug verdienen in het zichtjaar 2035. Hiermee tonen we aan dat het gebruik van een WP in de glastuinbouw een rendabele oplossing kan zijn ten opzichte van de referentie. De kanttekening hierbij is dat de referentie een significante kostenstijging kent: bijna een verdubbeling van de warmtekostprijs van 2025 naar 2035. Vanwege de hoge referentiekosten in 2035 is de aanschaf van een warmtepomp vanaf 2035 snel terug te verdienen. Het belang van subsidie is visueel te zien door te kijken naar de operationele referentiewarmteprijs in 2025 en deze te vergelijken met de operationele warmteprijs van een energieconcept in 2035. Het verschil is soms klein, en met dit verschil moet de teler een grote investering financieren.

Een andere kanttekening is dat een energieconcept niet altijd te realiseren valt door onder andere vergunningsregels, ondergrond, netcapaciteit en mogelijkheid tot WKO bron regeneratie met bijvoorbeeld aquathermie. De

alternatieven waarnaar uitgeweken moet worden zijn in de regel duurder.

### De hoofdconclusie

Er bestaan diverse energieconcepten met variërende subsidiemogelijkheden. In dit onderzoek zijn negen combinaties van energieconcepten en bedrijfstypes doorgerekend met de huidige inzichten en prijzen. Technisch blijkt er veel mogelijk, maar er zijn beperkingen in de economische haalbaarheid van de doorgerekende concepten.

De SDE++ subsidie maakt de toepassing van buitenlucht warmtepompen, en WKO in combinatie met aquathermie, rendabel voor WKK-bedrijven vanaf 2025. Geïntegreerde ontvochtiging kent momenteel geen SDE++ en wordt onder deze condities vanaf 2035 rendabel voor belichte WKK bedrijven.

Voor ketelbedrijven komt de doorrekening, met de huidige inzichten en prijzen, minder positief uit. In 2035 is één van de drie energieconcepten rendabel, de buitenlucht warmtepomp. De investering in combinatie met de beperkte kostenbesparing maakt dat de terugverdientijd lang is, ook met SDE++. Het lage aantal vollasturen bij dit bedrijfstype speelt een belangrijke rol.

# 5. Conclusie, discussie en aanbevelingen

## 5.3 Conclusie per casus

### Casus 1: potplanten onbelicht met gasketelbedrijf 2 hectare

- Hybride warmtepomp op buitenlucht is economisch de beste keus. De piekwarmtevraag wordt ingevuld door de gasketel vanwege betaalbaarheid.
- Hybride warmtepomp op buitenlucht is vanaf 2035 rendabel.
- Geïntegreerde ontvochtiging (Kaswarmteogst zonder WKO) te duur en energetisch geen goede match in verband met weinig verdamping gewas.

### Casus 2: onbelichte groenteteelt 5 hectare met WKK

- Buitenlucht warmtepomp is economisch de beste keus maar kan maar (58%) van de warmtevraag invullen.
- WKO warmtepomp met aquathermie is vanaf 2030 rendabel en kan 100% van de warmtevraag invullen.
- Geïntegreerde ontvochtiging (Kaswarmteogst zonder WKO) past redelijk goed bij groenteteelt. Een dekkingsgraad van 97% is mogelijk. Dit concept is echter kostbaarder dan een WKO.

### Casus 3: belichte groenteteelt 5 hectare met WKK

- Zowel de buitenlucht warmtepomp als de WKO warmtepomp met aquathermie is economisch een goede keus.

- In 2035 is elk energieconcept is rendabel t.o.v. de referentie. Dit heeft voornamelijk te maken met de hoge kostenstijging in de referentiecasse.
- Geïntegreerde ontvochtiging (Kaswarmteogst zonder WKO) past zeer goed bij belichte groenteteelt. Volledige dekking van warmtevraag en daarnaast een warmteogst potentieel van dezelfde grote als de warmtevraag.

### Overzicht tabel

In onderstaande tabel wordt "Groen" gebruikt om aan te geven dat dankzij subsidie de terugverdientijd in 2025 vijf jaar of minder is. "Oranje" duidt op een concept dat pas in 2030 of 2035 rendabel gaat worden. "Rood" geeft aan dat in geen enkel zichtjaar de terugverdientijd onder de 5 jaar komt. Dit laatste blijkt het geval bij toepassing van het geïntegreerde ontvochtiging concept bij onbelichte bedrijven en bij het WKO WP concept voor een 2 ha potplanten ketelbedrijf.

	Case 1: 2 ha potplanten	Case 2: 5 ha paprika	Case 3: 5 ha tomaten
Buitenlucht WP	Oranje	Groen	Groen
WKO WP	Rood	Oranje	Groen
Geïntegreerde ontvochtiging	Rood	Rood	Oranje

# 5. Conclusie, discussie en aanbevelingen

## 5.4 Aanbevelingen

Op basis van dit rapport kunnen we de volgende aanbevelingen doen voor bedrijven die aan de slag willen met het verduurzamen van hun energievraag.

- Verminder de warmtevraag door o.a. isolatie, energiezuinige ventilatie en ontvochtiging.
- Inventariseer de warmtebronnen om je heen. Van welke warmtebronnen kan je gebruikmaken? Denk aan buitenlucht, restwarmte, aquathermie, zonthermie en kaswarmte.
- Onderzoek in hoeverre de bodem geschikt is voor WKO.
- Onderzoek welke mogelijkheden er zijn om je elektrische capaciteit uit te breiden voor een warmtepomp, bijvoorbeeld met een zogeheten 'non-firm ATO'(een soort daluren contract).
- Analyseer welke energieconcepten voor jouw specifieke situatie geschikt zijn. Dit kan je zelf doen en/of samen met leveranciers, installateurs en adviseurs.
- Houdt rekening met de eigenschappen van de technieken;
  - een buitenluchtwarmtepomp kan veel geluid maken
  - enkele koudemiddelen vereisen veiligheidsmaatregelen en inspecties
  - een geïntegreerd ontvochtiging concept vraagt een andere manier van aansturen en beheersen van het klimaat met bijbehorende teelttechnische voor- en nadelen.

Wanneer er op dit moment geen rendabele oplossingen voor jouw situatie zijn is wachten altijd een optie. De markt omstandigheden veranderen voortdurend. De verwachting is dat warmtepompen goedkoper worden naarmate het aantal installaties toeneemt. Door veranderingen in energiebeleid kan de gasreferentie nog duurder worden gemaakt dan in de bekeken cases. Daarmee kan een warmtepomp uiteindelijk toch in beeld komen.



# Empowering Sustainability



Lunet 5 | 3905 NW Veenendaal | T +31 (0)88 - 520 04 00  
E [info@blueterra.nl](mailto:info@blueterra.nl) | I [www.blueterra.nl](http://www.blueterra.nl)

## 6. Bijlagen overzicht

- Bijlage 1: gevorderde toelichting warmtepompen Dia 59
- Bijlage 2: resultaten EC2: regeneratie met kaswarmte en zonthermie Dia 64
- Bijlage 3: energietechnieken toegelicht Dia 89
- Bijlage 4: economische uitgangspunten berekeningen Dia 90

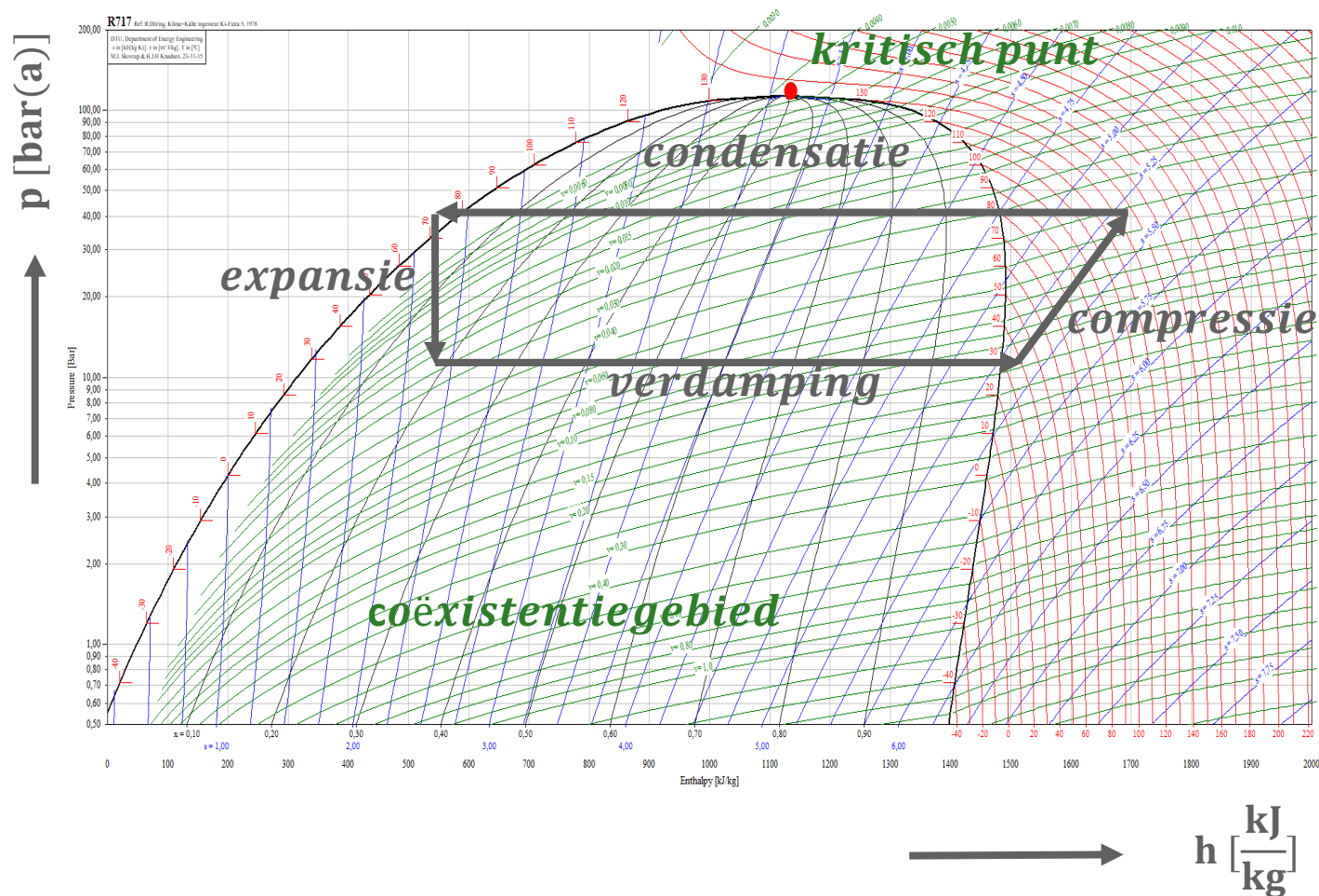
# Bijlage 1: gevorderde toelichting warmtepompen 1/5

## Log p-h diagram

Via het log p-h diagram kunnen we op een andere, meer nauwkeurige, manier de COP van een warmtepomp bepalen. In dit diagram staat horizontaal de energie-inhoud, de enthalpie (**h**). Op de verticale schaal staat de druk in bar absoluut (**p**). De druk staat in een logaritmische schaal.

Hiernaast is het log p-h diagram voor Ammoniak weergegeven. Onder de curve bevindt zich het coëxistentiegebied. Hier vind je zowel damp als druppels. Het hoogste punt van de curve is het kritische punt. De massaverhouding gas/vloeistof is in zwarte lijnen weergegeven ( $x=0,1, \dots, 0,9$ ). De rode lijnen zijn de isothermen. De blauwe lijnen de isentropen. De groene lijnen zijn de isochoren.

In het diagram vinden de verdamping en de condensatie op een constant drukniveau plaats. De expansie door te smoren, is een isenthalp proces: er wordt geen warmte en arbeid uitgewisseld met de omgeving. De compressie vindt in het ideale geval zonder verliezen plaats (isentrop).



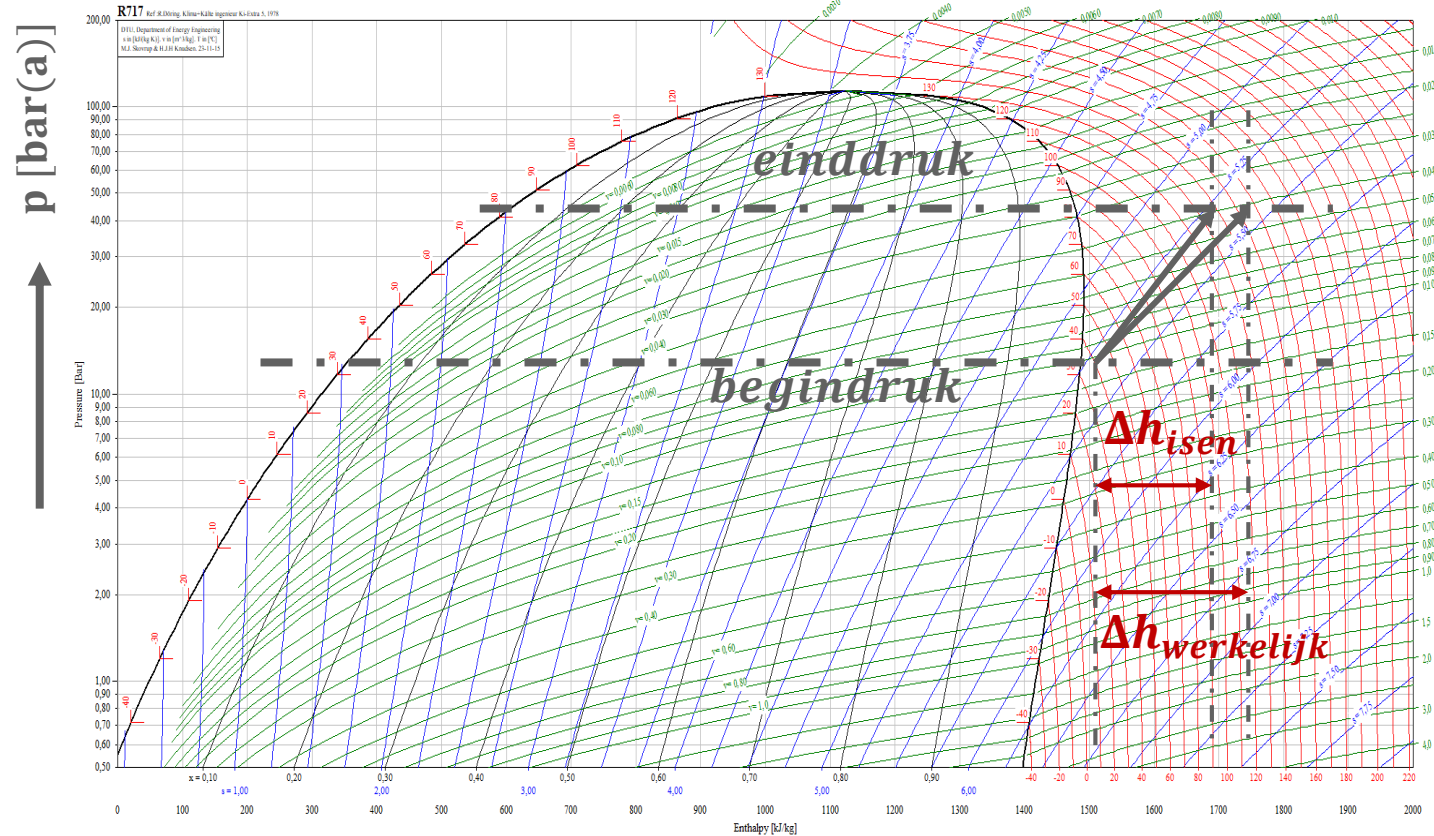
# Bijlage 1: gevorderde toelichting warmtepompen 2/5

## Compressie-arbeid uit log ph diagram

De compressie vindt in het ideale geval zonder verliezen plaats (isentrop). Omdat er wel verliezen zijn, is er meer arbeid nodig om dezelfde druk te krijgen. De verliezen zijn merkbaar in de toename van de temperatuur. Het zogenaamde isentropische rendement ( $\eta_{isen}$ ) is de verhouding tussen de theoretische ( $\Delta h_{theor}$ ) en de werkelijke arbeid ( $\Delta h_{werkelijk}$ ) die nodig is om het gas te comprimeren.

Het isentropisch rendement ( $\eta_{isen}$ ) is afhankelijk van het type compressor. De grootte daarvan en varieert tussen de 70% en 80%

Het aandrijfvermogen ( $W$ ) kan berekend worden uit de rondgaande massastroom ( $\dot{m}$ ) in het systeem vermenigvuldigd met het enthalpieverschil ( $\Delta h$ ). Het elektrisch vermogen ( $W_e$ ) is het mechanisch vermogen ( $W$ ) gedeeld door het rendement ( $\eta_e$ ) van de elektromotor (70% - 95%).



$$\eta_{isen} = \frac{\Delta h_{theor}}{\Delta h_{werkelijk}}$$

$$\dot{W}_e = \frac{\dot{m} \cdot \Delta h_{werkelijk}}{\eta_e} = \frac{\dot{m} \cdot \Delta h_{theor}}{\eta_e \cdot \eta_{isen}}$$

$h \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

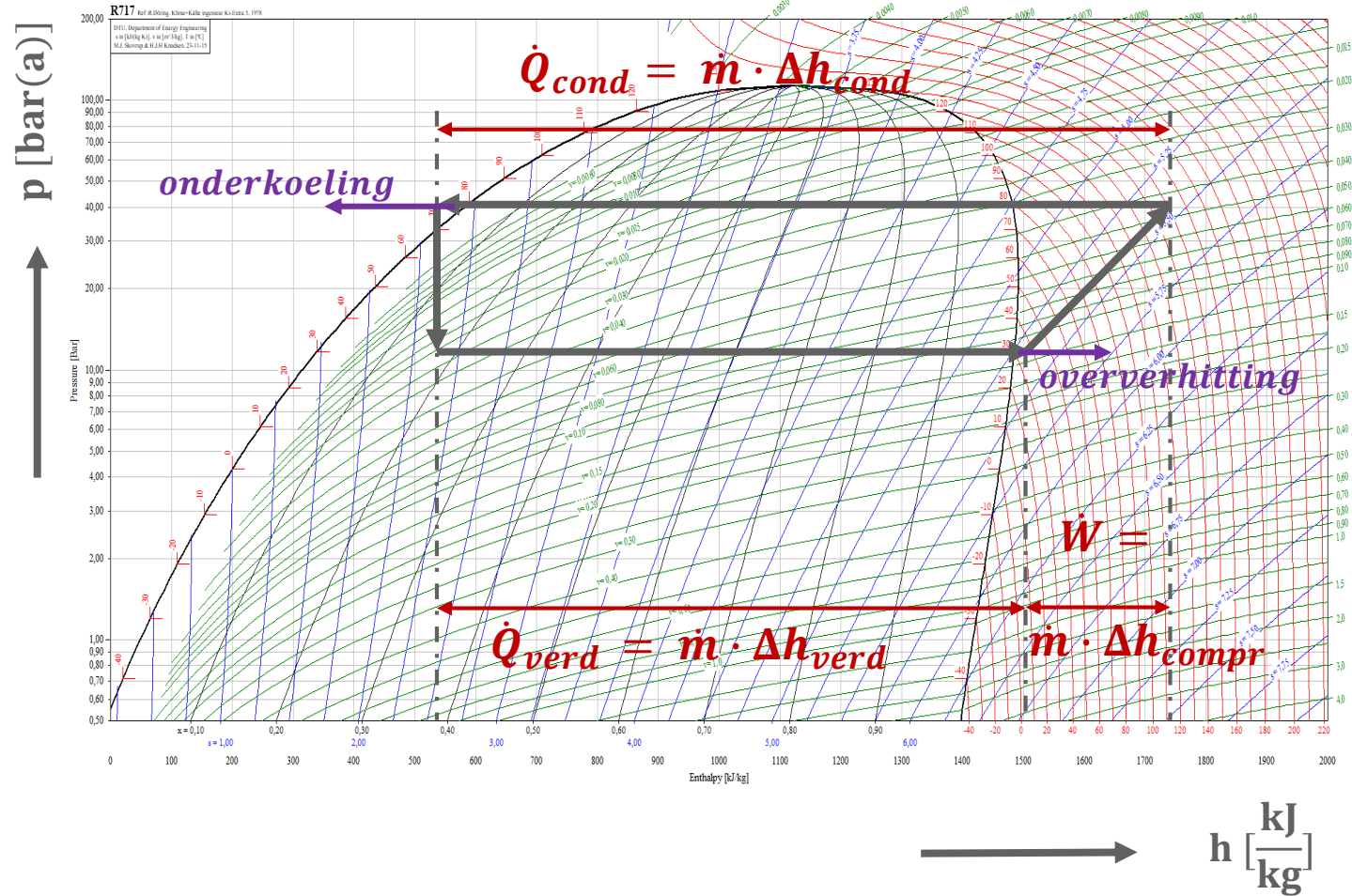
# Bijlage 1: gevorderde toelichting warmtepompen 3/5

## Effect oververhitting en onderkoeling

Wanneer de voedingstemperatuur van het afgiftesysteem voldoende hoog is, kan het verdampte werkmedium worden oververhit. De persgastemperatuur neemt bij oververhitting toe. Boven een bepaalde persgastemperatuur vindt degradatie van de koelolie plaats en schade aan de pakkingen. Oververhitting kan daardoor maar beperkt worden toegepast.

Wanneer de retourtemperatuur van het afgiftesysteem voldoende laag is kan het werkmedium na condensatie onderkoeld worden.

Zowel door oververhitting als door onderkoeling kan de condensorwarmte worden vergroot, zonder dat het elektrisch vermogen noemenswaardig toeneemt. De COP wordt daarmee dus hoger.

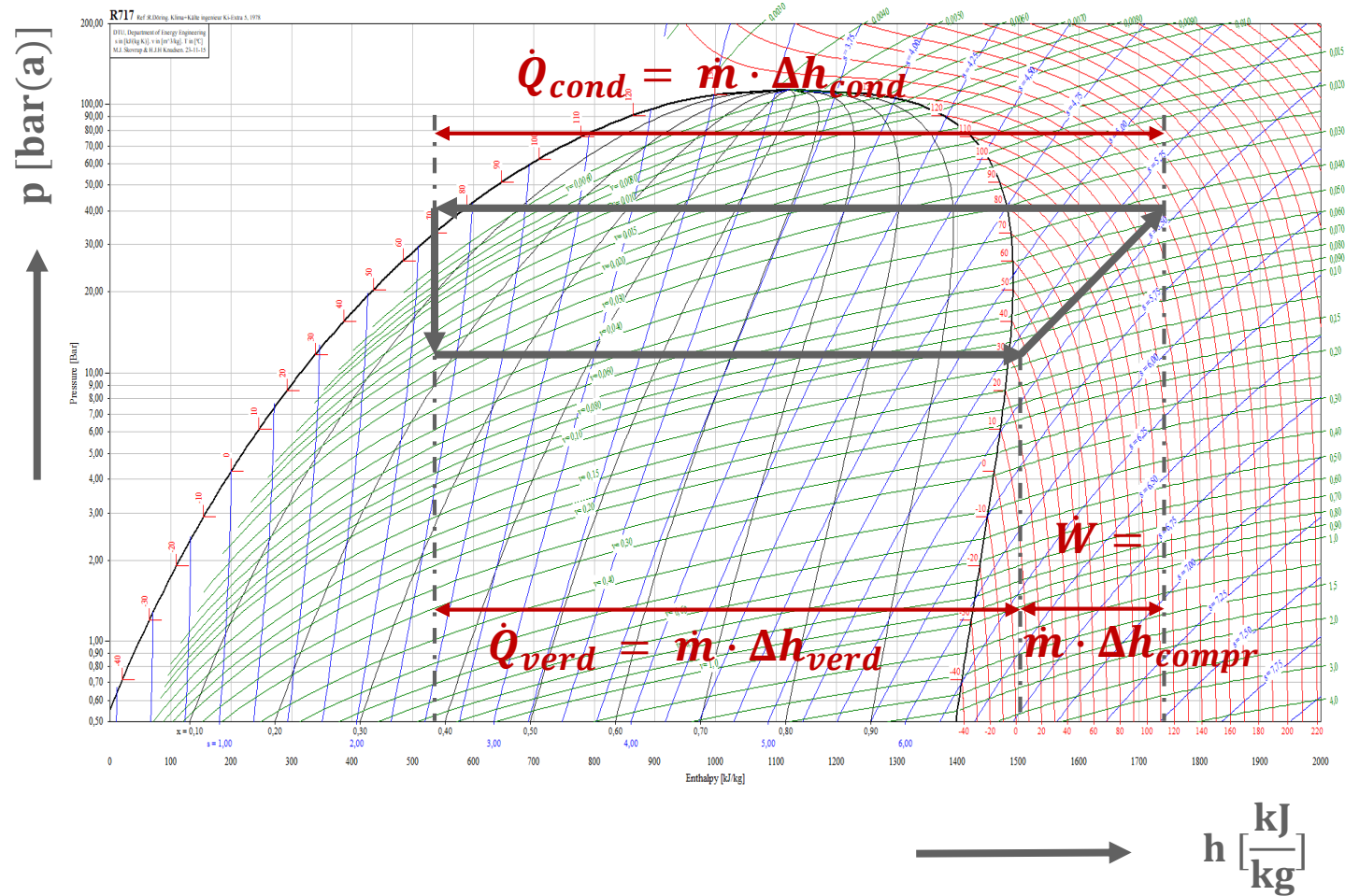


# Bijlage 1: gevorderde toelichting warmtepompen 4/5

## COP uit log ph diagram

Per kilogram rondgaand werkmedium wordt aan de condensor enthalpie afgestaan ( $\Delta h_{cond}$ ). Bij de verdamper wordt enthalpie ( $\Delta h_{verd}$ ) toegevoerd, evenals bij de compressor ( $\Delta h_{compr}$ ). De COP is de verhouding tussen het afgeleverde vermogen ( $\dot{Q}_{cond}$ ) en de toegevoegde elektriciteit ( $\dot{W}_e$ ). De COP is dus direct uit het diagram af te lezen door het enthalpieverschil over de condensor ( $\Delta h_{cond}$ ) te delen door het enthalpieverschil over de compressor ( $\Delta h_{compr}$ ), met correctie voor het elektrisch rendement ( $\eta_e$ ) van de elektromotor.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{cond}}{\dot{W}_e} = \frac{\Delta h_{cond}}{\eta_e \cdot \Delta h_{compr}}$$



# Bijlage 1: gevorderde toelichting warmtepompen 5/5

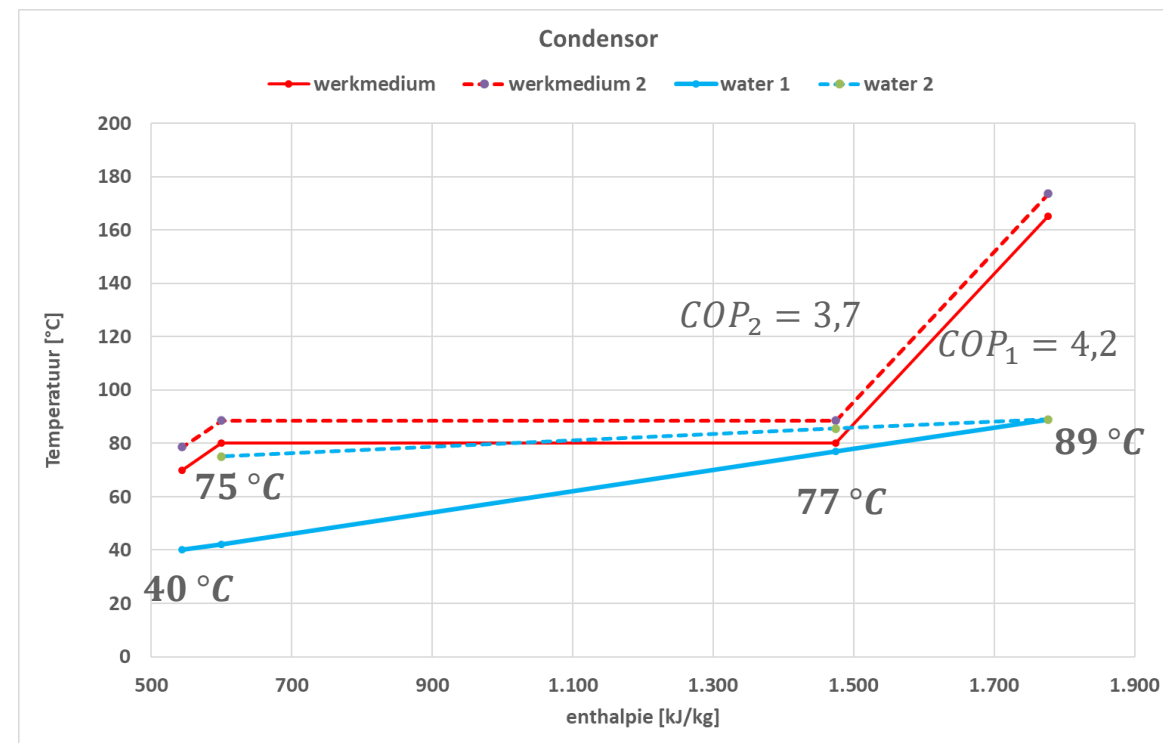
## Belang van temperaturen

Het temperatuurverschil over het afgiftesysteem beïnvloedt in hoge mate de opbrengst van een warmtepomp. Bij een kleiner temperatuurverschil en hogere flow moet de condensordruk en –temperatuur omhoog om dezelfde eindtemperatuur te bereiken omdat:

1. de na verwarming met persgas door de grotere flow een kleinere temperatuurverhoging levert vanaf het kritische punt van 77 °C.
2. het gemiddelde temperatuurverschil tussen werkmedium en water lager wordt waardoor er minder vermogen wordt overgedragen.
3. de onderkoeling minder groot wordt of zelfs niet mogelijk is waardoor er vermogen “blijft liggen”.

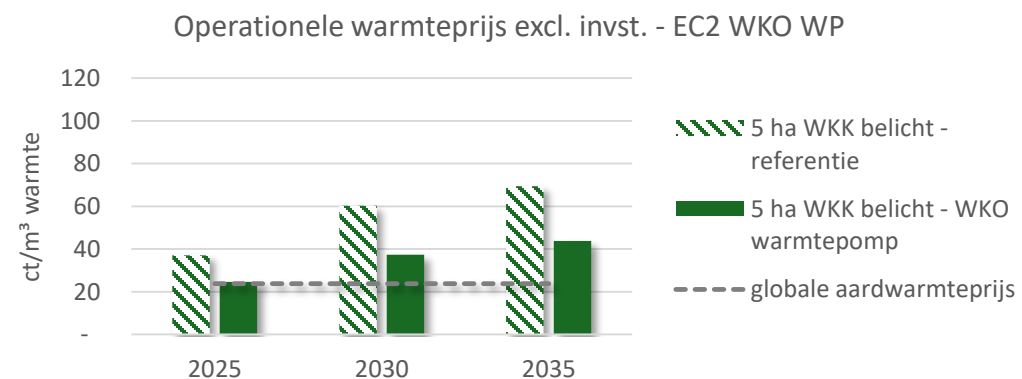
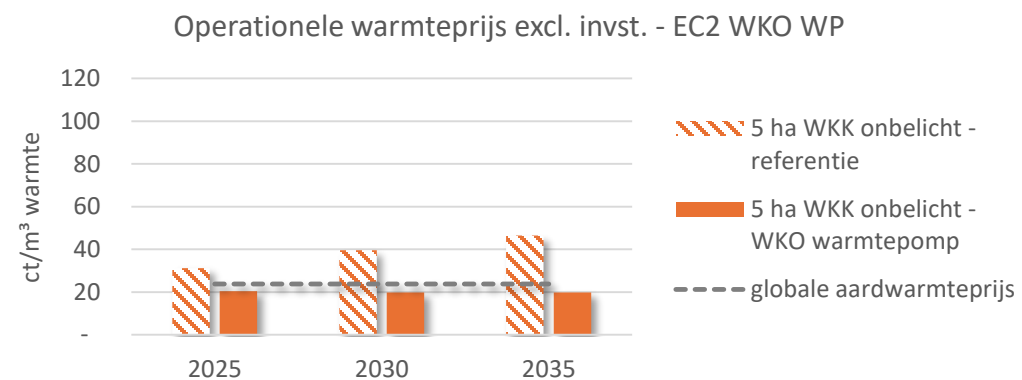
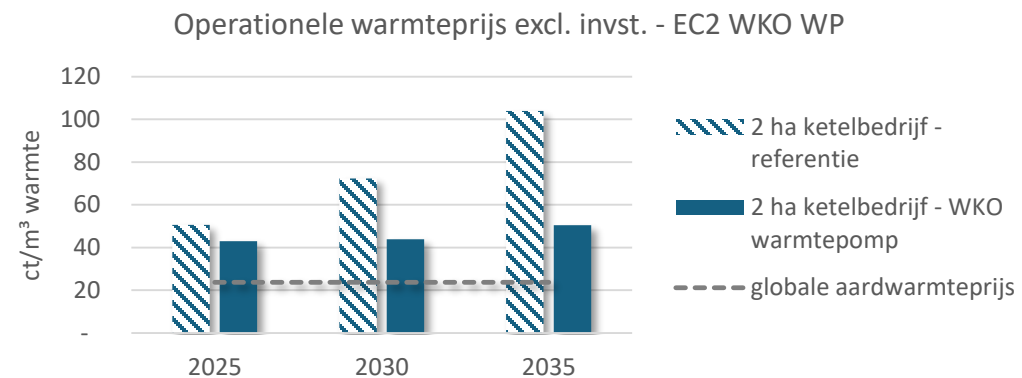
In de figuur hiernaast is het effect zichtbaar van verhoging van de retourtemperatuur van 40 °C naar 75 °C. De condensor moet bijna 9 °C omhoog om dezelfde eindtemperatuur te bereiken. Onderkoeling is niet mogelijk vanwege het kleine temperatuurverschil met de voeding.

Soortgelijke effecten treden ook aan de verdamperzijde op. Wees dus voorzichtig bij het speciëren van de uitgangspunten. Kleine fouten in de opgegeven temperatuurtrajecten kunnen grote gevolgen hebben op de COP van een warmtepomp.



*COP bij 60% rend. op Carnot  
uitgaande van een verdamper van 27 °C  
systeem 2 verbruik 14% meer elektriciteit*

## Bijlage 2: Resultaten EC2 met Zonthermie





# Bijlage 2: resultaten EC2 met Zonthermie

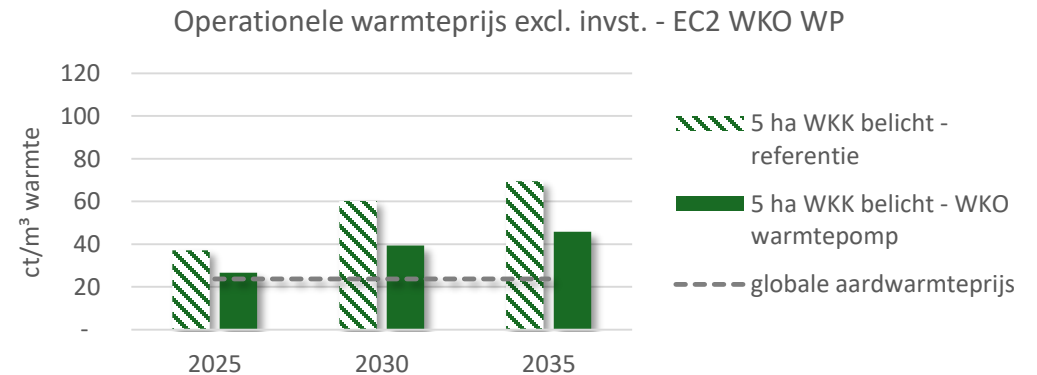
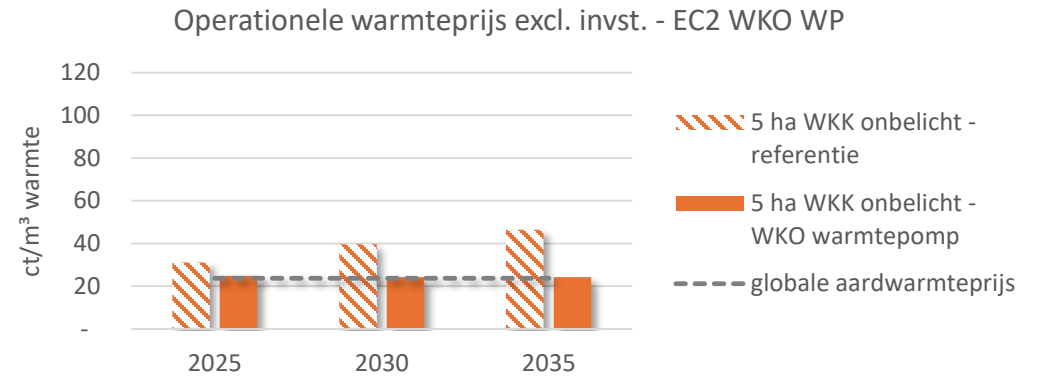
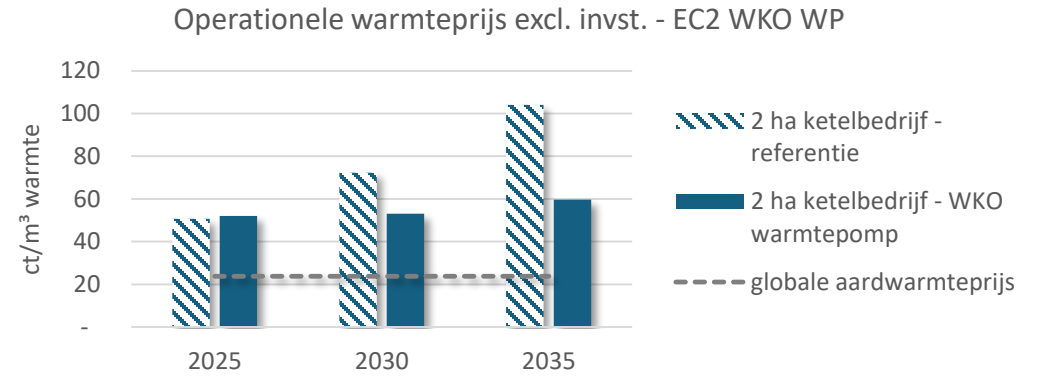
Investering WKO regeneratie		Casus 1	Casus 2	Casus 3
Investering regenereren met aquathermie	€	97.000	282.000	177.000
Investering regenereren met zonthermie	€	205.000	4.399.000	2.762.000
Investering regenereren met kaswarmte	€	600.000	1.500.000	1.500.000

Belangrijkste kenmerken EC2C1		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	79%	79%	79%
Invulling warmtevraag ketel	%	21%	21%	21%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	29.032	29.032	29.032
COP WP	/	3,9	3,9	3,9
Elektrisch vermogen WP	kW	139	139	139
Elektrisch verbruik WP	KWh	249.000	249.000	249.000
vollasturen WP	h	1.794	1.794	1.794
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	45/40	45/40	45/40
Totale investering	€	839.000	839.000	839.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	60.000	61.000	71.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	71.000	101.000	146.000
Besparingen per jaar	€/jaar	11.000	40.000	75.000
Terugverdientijd	sTVT	77	21	11
Terugverdientijd zonder subsidie	sTVT	n/a	31	13

Belangrijkste kenmerken EC2C2		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	100%	100%	100%
Invulling warmtevraag ketel	%	0%	0%	0%
Invulling warmtevraag WKK	%	0%	0%	0%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	0	0	0
COP WP	/	5,0	5,0	5,0
Elektrisch vermogen WP	kW	572	572	572
Elektrisch verbruik WP	KWh	2.636.000	2.636.000	2.636.000
vollasturen WP	h	4.605	4.605	4.605
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	36/34	36/34	36/34
Totale investering	€	7.900.000	7.900.000	7.900.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	425.000	416.000	416.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	464.000	590.000	692.000
Besparingen per jaar	€/jaar	39.000	173.000	276.000
Terugverdientijd	sTVT	201	46	29
Terugverdientijd zonder subsidie	sTVT	n/a	74	38

Belangrijkste kenmerken EC2C3		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	47%	47%	47%
Invulling warmtevraag ketel	%	0%	0%	0%
Invulling warmtevraag WKK	%	53%	53%	53%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	2.094.000	2.094.000	2.094.000
COP WP	/	5,1	5,1	5,1
Elektrisch vermogen WP	kW	297	297	297
Elektrisch verbruik WP	KWh	1.431.000	1.431.000	1.431.000
vollasturen WP	h	4.823	4.823	4.823
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	36/34	36/34	36/34
Totale investering	€	4.870.000	4.870.000	4.870.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	409.000	633.000	748.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	656.000	1.065.000	1.227.000
Besparingen per jaar	€/jaar	247.000	432.000	480.000
Terugverdientijd	sTVT	20	11	10
Terugverdientijd zonder subsidie	sTVT	23	12	11

# Bijlage 2: resultaten EC2 met Kaswarmte



# Bijlage 2: Resultaten EC2 met Kaswarmte

Investering WKO regeneratie		Casus 1	Casus 2	Casus 3
Investering regenereren met aquathermie	€	97.000	282.000	177.000
Investering regenereren met zonthermie	€	205.000	4.399.000	2.762.000
Investering regenereren met kaswarmte	€	600.000	1.500.000	1.500.000

Belangrijkste kenmerken EC2C1		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	79%	79%	79%
Invulling warmtevraag ketel	%	21%	21%	21%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	29.032	29.032	29.032
COP WP	/	3,9	3,9	3,9
Elektrisch vermogen WP	kW	139	139	139
Elektrisch verbruik WP	KWh	249.000	249.000	249.000
vollasturen WP	h	1.794	1.794	1.794
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	45/40	45/40	45/40
Totale investering	€	1.196.000	1.196.000	1.196.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	73.000	74.000	84.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	71.000	101.000	146.000
Besparingen per jaar	€/jaar	-2.000	27.000	62.000
Terugverdientijd	sTVT	n/a	44	19
Terugverdientijd zonder subsidie	sTVT	n/a	50	22

Belangrijkste kenmerken EC2C2		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	100%	100%	100%
Invulling warmtevraag ketel	%	0%	0%	0%
Invulling warmtevraag WKK	%	0%	0%	0%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	0	0	0
COP WP	/	5,0	5,0	5,0
Elektrisch vermogen WP	kW	572	572	572
Elektrisch verbruik WP	KWh	2.636.000	2.636.000	2.636.000
vollasturen WP	h	4.605	4.605	4.605
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	36/34	36/34	36/34
Totale investering	€	3.742.000	3.742.000	3.742.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	428.000	419.000	419.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	464.000	590.000	692.000
Besparingen per jaar	€/jaar	36.000	170.000	273.000
Terugverdientijd	sTVT	104	22	14
Terugverdientijd zonder subsidie	sTVT	138	25	15

Belangrijkste kenmerken EC2C3		2025	2030	2035
Invulling warmtevraag WP	%	47%	47%	47%
Invulling warmtevraag ketel	%	0%	0%	0%
Invulling warmtevraag WKK	%	53%	53%	53%
Totaal gas verbruik	m <sup>3</sup>	2.094.000	2.094.000	2.094.000
COP WP	/	5,1	5,1	5,1
Elektrisch vermogen WP	kW	297	297	297
Elektrisch verbruik WP	KWh	1.431.000	1.431.000	1.431.000
vollasturen WP	h	4.823	4.823	4.823
Aanvoertemperatuur winter/zomer	°C	36/34	36/34	36/34
Totale investering	€	2.839.000	2.839.000	2.839.000
Jaarlijkse operationele kosten	€/jaar	413.000	637.000	752.000
Jaarlijkse operationele kosten - referentie	€/jaar	656.000	1.065.000	1.227.000
Besparingen per jaar	€/jaar	243.000	428.000	476.000
Terugverdientijd	sTVT	12	7	6
Terugverdientijd zonder subsidie	sTVT	14	8	7

# Bijlage 3: toelichting energietechnieken

We behandelen zowel de bestaande technieken als de nieuwe technieken. De techniek beschrijving omvat:

- een beknopte tekstuele beschrijving van de werking, de randvoorwaarden en aandachtspunten;
- een impressie middels een foto of figuur;
- een tabel met kenmerken.

De volgende pagina bevat een overzicht van de technieken. Door te klikken op het hoofdstuk wordt je direct naar het desbetreffende hoofdstuk gebracht.

We onderscheiden drie grote groepen technieken in de glastuinbouw.

- Warmtevoorzieningen

Dit betreft systemen die gas of elektriciteit gebruiken om warmte op te wekken. In het geval van een WP hoort hier naast elektriciteit ook een warmtebron bij.

- Warmteopslag

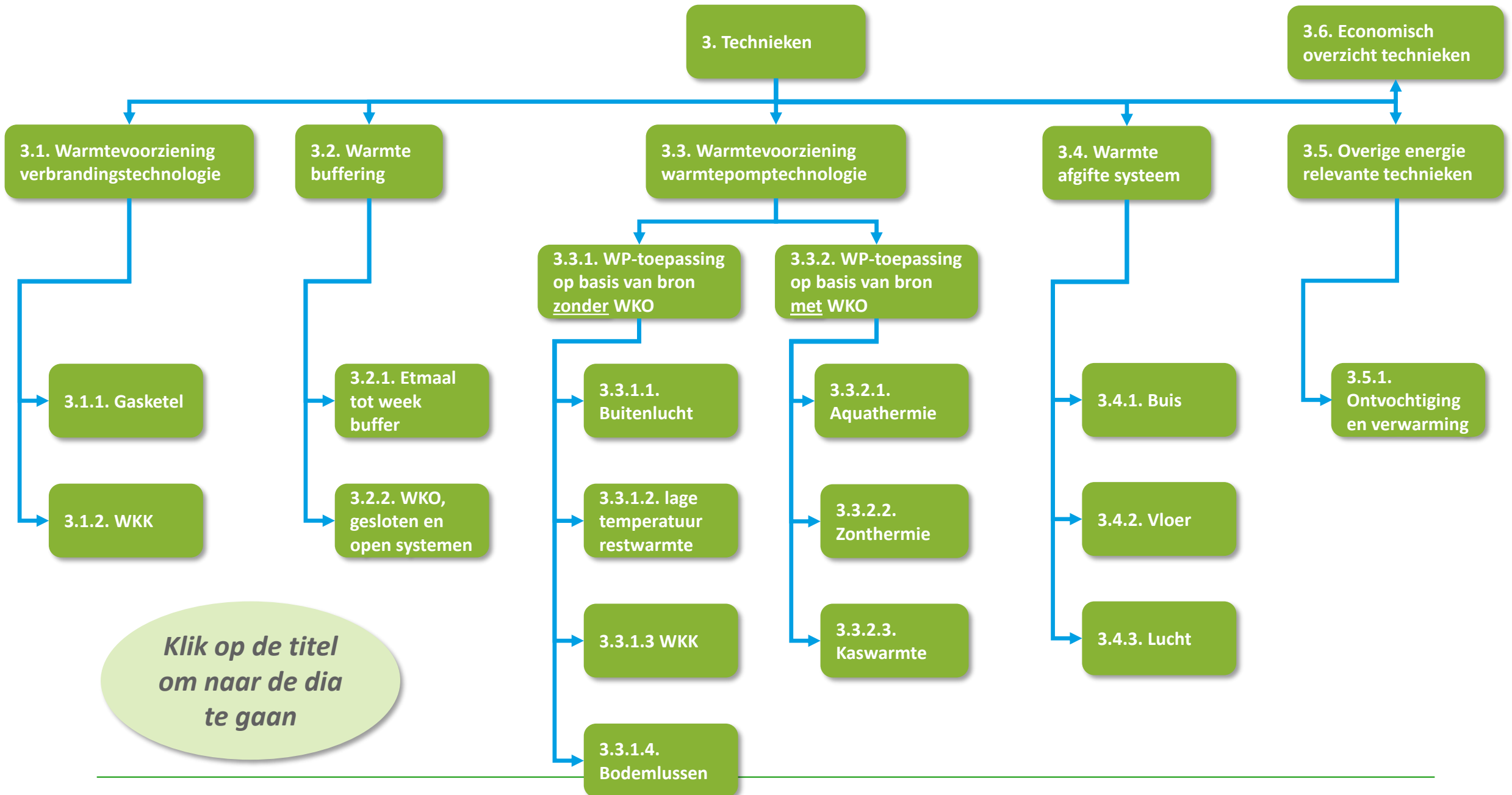
Dit betreft systemen die warmte opslaan in een tank of onder de grond.

- Warmte afgifte

Afhankelijk van het type teelt en de kas zijn er verschillende manieren om de warmte in de kas te brengen en over te dragen aan de planten.

Alle andere relevante technieken scharen we onder de laatste groep:

- Overige energie relevante technieken



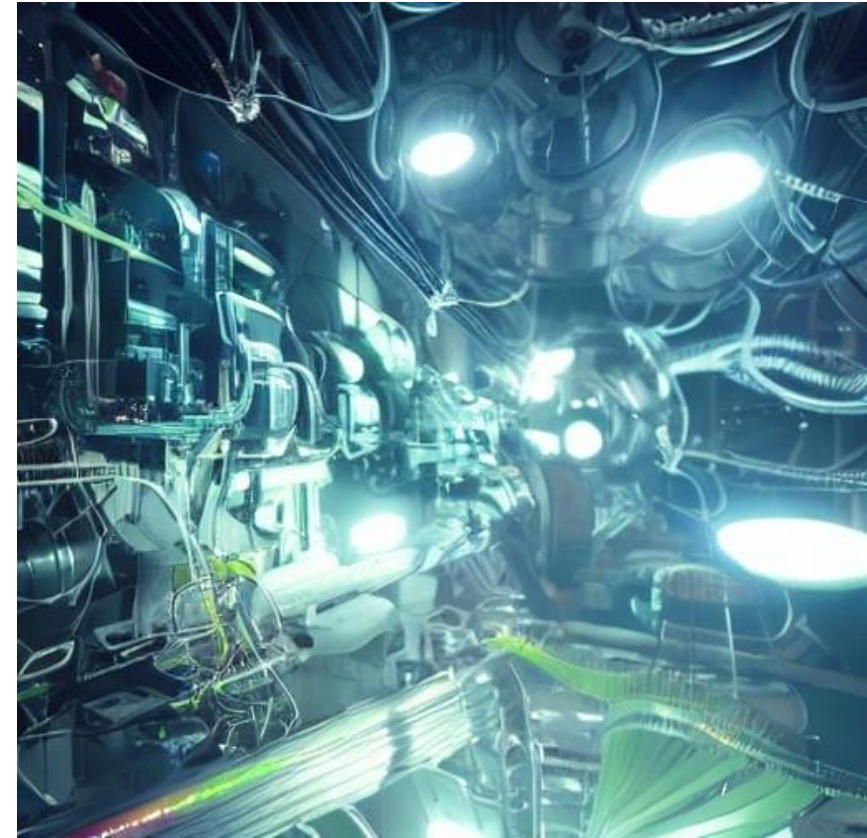
# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.1. Warmtevoorziening verbrandingstechnologie

In de glastuinbouw worden vooral aardgasgestookte ketels en gasmotoren toegepast. Er zijn een aantal experimenten geweest met biogas, hout(-chips) en bio-olie maar het aantal project is om uiteenlopende redenen zeer beperkt.

Door subsidiemechanismen is het direct gebruik van biogas minder aantrekkelijk dan het opwerken van biogas naar groen gas. De meeste leveranciers hebben een beperkte hoeveelheid gelabeld groen gas beschikbaar met een hoger tarief dan aardgas. Bovendien is de beschikbaarheid van biogas een lokaal gegeven. Daarom speelt dit in de glastuinbouw geen rol.

Behalve stikstof en fijnstof komt bij verbranding van koolwaterstoffen ook CO<sub>2</sub> vrij. Glastuinders gebruiken deze CO<sub>2</sub> als groeibevorderaar, het is voedingsstof voor de planten en noodzakelijk voor de fotosynthese. Tuinders die zonder ketels of gasmotoren willen werken moeten voor een hogere productie CO<sub>2</sub> inkopen (per buis of per as).



*Impressie van een gasmotor (gemaakt met DeepAI)*

# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.1.1. Gasketel

De glastuinbouw zet aardgasgestookte ketels in om warmte en CO<sub>2</sub> te produceren. Bij de verbranding van koolwaterstoffen komt CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> en waterdamp vrij. CO<sub>2</sub> is ongewenst vanwege het broeikas effect. De schaal waar de tuinbouw in opereert is voornamelijk te klein om lokaal CO<sub>2</sub> af te vangen en in de bodem op te slaan zoals in de grote industrie wordt voorbereid. Ketels zullen derhalve steeds meer ingezet worden als piekinstallaties of als back-up voor storingen van duurzame systemen.

Zo lang een ketel veel draaiuren maakt loont het om de warmte in de schoorsteen te benutten. Met economisers kunnen de rookgassen afgekoeld worden tot boven het dauwpunt (rond de 60 °C). Tuinders die een laagtemperatuur afgiftesysteem hebben kunnen daarnaast ook condensoren inzetten waarmee de latente warmte in de rookgassen wordt teruggewonnen. De latente warmte vertegenwoordigt circa 10% van de bovenwaarde van aardgas. Het rendement van de ketels op bovenwaarde komt met inzet van condensoren dicht in de buurt van de 100%.

Gemeengoed in glastuinbouw	Ja
Kosten zijn voornamelijk	Operationeel
Duurzaam	Enkel bij gebruik van biogas
ruimtegebruik	Laag
Impact op bedrijfsvoering	Laag
Min- en maximale technische schaal	1 KW tot 50 MW
Realisatietermijn (doorlooptijd)	½ jaar



CV-ketels glastuinbouw (foto Zantingh)

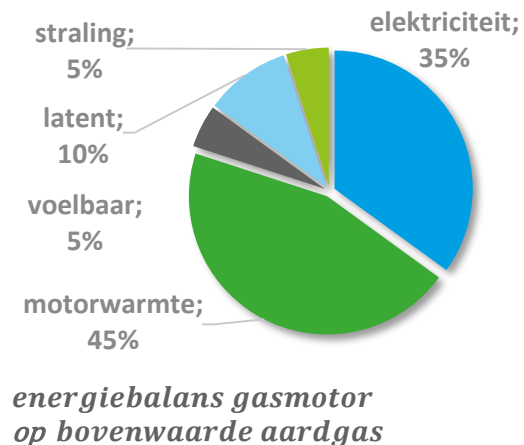
# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.1.2. WKK

De glastuinbouw zet aardgasgestookte gasmotoren in om elektriciteit, warmte en CO<sub>2</sub> te produceren. De meeste gasmotoren zitten tussen de 2 en 8 MW<sub>e</sub>. Het elektrisch rendement is rond de 38 % op bovenwaarde (42% op onderwaarde). De motorkoeling (intercooler, cilinderkoppen en olie) levert circa 45% op warmte. Het stralingsverlies is rond de 5% en de rest (10%) gaat als voelbare (3%) en latente warmte (7%) weg door de schoorsteen.

Door toepassing van een economiser en een condenser kan een belangrijk deel van de warmte in de rookgassen teruggewonnen worden. Als ook nog de warmte uit de motorruimte nuttig wordt ingezet kan het totale rendement dicht in de buurt van de 100% op bovenwaarde komen.

Gemeengoed in glastuinbouw	Ja
Kosten zijn voornamelijk	Kapitaal en operationeel
Duurzaam	Enkel bij gebruik van biogas
ruimtegebruik	Laag
Impact op bedrijfsvoering	Middel tot hoog i.v.m. inzetstrategie
Min- en maximale technische schaal	1 KW tot 50 MW
Realisatietermijn (doorlooptijd)	½ jaar





# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.2. Warmte buffering

### 3.2.1. Etmaal buffer

De warmtevraag in de glastuinbouw wisselt sterk over de dag. Zodra de zon doorkomt zijn er warmteoverschotten. Zoals bij WKK gasmotoren al jaren wordt gedaan zijn gestratificeerde buffers een uitkomst om te voorzien in de korte termijn opslagbehoefte.

Stratificatie is gebaseerd op de sterke uitzetting van water bij verwarming. Warm water is lichter per volume eenheid en blijft daarom bovenin. Om menging van het koude en warme water tegen te gaan moeten de stroomsnelheden laag zijn.

De warmtecapaciteit van een vat is ruwweg 1 kWh/m<sup>3</sup>.K. Daarbij is rekening gehouden met 10% loze ruimte voor het vullen en legen en de scheidingslaag. Een vat van 1.000 m<sup>3</sup> levert bij een 90-40 °C systeem dus een opslagcapaciteit van 50 MWh op.

Gemeengoed in glastuinbouw	Ja
Kosten zijn voornamelijk	Kapitaal
Duurzaam	Ja, tijdsafhankelijk E en W productie nee, warmteverlies
ruimtegebruik	Laag
Impact op bedrijfsvoering	Middel tot hoog i.v.m. inzetstrategie
Min- en maximale technische schaal	1 m <sup>3</sup> – 22.000 m <sup>3</sup>
Realisatietermijn (doorlooptijd)	½ jaar



Warmtebuffer – gf actueel – Ton van der Scheer

# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.2.2. WKO, gesloten en open systemen

De warmtevraag van de glastuinbouw is sterk seizoensgebonden. In de Nederlandse ondergrond zijn vrijwel overal waterdragende zandpakketten waarin warm water kan worden opgeslagen. Deze bevinden zich op 50-300 meter diepte en hebben vaak een dikte van tientallen meters.

De wetgeving onderscheidt twee vergunningstelsels : injectie onder en boven de 25 °C. Voor lage temperatuur injectie (< 25 °C) is het vergunningetraject vrij soepel mits er geen waterwinningsgebied in de buurt is. Voor hogere temperaturen moet een Milieu Effect Rapportage worden gemaakt om aan te tonen dat de lokale opslag geen effect heeft op de drinkwaterkwaliteit (bacteriële vervuiling en/of uitlogen van mineralen). In Groningen en Wieringermeer zijn dergelijke trajecten met succes doorlopen.

Naast injectietemperaturen is ook de onttrekking belangrijk. Een ATES dient over een reeks van vijf jaar energetisch in balans te zijn.

Bron verstoppingen komen helaas voor. De achterliggende oorzaken en oplossingen zijn in recente jaren onderzocht door onder andere bodemenergie Nederland. [Bodemenergie Nederland](#) heeft hier [diverse publicaties](#) over die inzicht bieden in de risico's en oplossingen.

Gemeengoed in glastuinbouw	Ja
Kosten zijn voornamelijk	Kapitaal
Duurzaam	Ja: tijdsafhankelijk optimaliseren
ruimtegebruik	Laag
Impact op bedrijfsvoering	Middel i.v.m. regeneratie, verstoppingen
Min- en maximale technische schaal	60 m <sup>3</sup> /h – 1.000 m <sup>3</sup> /h
Realisatietermijn (doorlooptijd)	1 jaar



boortoren (foto Haitjema)

# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.3. Warmtevoorziening met warmtepomptechnologie

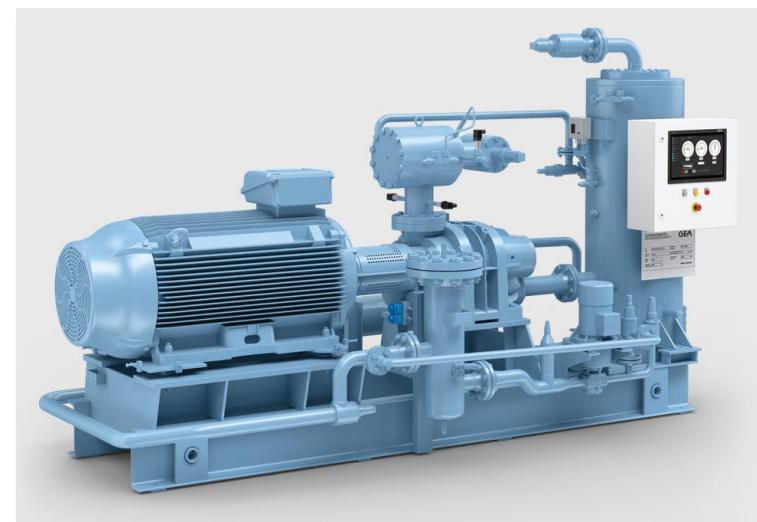
De werking van de warmtepomp is in de basis al toegelicht in Hoofdstuk 2. De belangrijkste aandachtspunten zijn:

- COP
- Koudemiddel
- Geluidsproductie
- Aantal start-stops

In de wereld van warmtepompen wordt vaak gesproken over de vermogens. Om miscommunicatie te voorkomen moet altijd vermeld worden of er gesproken wordt over het elektrische vermogen van de warmtepomp of het thermische uitgaande vermogen. Het verschil hiertussen is de COP en dit kan hierdoor gemakkelijk een factor 3 of 4 schelen.

Het versimpelen van een warmtepompinvestering naar een prijs per kWth heeft een groot nadeel. Stel we nemen twee warmtepompen die beide 1.000 kWth aan warmte produceren, de ene warmtepomp haalt dit vermogen uit een WKO van 15 °C en de ander uit een restwarmtebron van 30 °C. Uiteraard is de COP veel beter bij de restwarmtebron. Hierdoor is onder andere de elektromotor en compressor kleiner en dus goedkoper, terwijl dit niet te omvatten is in een prijs per kWth.

Gemeengoed in glastuinbouw	Ja, koelmachines
Kosten zijn voornamelijk	Kapitaal en operationeel
Duurzaam	ja
ruimtegebruik	Vergelijkbaar met WKK
Impact op bedrijfsvoering	Middel, afhankelijk van dimensionering en inzetstrategie
Min- en maximale technische schaal	Enkele kW tot 48 MW per stuk
Realisatietermijn (doorlooptijd)	½ a 1 jaar



Ammoniak warmtepomp – GEA GRASSO SP1 HP

# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.3.1. Warmtepomptoepassing op basis van bron zonder WKO

Een warmtepomptoepassing zonder Warmte-Koude Opslag (WKO) maakt gebruik van bronnen zoals buitenlucht of restwarmte of rookgassen in plaats van een warmteopslag in de bodem. Dit systeem biedt flexibiliteit en lagere investeringskosten, vooral in situaties met beperkte ruimte of uitdagende bodemcondities. Ondanks variërende efficiëntie afhankelijk van de warmtebron, is deze aanpak een duurzaam alternatief voor traditionele verwarmingssystemen, wat bijdraagt aan verminderde afhankelijkheid van fossiele brandstoffen.

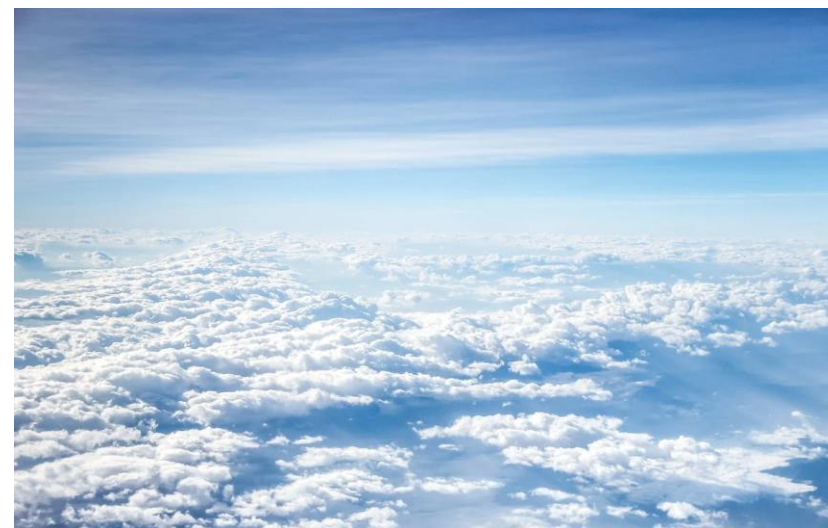
### 3.3.1.1. Buitenlucht

Een warmtepomptoepassing met buitenlucht gebruikt de omgevingslucht als warmtebron. Deze benadering vereist geen bodeminstallaties, wat kosteneffectief is. wel nemen de verdampers (de lucht-water warmtewisselaar) veel ruimte in en maken zij veel geluid. Maatregelen om het geluid te dempen zijn er maar verhogen de investering.

Buitenluchtwarmtepompen zijn verkrijgbaar als package units van enkele honderden KW of als samengesteld systeem. Als Package unit is de WP en verdampers in een behuizing ondergebracht wat standaardisatie en kosten ten goede komt. In de doorrekening is enkel gebruik gemaakt van package units.

Bij lucht-water warmtepompen is het belangrijk om te controleren bij welke condities het vermogen in kWth is bepaald (b.v.b. eurovent). Het vermogen in kWth zakt namelijk met lagere buitentemperaturen vanwege de verlaagde COP. De precieze afname verschilt per fabrikant vanwege diverse aspecten.

<b>Gemeengoed in glastuinbouw</b>	Ja
<b>Kosten zijn voornamelijk</b>	Kapitaal en operationeel
<b>Duurzaam</b>	Ja
<b>ruimtegebruik</b>	Hoog
<b>Impact op bedrijfsvoering</b>	Middel, afhankelijk van dimensionering en inzetstrategie
<b>Min- en maximale technische schaal</b>	Enkele KW tot 0,5 MW als package
<b>Realisatietermijn (doorlooptijd)</b>	½ a 1 jaar



# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.3.1.2. Lage temperatuur restwarmte

Warmtepomptechnologie met lage temperatuur restwarmte benut restwarmtebronnen met lagere temperaturen voor verwarming. Deze technologie is ideaal voor het efficiënt hergebruiken van restwarmte uit datacenters, industriële processen of afvalwater. Door deze lage temperatuur restwarmte om te zetten naar bruikbare warmte, biedt het een duurzaam alternatief voor traditionele verwarmingssystemen en draagt het bij aan energie-efficiëntie en vermindering van milieubelasting.

Lage temperatuur restwarmte is zeer locatie afhankelijk maar kan een zeer duurzame en goedkope oplossing zijn. De afgever van warmte hoeft minder kosten te maken voor het weg koelen van de warmte en de ontvanger van de warmte heeft een, mogelijk, goedkope bron van warmte. Zelfs warmte op 20 °C is al zeer nuttig, aangezien het hierbij een hogere temperatuur heeft dan wanneer het uit een WKO komt.

Vooraf de overeenkomst tussen de partijen is een lastig punt, er moet geïnvesteerd worden voor vele jaren wat direct betekent dat je vele jaren afhankelijk bent. Hierbij is ook de prijsvorming lastig, spreek je een vaste prijs af laat je deze afhangen van markt variabelen? partijen moeten vertrouwen hebben in elkaar voor een succesvol resultaat.

<b>Gemeengoed in glastuinbouw</b>	Ja
<b>Kosten zijn voornamelijk</b>	Kapitaal
<b>Duurzaam</b>	Ja
<b>ruimtegebruik</b>	Laag
<b>Impact op bedrijfsvoering</b>	Laag
<b>Min- en maximale technische schaal</b>	-
<b>Realisatietermijn (doorlooptijd)</b>	½ a 1 jaar



Foto: Stichting Warmtenetwerk

# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.3.1.3. WKK met warmtepomp

Warmtepomptechnologie met Warmte-Kracht Koppeling (WKK) biedt een geavanceerde benadering door warmtepompen te integreren met gecombineerde warmte- en krachtkoppelingen.

Het toepassen van een warmtepomp op de rookgascondensor van een warmtekrachtinstallatie omvat het gebruik van de warmte uit de rookgassen die anders verloren zou gaan. De warmtepomp onttrekt warmte aan de rookgassen via de rookgascondensor en gebruikt deze warmte om een koelvloeistof te verdampen, vergelijkbaar met hoe een warmtepomp warmte uit de lucht of de grond haalt. Deze verdampende koelvloeistof wordt vervolgens samengedrukt, waardoor de temperatuur stijgt, en de vrijgekomen warmte wordt vervolgens gebruikt voor verwarmingsdoeleinden.

Door de rookgassen af te koelen tot 20 °C kan aanzienlijk extra warmte worden gewonnen, afhankelijk van de oorspronkelijke temperatuur van de rookgassen en de efficiëntie van het warmtepompsysteem. Door de rookgassen af te koelen naar 20 °C condenseert een zeer groot deel van het vocht uit de rookgassen. Al met al kan 10% extra gas worden bespaard.

In de praktijk blijkt de economische realiteit niet zo gunstig, dit omdat de WKK vaak draait voor elektriciteitsproductie en de warmteproductie niet altijd 100% benut wordt. De extra warmte van de WKK warmtepomp is dan zinloos. Hiernaast loopt het aantal draai uren van de WKK terug waardoor er nog minder gebruik wordt gemaakt van de rookgas warmtepomp.

Gemeengoed in glastuinbouw	Ja
Kosten zijn voornamelijk	Kapitaal
Duurzaam	Ja
ruimtegebruik	Laag
Impact op bedrijfsvoering	Laag
Min- en maximale technische schaal	Afhankelijk van WKK
Realisatietermijn (doorlooptijd)	½ jaar



Foto: KasAlsEnergiebron

# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.3.1.4. Bodemlussen

Warmtepomptechnologie met bodemlussen maakt gebruik van de thermische eigenschappen van de bodem voor duurzame verwarming en koeling. In dit systeem worden buizen met een warmtegeleidend medium in de bodem geïnstalleerd, waardoor warmte wordt onttrokken voor verwarming in de winter en juist afgegeven wordt aan de bodem voor koeling in de zomer. Deze warmte uitwisseling maakt het mogelijk om efficiënt en op een milieuvriendelijke manier te verwarmen (en te koelen).

Bodemlussen worden doorgaans circa 100-200 meter diep geboord. Het aantal bodemlussen hangt af van het benodigde vermogen. Een bodemlus kan een vermogen leveren van ongeveer 5-10 kW, afhankelijk van diepte en ondergrond.

Het verwarmingsvermogen hangt onder andere af van:

- Bodemtype
- Grondwatertemperatuur
- Temperatuurverschil tussen bodem en warmtemedium

Gemeengoed in glastuinbouw	semi
Kosten zijn voornamelijk	Boring
Duurzaam	Ja
ruimtegebruik	Hoog, elke boring grofweg 5 m uit elkaar. Dubbel land gebruik is mogelijk
Impact op bedrijfsvoering	Middel. Regeneratie is belangrijk
Min- en maximale technische schaal	afhankelijk van oppervlak. Bij tientallen boringen word een WKO bron goedkoper.
Realisatietermijn (doorlooptijd)	½ jaar

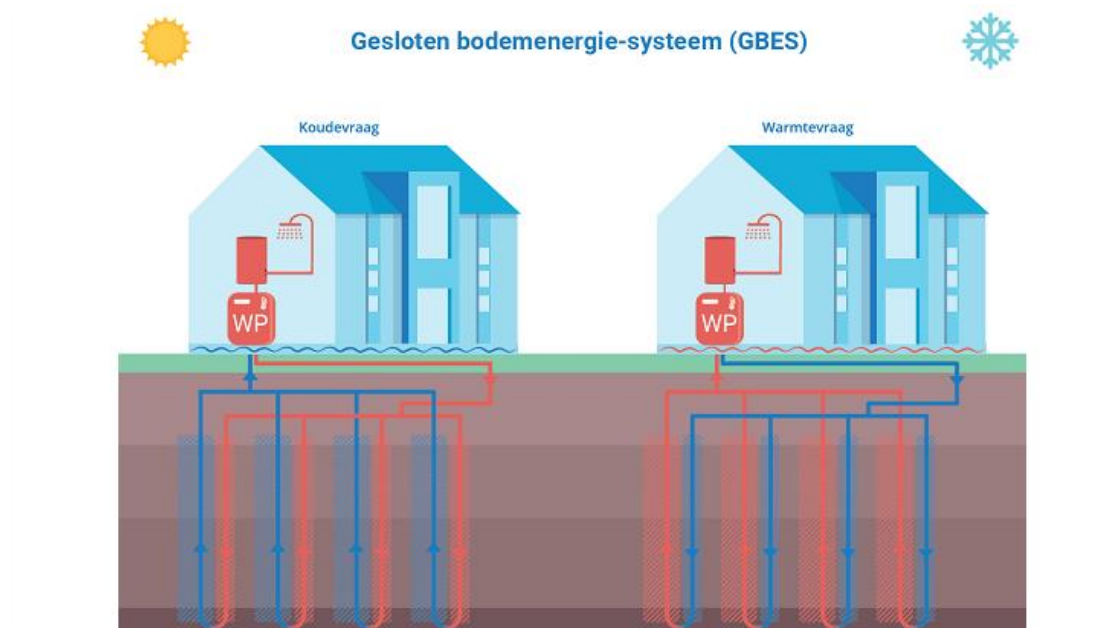


Foto: Binnenlands bestuur

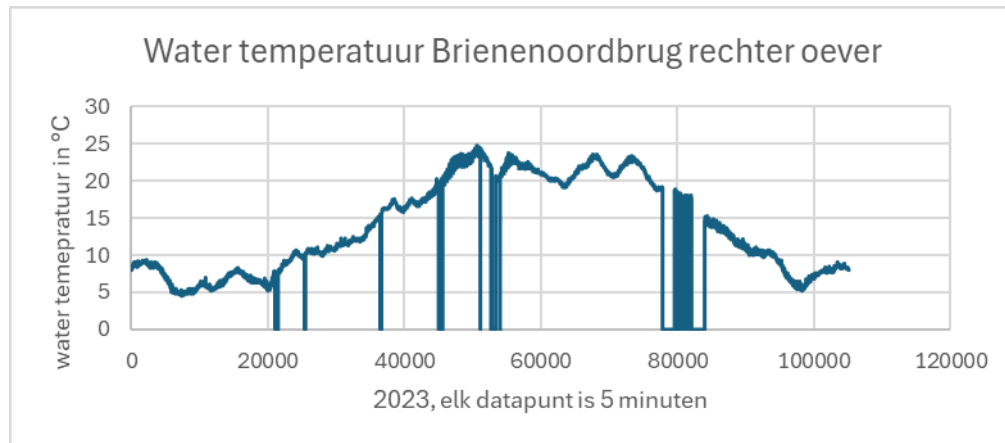
# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.3.2. Warmtepomptoepassing op basis van bron met WKO

Warmtepomptoepassing op basis van een bron met Warmte-Koude Opslag (WKO) maakt gebruik van de bodem als energieopslagmedium. Hierbij wordt warmte in de zomer opgeslagen en in de winter gebruikt voor verwarming, terwijl koude in de winter wordt opgeslagen en in de zomer voor koeling kan worden ingezet. Deze technologie maakt het mogelijk om op duurzame wijze grote hoeveelheden energie op te slaan.

### 3.3.2.1. Aquathermie

Warmtepomptechnologie met aquathermie gebruikt oppervlaktewater als duurzame warmtebron om de WKO mee op te laden. Dit wordt nog nauwelijks toegepast in de glastuinbouw. Een voorbeeldproject is Koppert Cress (zie Sheet 45). 33% van het jaar is de temperatuur van oppervlaktewater boven de 18 °C. hieronder is het temperatuurverloop van een locatie te vinden. De data is vrij verkrijgbaar via: [Rijkswaterstaat waterinfo](#).



Gemeengoed in glastuinbouw	Nee
Kosten zijn voornamelijk	Capex, echter is dagelijks/wekelijks onderhoud ook een kostenpost.
Duurzaam	ja
ruimtegebruik	Zeer laag
Impact op bedrijfsvoering	Middel tot hoog vanwege onderhoud
Min- en maximale technische schaal	Afhankelijk van grote van het waterlichaam
Realisatietermijn (doorlooptijd)	½ jaar



Bron: Koppert Cress



# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.3.2.2. Zonthermie

In feite zijn tuinbouwkassen grote zonnecollectoren. In het algemeen is er weinig ruimte voor losse zonnewarmtecollectoren. Maar er zijn wel voorbeelden van veldopstellingen en van zonnewarmtecollectoren op daken of tegen de gevel.

Zoals in het hoofdstuk over warmtepompen te lezen is leidt een hogere brontemperatuur tot lagere elektriciteitskosten. Met een Zonthermieveld kan een WKO-systeem geregenereerd worden. De temperatuur die een klassiek zonthermieveld levert is echter veel hoger dan benodigd voor de WKO. Er kan gedacht worden aan optimalisaties waarbij het zonthermieveld ook gedeeltelijk de kas direct verwarmd, waardoor de WKO kleiner kan. ook is het mogelijk een Zonthermieveld in te zetten voor MTO. Hierbij moet wel voldoende schaalgrote behaald worden, naar verwachting moeten hiervoor meerdere kassen van 5 ha gevoed worden.

Als alternatief kan gedacht worden aan zon-PVT. Dit zijn elektrische panelen waar ook warmte mee wordt opgewekt. De panelen zijn duurder maar naast de dubbelfunctie is het elektrisch rendement door de koeling 5-10% hoger.

Een nieuwe ontwikkeling is de [Hortizon van Devisieng](#), een zonthermiepaneel dat geoptimaliseerd is voor de glastuinbouw. Het paneel is nog in ontwikkeling.

Gemeengoed in glastuinbouw	nee
Kosten zijn voornamelijk	Kapitaal
Duurzaam	ja
ruimtegebruik	Hoog, <a href="#">per 4ha kas 1,5ha zonthermie.</a>
Impact op bedrijfsvoering	middel
Min- en maximale technische schaal	-
Realisatietermijn (doorlooptijd)	½ - 1 jaar



Vlakkeplaat collector - Technea

# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.3.2.3. Kaswarmte

Kaswarmtewinning ofwel via een lucht-water warmtewisselaar is een methode binnen de glastuinbouw om warmte uit de kas te oogsten. We bedoelen hier een simpel systeem dat de kaslucht koelt door water te verwarmen. Het werkt als volgt. De warme kaslucht geeft zijn warmte af aan een water circuit via een koelblok (een warmtewisselaar). Afhankelijk van de temperaturen en het vochtpercentage condenseert een deel van het vocht uit de kaslucht. De koudere lucht wordt de kas in geblazen en mengt met de aanwezige warmere (en vochtigere) lucht. Het netto effect is koeling van de kaslucht en verwarming van het water. afhankelijk van de temperaturen en het vochtpercentage tredt er ook ontvochtiging op.

Naast dit systeem zijn er vergelijkbare systemen die gericht zijn op ontvochtiging en verwarming. Zie voor deze systemen Sheet 89.

De lucht-water warmtewisselaar maakt het mogelijk om de temperatuur van de kaslucht te reguleren, waardoor een optimaal groeiklimaat voor gewassen wordt gehandhaafd. Ook maakt dit systeem het mogelijk om een WKO te regenereren in de zomer.

Dit systeem draagt bij aan duurzame landbouwpraktijken door het maximaliseren van energie-efficiëntie en het verminderen van de behoefte aan externe verwarmingsbronnen. Het verbetert vaak de kwaliteit van de teelt. Bovendien vermindert het de CO<sub>2</sub>-uitstoot, wat gunstig is voor het milieu. Dit werkt dubbel: enerzijds omdat het een energiebesparing betreft, anderzijds omdat er minder CO<sub>2</sub> aan de kas moet worden toegevoegd omdat de ramen gesloten worden.

Gemeengoed in glastuinbouw	Ja
Kosten zijn voornamelijk	Capex en opex
Duurzaam	ja
ruimtegebruik	Laag, plaatsing in de kas
Impact op bedrijfsvoering	Laag
Min- en maximale technische schaal	Geen limitaties
Realisatietermijn (doorlooptijd)	½



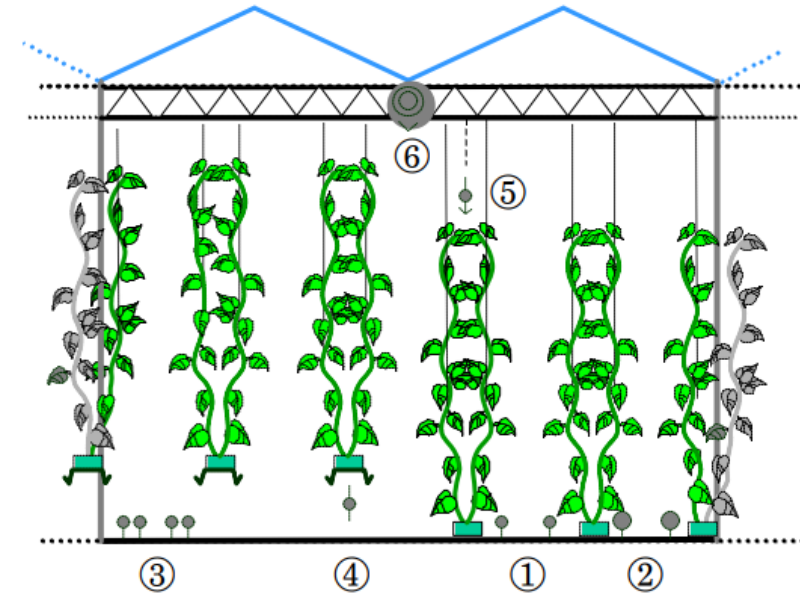
Foto: BlueTerra

# Bijlage 2: nadere toelichting energietechnieken

## 3.4. Warmte afgifte systeem

### 3.4.1. Buis

Buisverwarmingssystemen komen zeer veel voor in de glastuinbouw. Een buisverwarmingssysteem maakt gebruik van een netwerk van buizen die langs de grond, langs de gewassen of bovenin de kas lopen. Warm water, klassiek afkomstig van een ketel of een WKK, circuleert door deze buizen. De warmte wordt gelijkmatig afgegeven aan de omgeving, waardoor de temperatuur in de kas op een optimaal niveau wordt gehouden voor de groei van gewassen. Dit systeem wordt vaak gebruikt om vorst te voorkomen, de groeiseizoenen te verlengen of om specifieke klimatologische omstandigheden te creëren die gunstig zijn voor bepaalde gewassen. In tegenstelling tot een buisrailsysteem, dat zich richt op het verplaatsen van gewassen en karren, is een groeibuis gericht op het leveren van warmte direct aan de wortels van de planten voor optimale groei. Er zijn meerdere varianten van de buisverwarming (zie figuur).



Positie van een 6-tal collectornetten in een tuinbouwkas. De linker drie gewasrijen laten de situatie met hangende teeltgoten zien. De rechter drie gewasrijen tonen de lay-out van een standaard kasinrichting voor hoog opgaande gewassen.

Verklaring van de nummering:

1. Tweeledig gebruik van het standaard 51-mm buisrailnet
2. Tweeledig gebruik van een verruimd buisrailnet (70-mm)
3. Tweeledig gebruik van een dubbel uitgevoerd 51 mm buisrail-net
4. Speciaal collectornet van langsgevinde buis onder hangende teeltgoten
5. Speciaal collectornet van langsgevinde buis (onder condensgoot) boven het gewas
6. Speciaal collectornet van dwarsgevinde buis onder de goot

Bron: Wageningen UR

<b>Gemeengoed in glastuinbouw</b>	Ja
<b>Kosten zijn voornamelijk</b>	Opex
<b>Duurzaam</b>	-
<b>ruimtegebruik</b>	Hoog maar essentieel voor de teelt
<b>Impact op bedrijfsvoering</b>	-
<b>Min- en maximale technische schaal</b>	-
<b>Realisatietermijn (doorlooptijd)</b>	½

# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.4.2. Vloer

Betonvloerverwarming in de glastuinbouw is een systeem waarbij warm water door buizen in de betonvloer wordt geleid om de kassen te verwarmen. Dit systeem zorgt voor een gelijkmatige en efficiënte verspreiding van warmte, wat cruciaal is voor het handhaven van optimale groeiomstandigheden voor planten. De betonvloer is niet geschikt voor de teelt op tafels.

De betonvloer fungeert als een thermische massa die warmte opslaat en geleidelijk afgeeft aan de omgeving, waardoor temperatuurschommelingen worden geminimaliseerd. Dit resulteert in een stabiel klimaat dat gunstig is voor de groei van gewassen. Ook maakt een betonvloerverwarming in combinatie met een ruim temperatuur setpoint (bijvoorbeeld 20-22 °C) het mogelijk om het moment van verwarmen te verplaatsen naar een geschikt moment.

Een belangrijk voordeel van betonvloerverwarming in de glastuinbouw is de mogelijkheid om op lage temperatuur te verwarmen, wat uiteindelijk kan resulteren in lagere kosten.

Het nadeel van vloerverwarming is dat het traag kan reageren wat de regeling uitdagender maakt.

Een betonvloer kan ook worden gebruikt om warmte te oogsten in de zomermaanden voor regeneratie van een WKO-systeem.

<b>Gemeengoed in glastuinbouw</b>	Ja
<b>Kosten zijn voornamelijk</b>	Opex
<b>Duurzaam</b>	Ja
<b>ruimtegebruik</b>	Laag
<b>Impact op bedrijfsvoering</b>	Laag en mogelijk verruimend
<b>Min- en maximale technische schaal</b>	Geen
<b>Realisatietermijn (doorlooptijd)</b>	½ jaar

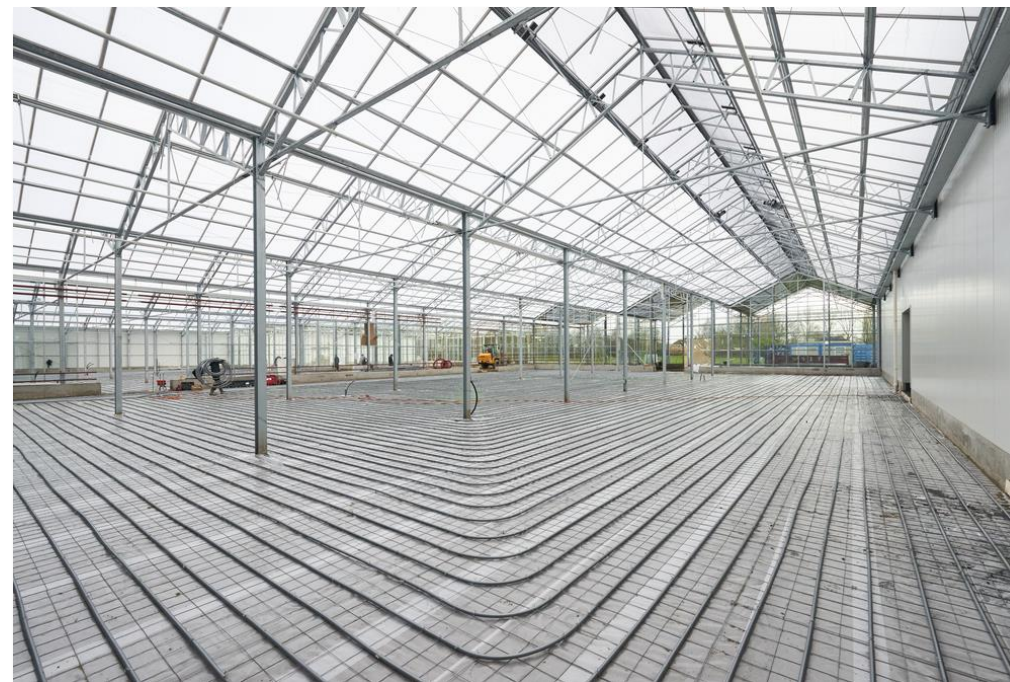


Foto: Azer Vloerverwarming

# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.4.3. Luchtverwarming

Naast buisverwarming en vloerverwarming kan de kas ook worden verwarmd via de lucht. Dit worden heteluchtkachels, luchtverwarmers of gestookte heaters genoemd. Heteluchtkachels worden voornamelijk gebruikt in kassen en folietunnels als een traditionele kasverwarmingsinstallatie financieel niet haalbaar is.

Bij gasgestookte luchtverwarmers wordt de warmte direct aan de lucht in de kas afgegeven. Brandstof wordt verbrand in een verbrandingskamer en de resulterende warmte wordt inclusief rookgas via ventilatoren door de kas verspreid.

Indirect gestookte luchtverwarmers worden vaak gebruikt in situaties waarbij een schonere lucht en een meer geleidelijke warmteafgifte gewenst zijn, of als er een centrale gasketel is die meerdere luchtverwarmers kan voeden.

Gemeengoed in glastuinbouw	Ja
Kosten zijn voornamelijk	Opex
Duurzaam	Enkel bij groengas
ruimtegebruik	Laag
Impact op bedrijfsvoering	Laag
Min- en maximale technische schaal	Geen beperkingen
Realisatietermijn (doorlooptijd)	>½ jaar



Gasgestookte luchtverwarmer. Foto: Holland Heater

# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## 3.5. Overige energie relevante technieken

### 3.5.1. Ontvochtiging en verwarming

Ontvochtiging en verwarming van een kas zijn essentiële aspecten om een optimaal groeiklimaat voor gewassen te handhaven. Hier zijn verschillende technieken voor, van lokale luchtdrogers die in de kas hangen (zogenaamde stekkerontvochtigers) tot grotere luchtbehandelingskasten met luchtslangen die bevestigd zijn aan de kaswand.

Het meest voorkomende systeem is standalone ontvochtiging zonder warmteopslag, ookwel de stekkerontvochtigers genoemd of condensatiedroger. Hiernaast bestaat er geïntegreerde ontvochtiging met warmteopslag. Geïntegreerd of standalone betreft de integratie in het bestaande verwarmingssysteem. De luchtontvochtigers die standalone ofwel lokaal werken zijn niet aangesloten op een warmte of koude leiding. Dat betekent dat ze niet gebruikt kunnen worden om kaswarmte te oogsten en op te slaan. Het geïntegreerde systeem is wel aangesloten op een koude en warmte leiding. De twee systemen werken als volgt.

1. Standalone ontvochtiging zonder warmteopslag  
Dit systeem werkt met warmte en koude die gegenereerd wordt door een warmtepomp. De kaslucht wordt afgekoeld tot onder het dauwpunt waardoor het vocht in de lucht gaat condenseren. De onttrokken warmte wordt, samen met de energie uit de compressor van de warmtepomp, afgegeven aan de gekoelde kaslucht. Netto levert dit een lager vochtgehalte en een hogere temperatuur op.

2. Geïntegreerde ontvochtiging met warmteopslag  
Dit zijn ontvochtigers die hetzelfde werkingsprincipe hebben echter komt de warmte uit het centrale verwarmingssysteem en de koude uit een nieuw aan te leggen koudenet. Wanneer er een buffer geplaatst wordt in zowel het verwarmingssysteem en het koudenet treden voordelen op:
  - a) De mate van ontvochtiging kan los gekoppeld worden van verwarming. Ontvochtiging met (beperkte) koeling is dus ook mogelijk.
  - b) Het genereren van warmte en koude kan met verschillende bronnen gedaan worden. Een warmtepomp is hier echter zeer geschikt voor aangezien het zowel warmte als koude opwekt.
  - c) De onttrokken warmte aan de kaslucht kan het verwarmingssysteem in. Hierdoor kan er gekozen worden welk afgiftesysteem de warmte afgeeft; de vloer, buisverwarming of luchtverwarming.
  - d) De productie van warmte en koude is losgekoppeld van het gebruik van warmte en koude door de buffers. Hiermee kan er gemakkelijk gekozen worden op welk moment de productie plaats gaat vinden. In geval van een warmtepomp betekent dit dat de WP kan draaien op de goedkoopste uren terwijl de teelt constant geconditioneerd wordt naar wens.

Op de volgende dia is de werking visueel toegelicht.

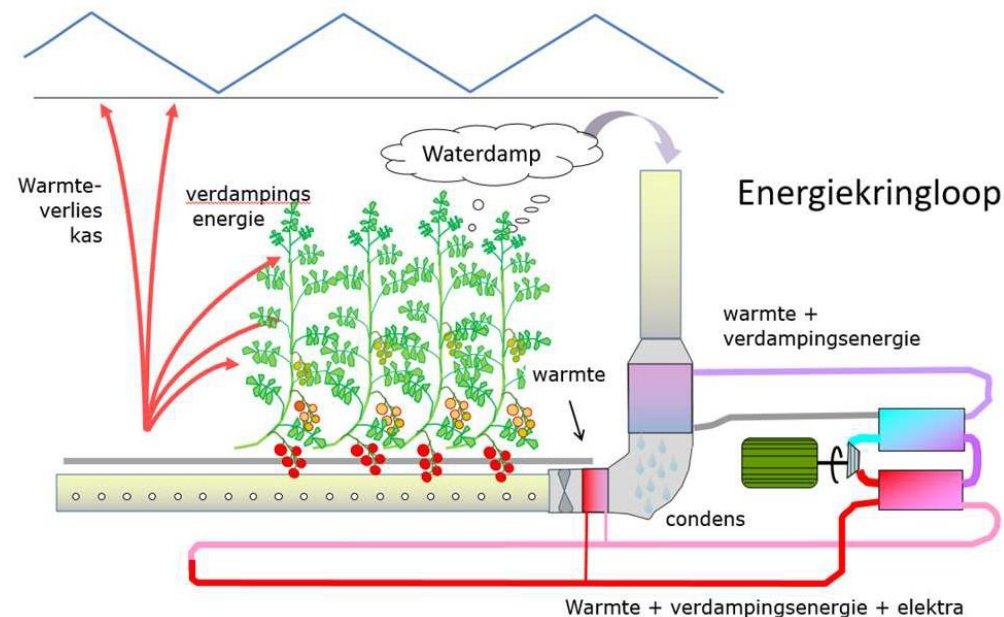
# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## Schematische werking ontvochtiging en verwarming

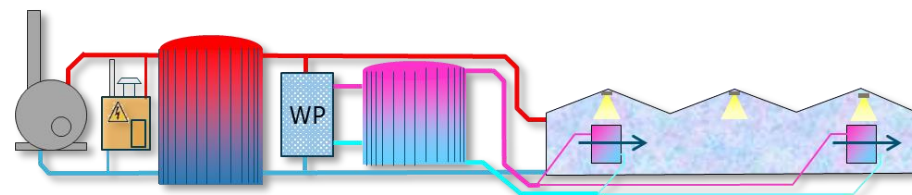
Rechts is de energiekringloop van een standalone ontvochtiging systeem zonder warmteopslag getoond. Wanneer we het warme circuit van de warmtepomp, de rode leiding, en het koude circuit, de lila/paarse leiding, aan een buffer koppelen verkrijgen we het geïntegreerde ontvochtiging systeem met warmteopslag. Deze is in het energieconcept eronder getoond.

## Belangrijke aspecten bij ontvochtiging, los van de twee type systemen

- Ontvochtiging in de kas betekent dat de kas minder vaak of niet open hoeft waardoor het gemakkelijker is om warmte in de kas te houden en de CO<sub>2</sub>-vraag omlaag te brengen. Ook kunnen schermen vaker dicht en kunnen er meer of dichtere energieschermen gebruikt worden.
- De noodzaak om te ontvochtigen treedt op door verdamping van het gewas. Dit gebeurt als er licht op de planten valt. Dit betekent dat een onbelichte teelt in de winter een lage behoefte heeft aan ontvochtiging en dus is de potentiële te oogsten warmte ook laag. Een belichte teelt heeft door het kunstlicht in de winter een hoge behoefte aan ontvochtiging, waardoor de potentiële te oogsten warmte ook hoog is. Dit gaat goed samen met het sluiten van de kas, waardoor de warmte vraag beperkt wordt. Verder heeft het type teelt ook veel invloed op de mate van verdamping.
- De efficiëntie wordt voor een groot deel bepaald door de setpoints, ontvochtiging naar 82% luchtvochtigheid is minder efficiënt per liter dan ontvochtiging naar 85% luchtvochtigheid.



Presentatie ontvochtiging Fije de zwart WUR



Energieconcept EC3C3

# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## Standalone ontvochtiging zonder warmteopslag

Rekenvoorbeelden zijn lastig te creëren aangezien er vele afhankelijkheden zijn die de terugverdientijd beïnvloeden. Hierbij kan gedacht worden aan alle aspecten die in dit rapport voorbij zijn gekomen, zoals de elektriciteitsprijs en de dimensionering. Specifiek voor dit systeem zijn de volgende aspecten belangrijk.

- **Klimaatregeling:** wordt het systeem ingezet om energie te besparen of ook voor optimalisatie van de teelt? Bij energiebesparing gaat de kas (verder) dicht en wordt er ontvochtigd naar een vergelijkbare relatieve luchtvochtigheid. Bij teelt optimalisatie wordt er naar een lager vochtpercentage ontvochtigd wat een hoger energieverbruik met zich mee brengt.
- De efficiëntie van de unit verandert met het relatieve vochtigheidspercentage en de temperatuur. Dit is variabel in de tijd.
- Naast de efficiëntie van de unit verschilt ook de totale behoefte aan ontvochtiging per teelt en bedrijf.
- Omdat ontvochtigen het mogelijk maakt om langer de kas dicht te houden is er een besparing op de inzet van andere warmtebronnen, deze besparing is significant en sterk afhankelijk van bedrijf tot bedrijf.

<b>Gemeengoed in glastuinbouw</b>	Ja
<b>Kosten zijn voornamelijk</b>	Opex
<b>Duurzaam</b>	Ja
<b>ruimtegebruik</b>	Laag
<b>Impact op bedrijfsvoering</b>	Middel, optimaal aansturen en regelen bepaalt de kostenbesparing
<b>Min- en maximale technische schaal</b>	Enkele kW tot tientallen kW per unit, hierna parallel.
<b>Realisatietermijn (doorlooptijd)</b>	½ jaar



Ontvochtiger. Foto: Drygair



# Bijlage 3: nadere toelichting energietechnieken

## Geïntegreerde ontvochtiging met warmteopslag

In EC3 is dit systeem doorgerekend voor de drie bedrijfstypes. Een verdere versimpeling is niet mogelijk aangezien het een complex systeem betreft dat zeer teelt en bedrijf specifiek is. de aandachtspunten bij het ontwerp en dimensionering zijn:

1. Hoeveel verdampt de teelt en wanneer? Dit bepaalt in grote mate of het systeem genoeg warmte kant oogsten voor verwarming.
2. Welk vochtpercentage is gewenst bij welke temperatuur? Dit heeft effect op de installatie grote en efficiëntie.
3. Wordt de installatie hoofdzakelijk voor ontvochtiging uitgelegd of ook gedeeltelijk voor koeling? Dit laatste betekent een grotere installatie.
4. De dimensioneringsaspecten die allemaal in verband staan met elkaar:
  - a) bijstook van een ketel of niet
  - b) Warme buffer en koude buffer grote
  - c) grote van de WP t.o.v. van de warmtevraag (ofwel in hoeveel uur kan de WP de maximale warmtevraag invullen?)
5. Aanleg koudenet en andere benodigde zaken zoals een tweede scherm en een netaansluiting.

<b>Gemeengoed in glastuinbouw</b>	Ja
<b>Kosten zijn voornamelijk</b>	Capex en opex
<b>Duurzaam</b>	Ja
<b>ruimtegebruik</b>	Hoog vanwege extra buffer en koudenet + de ventilatie installatie
<b>Impact op bedrijfsvoering</b>	Hoog, compleet andere manier van telen met uiteenlopende gevolgen
<b>Min- en maximale technische schaal</b>	Geen limitatie
<b>Realisatietermijn (doorlooptijd)</b>	1 jaar



Ontvochtiger. Foto: Van Dijk Heating AVS-C

# Bijlage 4: economische uitgangspunten

## 3.6. Economisch overzicht technieken

Er zijn diverse investeringsgetallen verzameld die hieronder, en op de volgende dia's, getoond zijn. De meest gebruikte bronnen betreffen:

- KWantitatieve INformatie (KWIN) voor de Glastuinbouw.
- SDE++ publicatie van PBL 2023.
- Informatie uit de praktijk. Dit betreffen leveranciers, adviseurs en telers die gecontacteerd zijn tijdens het maken van dit rapport.
- Diverse onderzoeken van de WUR.

Soms spreken bronnen elkaar tegen, we hebben hier getracht getallen te gebruiken die het meest representatief zijn voor de glastuinbouw. Vaak is gekozen voor recente cijfers uit de praktijk.

Voor afschrijving is geen gebruik gemaakt van de genoemde informatie in de tabellen. De vaste en variabele onderhoudskosten zijn, met uitzondering van de WKK, wel gebruikt waar beschikbaar.

De prijzen zijn gebaseerd op een zo volledig mogelijk systeem exclusief montage op locatie. Hiervoor is los 30% van de investering gerekend.

De economische kenmerken zijn in veel gevallen sterk afhankelijk van de schaalgrootte: een warmtepomp van driemaal zo groot is grofweg de helft zo duur. De schaalgrote is zo gekozen dat ze overeenkomen met ofwel de huidige situatie van de drie type bedrijven, ofwel de toekomstige.

### Warmtevoorziening verbrandingstechnologie

Gasketel			WKK		
Schaalgrootte	MWth	3	Schaalgrootte	MWth	3
Investeringskosten	€	43.333	Investeringskosten	€/MW	711.667
Afschrijving	%	5%	Afschrijving	h	60.000
Onderhoudskosten vast	€/jaar	1%	Onderhoudskosten vast	%	1%
Onderhoudskosten variabel	€/MWh, €/uur		Onderhoudskosten variabel WKK& RG	€/MWh	16
Bron/opmerking	KWIN, p 55		Bron/opmerking	KWIN, p 55. incl. RG en RG analyse	

# Bijlage 4: economische uitgangspunten

## Warmte buffering

### Etmaal tot week buffer

Schaalgrootte	ha   m <sup>3</sup>	200 m <sup>3</sup>	5ha   1.000 m <sup>3</sup>	5ha   2.000 m <sup>3</sup>
Investeringskosten	€/m <sup>3</sup>	500	225	150
Afschrijving	%	5%	5%	5%
Onderhoudskosten vast	€/jaar	2%	2%	2%
Onderhoudskosten variabel	€/MWh, €/uur			
Bron/opmerking		KWIN, zonder fundering	KWIN, zonder fundering	KWIN, zonder fundering

### WKO, open systemen - prijs gebaseerd op een doublet.

Schaalgrootte	m <sup>3</sup> /hr	60	120	200	400
Investeringskosten	€	200.000	148.500	480.000	900.000
Afschrijving	%	7%	7%	7%	7%
Onderhoudskosten vast	%	3%	3%	3%	3%
Onderhoudskosten variabel	€/MWh, €/uur				
Bron/opmerking		Praktijk	KWIN	KWIN	KWIN

# Bijlage 4: economische uitgangspunten

## Warmtevoorziening met warmtepomptechnologie

### Warmtepomptoepassing op basis van bron zonder WKO

#### Buitenlucht - prijs gebaseerd op compleet WP systeem (verdampers, WP, leidingwerk etc)

Schaalgrootte	MWth	0,5	0,75	0,185
Investeringskosten	€/kW	1.706	333	597
Afschrijving	%	7%		
Onderhoudskosten vast	€/kW/jaar	45		15,8
Onderhoudskosten variabel	€/kWh	0,05		2%
Bron/opmerking		PBL SDE++, P60	Praktijk, 30% is leidingen en e-aansluiting	praktijk, incl +30% voor leidingen en e-aansluiting

#### lage temperatuur restwarmte - compleet WP systeem

#### WKK - compleet WP systeem (rookgascondensator, WP, etc)

Schaalgrootte	MWth   m/kWth	12   0,1 - 0,2	MWth	1,5
Investeringskosten	€/kW	1.115	€/MW	167
Afschrijving	%	7%	%	
Onderhoudskosten vast	€/kWth/jaar	52	€/jaar	
Onderhoudskosten variabel	€/kWth	0,03	€/MWh, €/uur	
Bron/opmerking		PBL p 209	bron / opmerking	Praktijk

# Bijlage 4: economische uitgangspunten

Bodemplussen excl warmtepomp				
Schaalgrootte	kWth	500		
Investeringskosten	€/kW	630		
Afschrijving	%	7%		
Onderhoudskosten vast	€/jaar	-		
Onderhoudskosten variabel	€/MWh, €/uur	-		
Bron/opmerking		TVVL, JGRI		

water-water WP				
Schaalgrootte	MWth	8 MWth	0,5 MWth	1,5 MWth
Investeringskosten	€/kW	349	300	133
Afschrijving	%	7%	7%	7%
Onderhoudskosten vast	€/kWth/jaar	16	14	6
Onderhoudskosten variabel	€/kWth	0,008	0,007	0,0032
Bron/opmerking		PBL SDE++ p209	Praktijk	Praktijk

# Bijlage 4: economische uitgangspunten

WP-toepassing op basis van bron met WKO					
Aquathermie, compleet systeem inclusief WKO en WP				Aquathermie, enkel water onttrekking en aanvoer	
Schaalgrootte	MWth	0,88 MWth	0,63 MWth	m3/hr	200
Investeringskosten	€/kWth	2.217	988	€/m3/hr	970
Afschrijving	%	7%	7%	%	7%
Onderhoudskosten vast	€/kWth/jaar	37	28	€/jaar	6.000
Onderhoudskosten variabel	€/MWh	52,80	41,30		
Bron/opmerking		PBL SDE++, P54	PBL SDE++, P57. 1 afnemer, met WKO en WP		WarmingUP, Aquathermie configuraties
Zonthermie - zonneveld en opslagtank					
Schaalgrootte	MWth   m2 veld	0,14	1		
Investeringskosten	€/kwp	544	435		
Afschrijving	%	7%	7%		
Onderhoudskosten vast	€/kwp/jaar	2	4		
Onderhoudskosten variabel	€/MWh	1,90	1,90		
Bron/opmerking		PBL SDE++, p84	PBL SDE++, p84		

# Bijlage 4: economische uitgangspunten

Kaswarmte : lucht-water warmtewisselaar			
Schaalgrootte	5 ha	5 ha	5 ha
Investeringskosten	€/m2	30	40
Afschrijving	%	7%	7%
Onderhoudskosten vast	€/jaar	-	-
Onderhoudskosten variabel	€/MWh, €/uur	-	-
Bron/opmerking		Praktijk, & OPAC data	Praktijk, & OPAC data

# Bijlage 4: economische uitgangspunten

## Warmte afgifte systeem

Buis - investeringskosten voor verdubbeling 51'ers van 5 naar 10 buizen per 4m kap.

aantal buizen extra		5
Investeringskosten	€/m2	8
Afschrijving	%	5%
Onderhoudskosten vast	%	0,5
Onderhoudskosten variabel		
Bron/opmerking		KWIN p 56

## Overige energie relevante technieken

Ontvochtiging en koeling - drygair DG12EU

Ontvochtiging, condensatie en warmteogst

Schaalgrootte	stuk	1	Schaalgrootte	10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /uur	15 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /uur
Investeringskosten	€	27.000	Investeringskosten €/m2	30	40
Afschrijving	%	12,5%	afschrijving		
Onderhoudskosten vast		5,0%	Onderhoudskosten vast		
Onderhoudskosten variabel			Onderhoudskosten variabel		
Bron/opmerking		KWIN	bron / opmerking	Van Dijk heating	Van Dijk heating