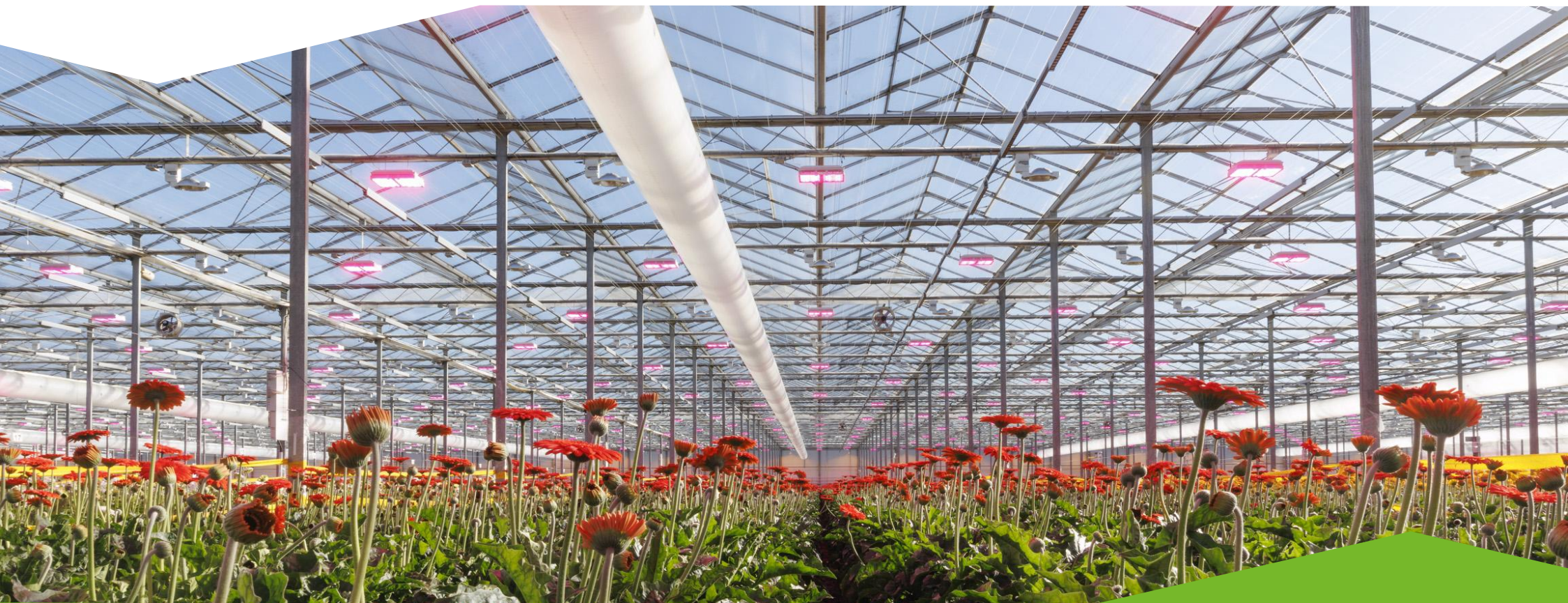




**KAS ALS
ENERGIEBRON**



Potentie en inpassing MTO in de glastuinbouwsector

Een handboek

DATUM | 6 maart 2026

OPDRACHTGEVER | Glastuinbouw Nederland en TKI Watertechnologie

STATUS | DEFINITIEF



Datum

6 maart 2026

WEBSITE

www.glastuinbouwnederland.nl

E-MAIL

info@glastuinbouwnederland.nl

TELEFOON

+31 88 520 04 00

KENMERK

30067-1715444

IN OPDRACHT VAN

Glastuinbouw Nederland en TKI

Watertechnologie

CONTACTPERSOON

Glastuinbouw Nederland: Liesanne Wieleman

KWR: Martin van der Schans

UITGEVOERD DOOR

Bob Fennis (BlueTerra)

David Verster (BlueTerra)

Stijn Beernink (KWR)

Gilian Schout (KWR)

Bart van Meurs (Division Q)

KWALITEITSBORING

Jeroen Larrivee (BlueTerra)

Pim van Dijk (BlueTerra)

Niels Hartog (KWR)

Potentie en inpassing MTO in de glastuinbouwsector

Een handboek

TKI project

In 2024 is een consortium onder leiding van KWR Water een TKI innovatieproject gestart. Doel is om te werken aan het wegnemen van beleidsmatige en technische belemmeringen voor grootschalige toepassing van middelhoge temperatuur opslag in de ondergrond (MTO).

Dit consortium is gestart met de volgende partijen: KWR Water BV, Anthura BV, Stichting Kennis in je Kas, Normec Groen Agro Control, BlueTerra Energy Experts, DivisionQ, Provincie Zuid-Holland. Later zijn nog meer partners aangehaakt. Dit handboek is een onderdeel van het project.



Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1 Introductie	6
1.1 Wat is een open bodemenergiesysteem?	8
1.2 Componenten MTO	9
2 Analyse haalbaarheid en kostprijs	10
2.1 Methode: modelopzet en beschrijving uitgangspunten	10
2.2 Analyse simulatie bodemenergiesysteem ondergrond	12
2.3 Analyse simulatie energiesysteem bovengrond	13
2.4 Kostprijs MTO warmte	16
2.5 Discussie en conclusies haalbaarheid	18
3 Stappenplan: van concept naar implementatie	20
3.1 Fase 1: Verkenning en Ideeontwikkeling	20
3.2 Fase 2: Haalbaarheidsstudie en Randvoorwaarden	21
3.3 Fase 3: Vergunningstraject en Gedetailleerd Ontwerp	21
3.4 Fase 4: Investeringsbeslissing	21
3.5 Fase 5: Realisatie systeem	21
4 Inspiratie uit de praktijk: Koppert Cress (Monster)	22
4.1 De uitdaging: Een systeem in onbalans	22
4.2 De stap naar MTO (40°C)	22
4.3 Belangrijkste leerpunten uit de praktijk	23
4.4 De rol van buffering en geothermie	23
5 Ontwerp MTO: energiesysteem en installatie	24
5.1 Een open bodemenergiesysteem	24
5.2 Beschrijving werking grondwatersysteem	24
5.3 Schematische weergave werking MTO - bovengronds energiesysteem	24
5.4 Materiaalgebruik MTO en WKO	26

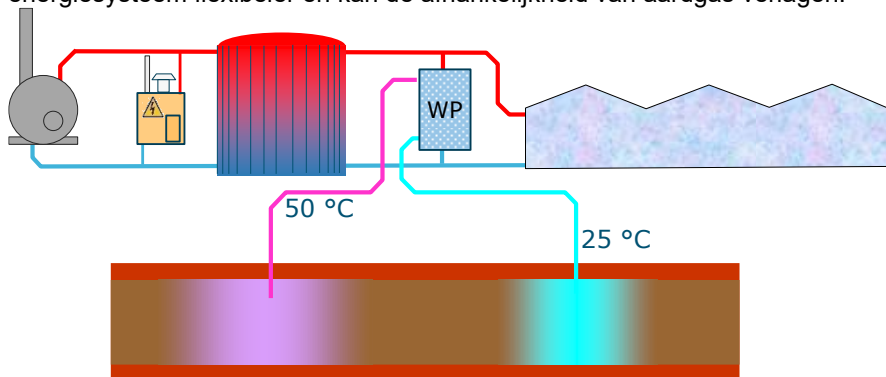
6 Vergunning en eisen	27
6.1 Effecten	27
6.2 Wettelijk kader open bodemenergiesystemen	27
6.3 Vergunningverlening OBES	28
6.4 Aanvullende vereisten bij MTO (hogere temperaturen)	28
7 Conclusie en aanbevelingen	30

Bijlagen

A. Begrippenlijst	31
B. Technische aspecten MTO	32
C. Model beschrijving energiesysteem bovengrond	36
D. Simulatie en analyse ondergrondse prestaties MTO	39
E. Voorlopig monitoringskader MTO	44
F. Praktijkcase: Van Onbalans naar een Innovatief MTO-systeem bij Koppert Cress in Monster	45

Samenvatting

Midden Temperatuur Opslag (MTO) is een variant van een open bodemenergiesysteem (OBES/WKO) waarmee u warmte opslaat in de ondergrond op een temperatuur die (bijna) direct bruikbaar is voor kasverwarming. In dit handboek is MTO uitgewerkt als een warme bron van ongeveer 50°C en een lauwe bron van ongeveer 25°C. Het principe is bodem, die in de winter weer wordt ingezet voor kasverwarming. Dit maakt uw energiesysteem flexibeler en kan de afhankelijkheid van aardgas verlagen.



Schematische weergave MTO, met dank aan Fije de Zwart (WUR).

Wanneer is MTO kansrijk?

MTO is vooral interessant bij bedrijven met een hoge en redelijk constante warmtevraag (intensieve, “warme” teelten). In de doorgerekende voorbeelden werkt MTO goed bij o.a. orchidee, (belichte) tomaat en paprika/komkommer. Voor extensievere teelten is MTO meestal minder aantrekkelijk, omdat de installatie dan te weinig draaiuren maakt (dezelfde investering wordt over te weinig MWh verdeeld). Verder is beschikking tot betaalbare warmte in de zomermaanden cruciaal voor een goede business case. De meeste projecten zijn voornemens om aardwarmte te gaan gebruiken voor het laden van de bron.

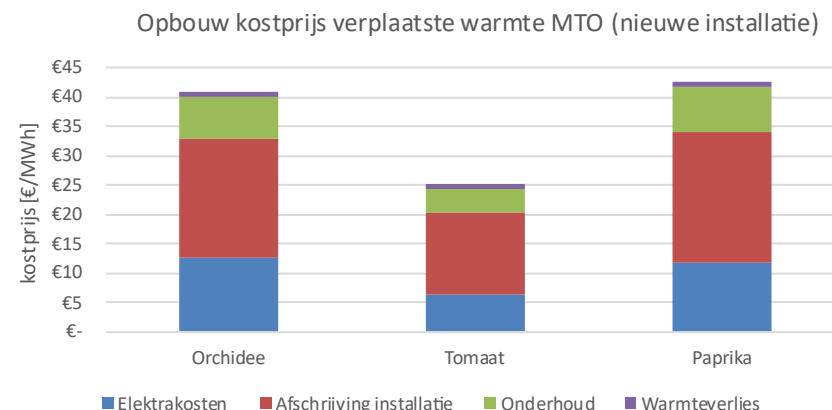
Businesscase: de kerngetallen

De belangrijkste uitkomst is de kostprijs van seizoensopslag/verplaatsen van warmte met MTO. Let op: dit is exclusief de inkoopprijs van de warmte zelf. Zie het dus als “opslag- en verplaatskosten” bovenop uw (zomer)warmteprijs.

Uitkomsten handboek (intensieve teelten):

- nieuwe MTO-installatie: 24–42 €/MWh;
- ombouw bestaande LT-OBES/WKO naar MTO: 11–21 €/MWh.

In deze bedragen zitten o.a.: afschrijving (15 jaar), elektriciteitsverbruik, onderhoud en kosten van warmteverlies (aangenomen orde 20–30% verlies; waardering warmteverlies 5 €/MWh).



Figuur 2.14 Opbouw kostprijs verplaatste warmte.

Belangrijke aandachtspunten

- **Ondergrond is locatie-afhankelijk:** prestaties en benodigde bronnen (doubletten) hangen sterk af van doorlatendheid, laagopbouw en warmteverliezen.
- **Eerste jaren:** het systeem moet “opwarmen”. Bij de gekozen modellering stabiliseren de verliezen zich rond de 20% per jaar, afhankelijk van de bodemopbouw.

Stappenplan voor ondernemers

Onderstaande stappenplan helpt om te komen van een eerste verkenning naar een operationeel MTO-systeem. Het is goed om te vermelden dat er praktijkervaring is opgedaan in het Topsector Kennis en Innovatie (TKI) project met de verschillende stappen om te komen tot een werkende MTO installatie. Het is verder belangrijk om te noemen dat het nodig kan zijn om een proefboring te doen in fase 2 of 3, indien er nauwelijks ondergronddata beschikbaar is. Idealiter kunt u de proefboring gebruiken als monitoringsput later in het project. U kunt contact opnemen met het consortium mocht u vragen hebben.



Figuur 0.3 - Stappenplan van concept naar implementatie

1 Introductie

Midden Temperatuur Opslag (MTO) biedt glastuinbouwondernemers de mogelijkheid om warmte op te slaan bij temperaturen die direct bruikbaar zijn voor kasverwarming. Dit vergroot de flexibiliteit van het energiesysteem, vermindert de afhankelijkheid van aardgas en maakt het mogelijk om duurzame warmtebronnen optimaal te benutten. Omdat aardgas komende jaren zwaarder belast gaat worden, zijn alternatieve warmtebronnen wenselijk. MTO kan hier een oplossing zijn. Door in de zomer goedkope en/of hernieuwbare warmte op te slaan en deze in de winter in te zetten, kan MTO bijdragen aan lagere energiekosten en een aanzienlijke reductie van CO₂-uitstoot. MTO zit op dit moment in de pilotfase en wordt verder ontwikkeld. Dit handboek geeft inzicht in de mogelijkheden, voordelen en aandachtspunten van MTO.

Achtergrond MTO

Open bodemenergiesystemen (OBES), ook bekend als WKO, werken met lage temperaturen tot circa 25°C. Ze bieden een efficiënte manier om warmte en koude op te slaan en deze in combinatie met een warmtepomp te benutten. In Nederland draaien al meer dan 3.000 van dit soort systemen. In het Klimaatakkoord heeft de glastuinbouw afgesproken om in 2040 klimaatneutraal te zijn, met als tussendoel maximaal 4,3 megaton CO₂-equivalent in 2030.

Deze reductie wordt behaald door een divers pakket aan maatregelen en afspraken, onder andere:

- CO₂-beprijzing voor de glastuinbouw;
- subsidies zoals de Energie-efficiëntie glastuinbouw (EG), 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 handboek onder valt.

Het toepassen van OBES wordt gezien als een belangrijk onderdeel van het verduurzamen van de glastuinbouwsector. Recent is er een toenemende interesse in opslag bij hogere temperaturen, tot 40 – 60 °C ook wel MTO genoemd. Er is nog geen vaste definitie van MTO.

Tabel 1.1 – Overzicht varianten open bodemenergiesystemen (OBES). Bron: Geïnspireerd op publicatie van IF Technology

Type OBES	Afkorting	Opslag T warmer bron [°C]	% / Aantal in NL
Warmte Koude Opslag	WKO / LT-OBES	< 25° C	> 99% (>3.000)
Midden Temperatuur Opslag	MTO / MT-OBES	40 – 60° C	< 1%
Hoge Temperatuur Opslag	HTO / HT-OBES	60 – 90° C	1 operationeel 2 voormalige systemen

In dit handboek wordt een grens van rond de 50°C aangehouden voor de warme bron van de MTO. Dit is echter geen harde technische of vergunningsmatige eis, maar komt voort uit de noodzaak om bij de hogere temperaturen van HTO (1) waterbehandeling toe te passen om kalkneerslag te voorkomen en (2) de materiaalkeuze hierop af te stemmen (bijvoorbeeld RVS of GRE in plaats van PVC). Vanuit vergunningsoogpunt is 25/30 °C een grens waarboven een reguliere vergunning op dit moment niet mogelijk is. Eerdere studies naar waterkwaliteitseffecten door opslag bij verhoogde temperaturen laten zien dat er bij temperaturen onder de 25 °C geen sterke door de temperatuur veroorzaakte veranderingen in watersamenstelling te verwachten zijn (o.a. het *Meer met Bodemenergie* project). In hoeverre deze wel optreden bij nog hogere

opslagtemperaturen is nog niet goed bekend en onderdeel van lopend onderzoek.

worden. Toch wordt opslag boven de 25°C nog weinig toegepast, onder andere omdat dit nu alleen mag met een pilotvergunning (tot 50°C). Belangrijke uitdagingen zijn het gebrek aan praktijkervaring, kennis over bedrijfsvoering en duidelijke regels voor vergunningen en monitoring bij deze hogere temperaturen.

Achtergrond HTO

Hoge Temperatuur Opslag, afgekort als HTO, verwijst naar het opslaan van warmte op nog hogere temperaturen dan bij MTO. HTO-systemen functioneren bij temperaturen boven de 60°C, tot ongeveer 90°C. Hiervoor zijn hoogwaardiger materialen benodigd, zoals stalen leidingen en titanium warmtewisselaars. Ook is waterbehandeling ter voorkoming van kalkneerslag een aandachtspunt bij HTO.

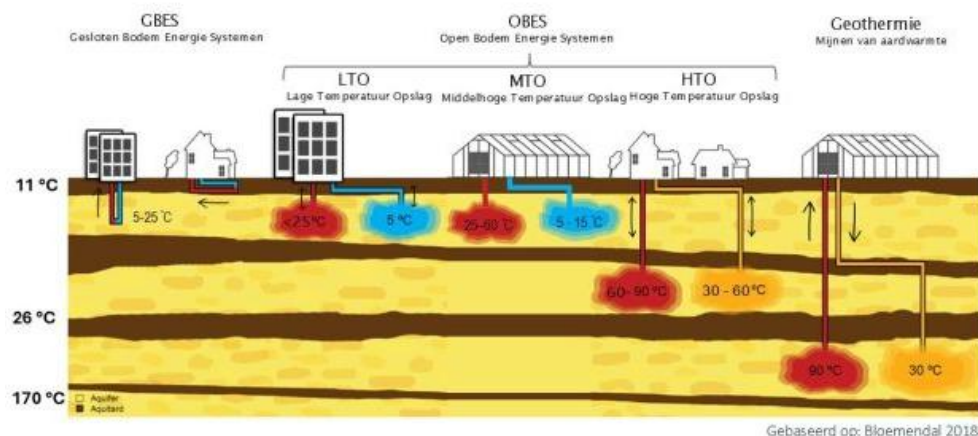
HTO is vooral geschikt voor zeer grootschalige toepassingen zoals glastuinbouwclusters en warmtenetten. In dit onderzoek wordt de focus daarom beperkt tot de inzet van MTO, waarbij HTO buiten de scope valt.

Doel van dit handboek

Dit handboek laat glastuinbouwondernemers zien of MTO geschikt is voor hun bedrijf. Het bevat voordelen, aandachtspunten en een helder stappenplan voor een duurzamer energiesysteem in de kas.

Uitvoering handboek binnen TKI project: MTO voor de glastuinbouw

Dit handboek maakt onderdeel uit van het [TKI onderzoeksproject](#) Middentemperatuur Opslag (MTO) voor de glastuinbouw. Het MTO-TKI project is een vervolg op een [project van Greenport West-Holland](#), welke is gefinancierd door de Provincie Zuid-Holland.



Figuur 1.1 – schematische weergave bodemenergiesysteem. Bron: TKI Water

Voordelen

Warmte opslaan bij hogere temperaturen biedt verschillende voordelen ten opzichte van de traditionele LT-OBES (Lage Temperatuur):

- Met een hogere energiedichtheid warmte op slaan: Door de hogere temperatuur kunt u meer warmte kwijt in hetzelfde bodemsysteem.
- Warmte direct bruikbaar voor de kas: De opgeslagen warmte is op een niveau dat direct kan worden ingezet voor kasverwarming, zonder dat er (veel) extra opwaardering nodig is.
- Efficiënter gebruik van de warmtepomp: omdat de bron al warmer is, werkt de warmtepomp in de winter met een hoger rendement (COP).

Het grootste voordeel van MTO is dat in de zomer relatief goedkope en duurzame warmte opgeslagen kan worden en deze in de winter benut kan

Leeswijzer

Dit handboek is bedoeld voor glastuinbouwbedrijven die willen weten wat MTO voor hun bedrijf kan betekenen. U vindt in dit handboek:

- Hoofdstuk 1: Introductie van MTO en verschillen met WKO.
- Hoofdstuk 2: Analyse van prestaties, kosten en voorbeeldbedrijven.
- Hoofdstuk 3: Stappenplan van idee tot realisatie.
- Hoofdstuk 4: Praktijkcase Koppert Cress.
- Hoofdstuk 5: Technische uitleg van onder- en bovengrondse systemen.
- Hoofdstuk 6: Vergunningen, eisen en monitoring.
- Hoofdstuk 7: Samenvatting en aanbevelingen.
- In de bijlagen vindt u extra technische uitleg, modelbeschrijvingen en een begrippenlijst.

Wilt u snel weten of MTO voor uw bedrijf interessant is? Begin dan bij de introductie en het stappenplan. Bent u vooral benieuwd naar de kosten en praktijkervaringen, kijk dan bij de analyse en praktijkvoorbeelden.

1.1 Wat is een open bodemenergiesysteem?

Een open bodemenergiesysteem maakt gebruik van grondwater om warmte en koude op te slaan in de bodem. Het systeem bestaat in de tuinbouw doorgaans uit twee bronnen (putten) die gezamenlijk een doublet worden genoemd.

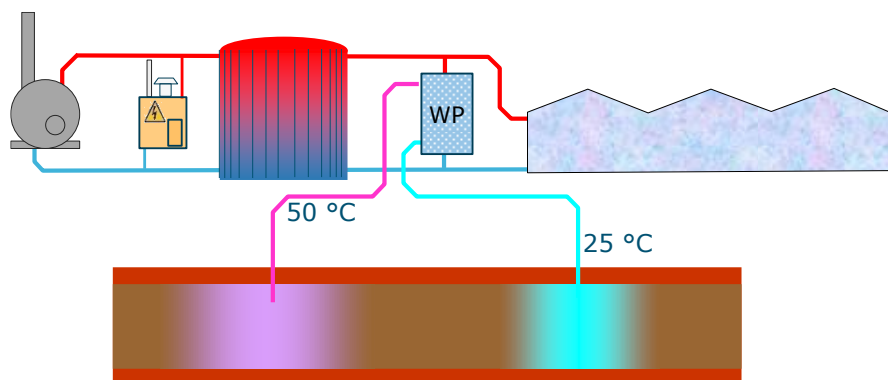
Het principe:

- In de winter wordt uit de warme bron grondwater gepompt om de kas te verwarmen. Het afgekoelde water gaat terug naar de koude bron;
- In de zomer gebeurt het omgekeerde: koud water uit de koude bron wordt opgewarmd met een goedkope en/of duurzame warmtebron. Optioneel kan het koude water gebruikt worden voor kaskoeling. Het opgewarmde water gaat terug naar de warme bron;
- De volumestroom die de warme bron in- of uitgaat is dus gelijk aan de volumestroom die de koude bron in- of uitgaat, er wordt netto geen volume grondwater onttrokken uit de bodem.

Bij een conventionele OBES is de koude bron (bijvoorbeeld 8°C) kouder dan de natuurlijke temperatuur van het grondwater (meestal rond de 11°C) en is de warme bron relatief warmer (bijvoorbeeld 14°C). Daardoor kan het systeem op jaarbasis energetisch in balans met de bodem zijn.

Bij MTO wordt er gewerkt met hogere temperaturen en kan óók de koude bron warmer zijn dan de natuurlijke grondwatertemperatuur; we spreken dan van een lauwe bron. Op basis van dit principe zijn verschillende temperatuurniveaus mogelijk. De temperaturen die gebruikt zijn in dit handboek zijn 50°C in de warme bron en 25°C in de lauwe bron (Figuur 1.2). Dit figuur geeft een versimpeld overzicht van een MTO (MT-OBES) geïntegreerd in een regulier kasverwarming systeem.

Een koude bron van rond de 10°C werkt goed voor kaskoeling, beter dan 25°C. Het voordeel daarvan is dat u in de zomer minder stroom verbruikt tijdens het koelen. Nadeel: in de winter draait de warmtepomp dan minder efficiënt bij het leveren van warmte. Hoewel 25°C als standaard voor de lauwe zijde wordt gehanteerd in deze studie, kan een lagere temperatuur (bijv. 15°C) financieel aantrekkelijk zijn. Ondanks een lagere COP van de warmtepomp (hoger elektraverbruik), stijgt de energetische dichtheid van de opslag. Hierdoor zijn minder doubletten nodig, wat de investeringskosten aanzienlijk kan verlagen.



Figuur 1.2 - Schematische weergave MTO, met dank aan Fije de Zwart WUR. Van links naar rechts is weergegeven: gasketel, WKK, dagbuffer, warmtepomp, kas en onder de installaties staat de bodem weergegeven met twee bronnen (links: warme bron, rechts: lauwe bron) welke samen een doublet vormen.

1.2 Componenten MTO

Een typisch (MTO-)systeem bestaat uit verschillende hoofdcomponenten:

- een bodemsysteem bestaand uit **verticale grondwaterputten** tot een diepte van circa 250m (tot maximaal 500m);
- **bronnepompen** die het water verplaatsen van de ene put naar de andere put;
- betaalbare en/of duurzame **warmtebron(nen)** die, met name in de zomer, warmte kunnen laden in de MTO. Mogelijke bronnen zijn geothermie, warmte van de condensor van de koelinstallatie, WKK, buitenlucht, een water lichaam, industriële restwarmte;
- **warmtepompen** zorgen dat de gewonnen warmte wordt opgewaardeerd tot een bruikbaar niveau. In sommige situaties kunnen ze ook omgekeerd werken: dan halen ze warmte uit de kas voor koeling of ontvochtiging. Die warmte wordt vervolgens opgeslagen in de bodem;
- **warmteafgifte systemen** zoals vloerverwarming of buisverwarming die de warmte afgeven aan de kas.

2 Analyse haalbaarheid en kostprijs

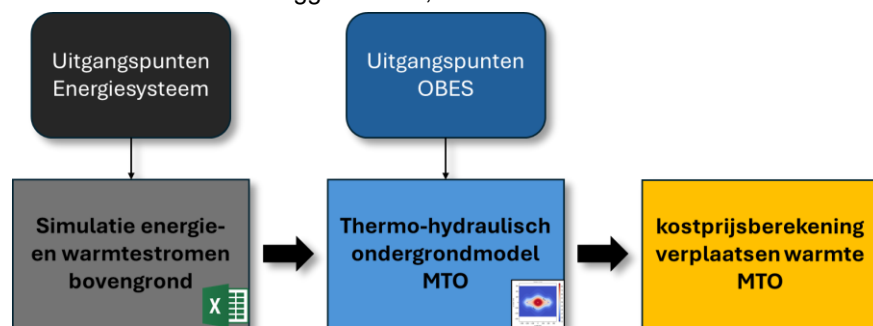
2.1 Methode: modelopzet en beschrijving uitgangspunten

Om te onderzoeken onder welke condities MTO interessant is voor de glastuinbouw, hebben we vier fictieve voorbeeldbedrijven doorerekend. Daarbij is gekeken naar zowel de energieprestaties als de kosten. Het doel van deze analyse is om te bepalen onder welke omstandigheden MTO goed toepasbaar is. De fictieve voorbeeldbedrijven zijn gebaseerd op representatieve praktijksituaties. Het eindresultaat is een kostprijs voor het verplaatsen van warmte (€/MWh) met een MTO.

2.1.1 Analyse opzet

Voor de analyse zijn twee modellen toegepast die samen een compleet beeld geven van het energiesysteem:

- **energetisch model:** dit model berekent hoe de warmtevraag en koudevraag van de kas worden ingevuld met beschikbare bronnen en buffers, waaronder MTO;
- **thermo-hydraulisch ondergrondmodel:** dit model berekent de warmteverliezen in de ondergrond en bepaalt de temperatuur van het water dat uit MTO wordt teruggewonnen;



Figuur 2.1 - Weergave van methode voor doorrekenen energetische en financiële haalbaarheid.

2.1.2 Fictieve voorbeeldbedrijven

Op basis van een analyse van de variatie aan omstandigheden en type teelten in de praktijk zijn de energieprofielen en uitgangspunten voor vier representatieve voorbeeldbedrijven opgesteld. Tabel 2.1 en onderstaande toelichting beschrijven de kenmerken van deze fictieve voorbeeldbedrijven.

Tabel 2.1 - Uitgangspunten en kenmerken van de vier fictieve voorbeeldbedrijven die zijn geanalyseerd.

#	Type bedrijf	Oppervlak [ha]	Warmtevraag [MWh/jaar]	Koudevraag [MWh/jaar]	Inzet MTO [MWh/jaar]
A	Belichte kas - orchidee	5	18.000	6.000	4.600
B	Belichte kas - tomaat	5	16.000	-	5.000
C	Onbelichte kas - paprika/komkommer	5	13.000	-	2.800
D	Ketelbedrijf - potplant	2	1.200	-	250

De kenmerken van deze casussen zijn:

- **A. Belichte kas - orchidee:** deze kas gebruikt WKK, gasketels, warmtepompen én kaskoeling. Daarnaast wordt hierbij ook gekeken naar de mogelijke aansluiting op geothermie-netwerken;
- **B. Belichte kas - tomaat:** voor intensieve, belichte tomatenteelt. Het energiesysteem bestaat uit een combinatie van warmtekrachtkoppeling (WKK), gasketels en de MTO Water-water warmtepomp (WP). Net als bij de orchideeënkas wordt het effect van aansluiting op geothermie onderzocht;
- **C. Onbelichte kas - paprika/komkommer:** deze kas heeft een vergelijkbaar energiesysteem als de belichte kas, maar zonder de belichting. Hierbij is gekeken naar de effecten met en zonder geothermienet;
- **D. Ketelbedrijf - extensieve teelt/potplant:** Deze kas werkt hoofdzakelijk op gasketels en wordt gebruikt bij minder intensieve teelten.

2.1.3 Beschrijving van modellering en casusopzet voor MTO-systemen in de glastuinbouw

Het energetische model berekent voor een representatief jaar op uurbasis de inzet van de warmtebronnen. Hiermee is het laad- en ontladprofiel van de MTO berekend. Omdat vóór het simuleren van de bronnen met het ondergrondmodel het specifieke gedrag van de MTO niet duidelijk is zijn hiervoor een aantal aannames gedaan:

- 1 de temperatuur van het water uit de lauwe bron is bepaald op basis van de verhouding tussen de laadtoestand en lauwe brontemperatuur uit eerdere thermohydraulische modeleringen. Wanneer de thermohydraulische modelering uitgevoerd is kan de daadwerkelijke lauwe brontemperatuur als input gebruikt worden in het energetische model.
- 2 Om de juiste hoeveelheid warmte te laden in de MTO wordt er uitgegaan van een warmteverlies van 20%. Er wordt dus ieder jaar 20% meer warmte geladen dan dat er warmtevraag is (vooral in de winter). Het thermohydraulische model laat daaropvolgend zien of met dit uitgangspunt de MTO effectief is. De efficiëntie van de opslag hangt sterk samen met het bodemtype (zie Bijlage D, p. 38-43).

Meer details over de modellering met het energetische model zijn te vinden in Bijlage C.

2.1.4 Simulatie prestaties bronnen ondergrond

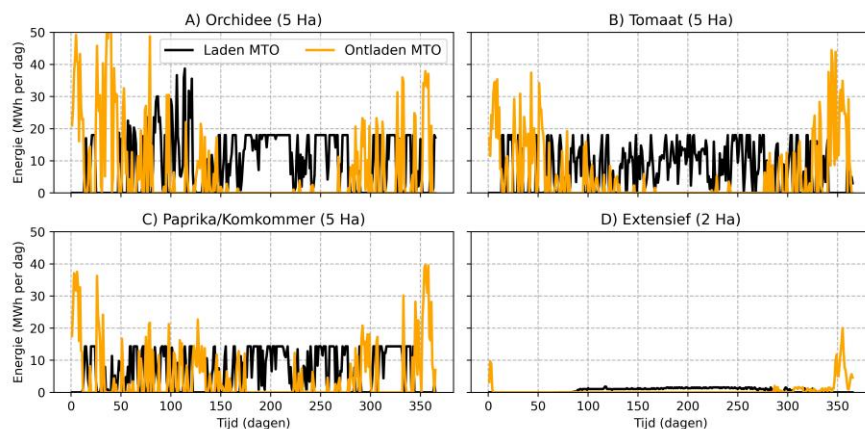
Ondergrondcondities variëren lokaal sterk, waardoor de prestaties van een ondergronds bodemenergiesysteem locatieafhankelijk zijn. Om het effect van deze variaties op de geschiktheid en kostprijs van MTO te analyseren, zijn twee voor West-Nederland representatieve casussen gedefinieerd: ondergrond A en B (zie pagina 16 en bijlage D). Alle ondergrondsimulaties zijn voor beide ondergrondtypen uitgevoerd.

Samenvattend:

Ondergrond A (dunner pakket): Kenmerkt zich door een lagere doorlatendheid (15 m/d) en relatief kleinere dikte (20 m), wat ongunstig is voor het maximale debiet per put, maar dit type ondergrond is minder gevoelig voor warmteverliezen door opwaartse dichtheid-gedreven stroming.

Ondergrond B (dikker pakket): Kenmerkt zich door een hogere doorlatendheid (18 m/d) en relatief grotere dikte (40m), wat gunstig is voor hogere debieten, maar gevoeliger kan zijn voor warmteverliezen door oprijving door dichtheidsverschillen.

Het energiesysteem van de kassen is op uurbasis doorgerekend en het energieprofiel per uur wordt als input gebruikt om de MTO te laden of te ontladen. Voor het ondergrondmodel zijn de uurdata echter eerst opgeschaald naar data op dagbasis. De energie (MWh/jaar) die geladen en ontladen wordt is het grootste voor voorbeeldbedrijf A en neemt af voor B t/m D. Omdat de energie die kan worden geladen en ontladen voor voorbeeldbedrijf D, de extensieve teelt, zeer klein is kan vooraf al worden vastgesteld dat die casus ongeschikt is voor MTO. Deze casus is daarom niet gesimuleerd met het ondergrondmodel. De hoeveelheid geladen warmte voor casus A=3240, B=2500 en C=2220 MWh/jaar, en de warmtevraag is respectievelijk, 25, 28 en 22% kleiner dan de geladen energie (Figuur 2.3).

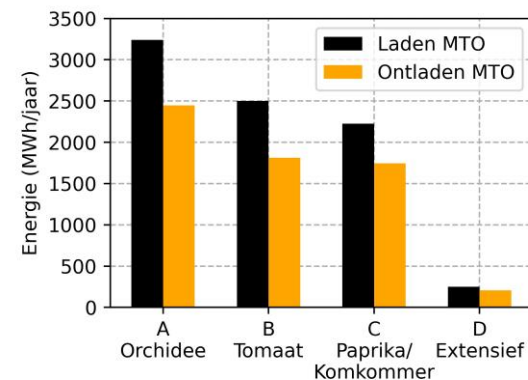


Figuur 2.2 – Profiel voor laden (zwart) en ontladen (geel) van de MTO voor de vier gekozen type glastuinbouwbedrijven.

De volgende uitgangspunten zijn gebruikt om de ondergrondse prestaties door te rekenen:

- Injectietemperatuur in de warme bron is 50°C, in de lauwe bron 25°C;
- Tijdens ontladen van de warme bron is de warmte bruikbaar bij een minimale ΔT van 5°C, de afkaptemperatuur ligt dus op 30°C;
- Het ontladen van de warme bron volgt het vooraf berekende warmteprofiel, er kan dus nooit meer warmte worden ontladen dan respectievelijk 75, 72 of 78% van de geladen warmte.

De afkaptemperatuur is de minimale temperatuur waarbij de warmte uit de bron nog direct (zonder warmtepomp) nuttig kan worden ingezet in de kas. Zodra de bron onder deze temperatuur komt, stopt de directe levering en moet de warmtepomp worden ingeschakeld om de temperatuur op te waardenen.



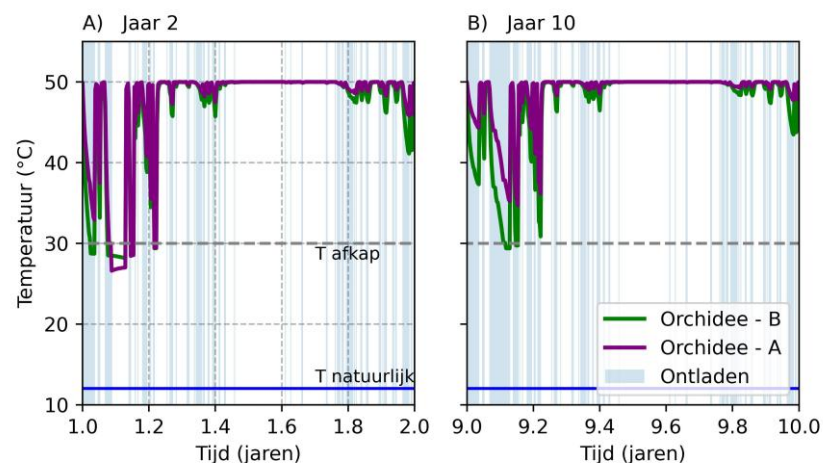
Figuur 2.3 – Jaartotaal energie voor laden en ontladen van de MTO voor de vier type glastuinbouwbedrijven. Ontladen/laden = 75%, 72% en 78% voor Orchidee, Tomaat en Paprika/Komkommer respectievelijk.

2.2 Analyse simulatie bodemenergiesysteem ondergrond

In Figuur 2.4 is als voorbeeld de gesimuleerde temperatuur van de warme bron van casus Orchidee gegeven voor ondergrond A en ondergrond B in jaar 2 en jaar 10 (zie Bijlage D voor alle temperatuurprofielen). Met de jaren neemt de efficiëntie van de bron toe (de ondergrond warmt op) en de brontemperatuur daalt daardoor minder snel tijdens het ontladen. Er kan in jaar 10 daarom vaker en langer worden ontladen met de MTO ten opzichte van jaar 2 (Figuur 2.4). Ook is te zien dat er met ondergrond A (paarse lijn), ten opzichte van ondergrond B (groene lijn), in zowel jaar 2 als jaar 10 hogere temperaturen worden geproduceerd (zie ook het bronrendement van de warme bron en de volumebalans in Bijlage D).

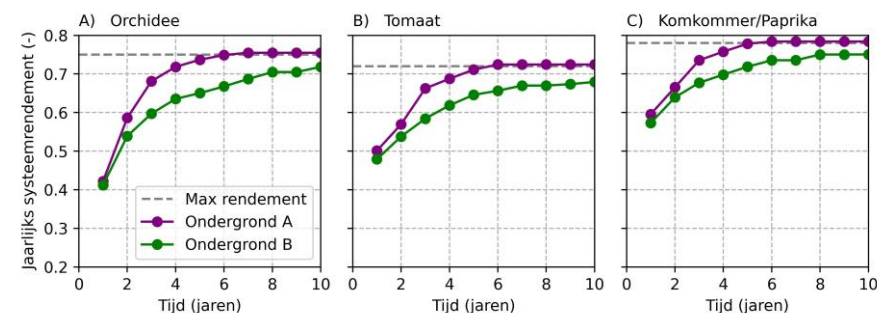
Het jaarlijks systeemrendement (zie ook Bijlage D) geeft aan hoeveel energie er is ontladen met het systeem ten opzichte van de geladen energie (Figuur 2.5). Als de afkaptemperatuur niet wordt bereikt wordt de maximale hoeveelheid energie onttrokken (variërend van 72 tot 78% voor de verschillende casussen).

Voor ondergrond A wordt het maximale rendement gehaald vanaf jaar 6 voor de drie casussen. Voor ondergrond B neemt het systeemrendement toe met de jaren (~60% in jaar 3 tot ~70% in jaar 10) maar wordt ook in jaar 10 aan het eind van het ontladseizoen de afkaptemperatuur af en toe nog bereikt. Over het algemeen kan de MTO het grootste deel van het jaar warmte leveren aan de kassen op temperaturen tussen de 50 en 30°C. Het systeemrendement in jaar 10 varieert tussen de 70% en 78% voor de verschillende situaties.

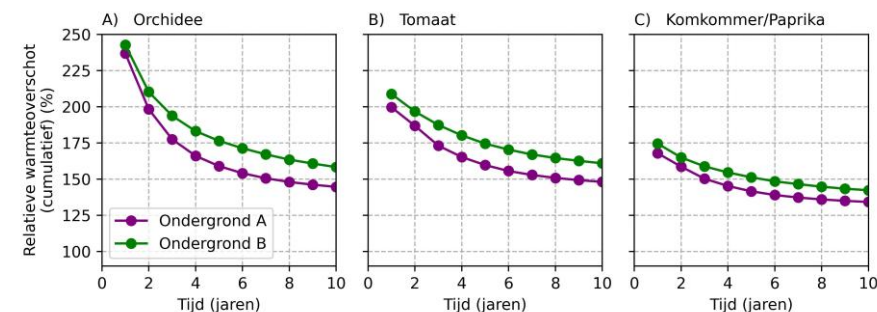


Figuur 2.4 – Simulatiere resultaten jaar 2 en 10 van casus Orchidee voor ondergrond A en B. De verticale blauwe strepen geven aan wanneer er wordt ontladen met de MTO.

Omdat niet alle warmte wordt teruggewonnen uit het systeem (systeemrendement < 100%) is er jaarlijks een warmteoverschot in de bodem. Echter, de relatieve hoeveelheid warmteverlies neemt af door de toename in systeemrendement (Figuur 2.5). Als gevolg neemt ook het cumulatieve relatieve warmteoverschot in de bodem ieder jaar af (Figuur 2.6). Na 10 jaar varieert dit tussen de 134 en 161% voor de zes doorgerekende situaties. Dit wil zeggen dat 34 tot 61% van de totaal in die periode opgeslagen warmte achtergebleven is in de bodem (meer detail in Bijlage D).



Figuur 2.5 – Ontwikkeling van het systeemrendement voor de twee verschillende ondergronden (A&B) bij de drie voorbeeldbedrijven.



Figuur 2.6 – Relatieve warmteoverschot (cumulatief) voor de twee verschillende ondergrondcondities (A&B) voor de 3 voorbeeldbedrijven.

2.3 Analyse simulatie energiesysteem bovengrond

Voor de bovengrondse simulatie is een model ontwikkeld dat op basis van de warmtevraag per voorbeeldbedrijf een optimale inzet van de verschillende installaties berekent. Voor elk type bedrijf is een specifieke configuratie opgesteld, zoals weergegeven in de onderstaande tabel:

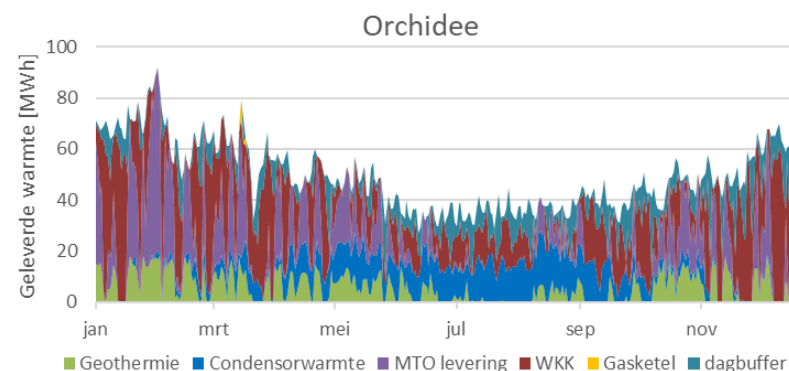
Tabel 2-2 – Overzicht type bedrijven en toegepaste installaties

Type bedrijf	Belichting	WKK [kW _e]	Aantal doubletten	Geothermie [kW _{th}]	Warmtepomp & MTO [kW _{th}]
Orchidee 5 Ha	Ja	2.500	3	750	4.000
Tomaat 5 Ha	Ja	2.500	3	750	3.000
Paprika/komkommer 5 Ha	Nee	2.500	2	750	3.000
Extensieve teelt 2 Ha	Nee	N.V.T.	1	75	1.300

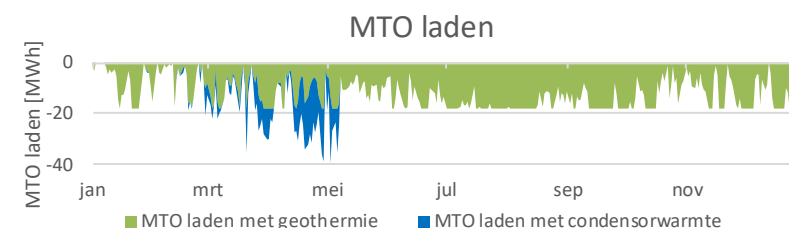
Om de modelering efficiënt en begrijpelijk te houden, worden warmte-installaties in een vaste volgorde ingezet. Eerst benutten we condensorwarmte van de kaskoeling als die beschikbaar en van voldoende temperatuur is. Daarna volgt de WKK. Vervolgens komt de dagbuffer van de WKK in beeld. Hierna volgt geothermie. Het MTO-systeem zorgt vervolgens voor opslag en levering van warmte. Tot slot vult de gasketel de resterende warmtevraag aan. Zie voor een uitgebreide modelmatige toelichting Bijlage C.

Figuur 2.7 toont de inzet van verschillende warmtebronnen gedurende het jaar 2024 van het voorbeeldbedrijf orchidee. Uit de simulatie blijkt dat de WKK regelmatig de volledige warmtevraag dekt op de momenten in het jaar dat het financieel aantrekkelijk is om elektriciteit te produceren. Warmtelevering uit het MTO-systeem en direct gebruik van geothermie warmte vindt vooral plaats buiten de zomer. In de zomer wordt de warmtevraag vooral ingevuld met condensorwarmte van de kaskoeling.

De simulaties zijn uitgevoerd op basis van energieprofielen uit 2024. Richting de toekomst zal de positie van de WKK kunnen wijzigen, waardoor het aandeel andere warmtebronnen en MTO groter zal worden in de mix.



Figuur 2.7 – Inzet warmtelevering richting kas voor Orchidee in 2024 (dag gemiddelde)

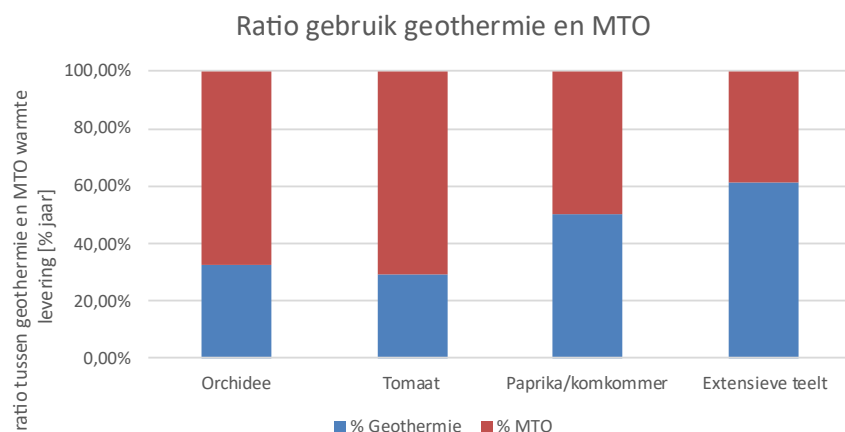


Figuur 2.8 – Jaaroverzicht laden van de MTO orchidee (dag gemiddelde)

Figuur 2.8 laat het laden van de MTO zien door de tijd heen, gesimuleerd op basis van de warmtevraag in 2024. Wanneer we de directe inzet van geothermie uit Figuur 2.7 en het laden van de MTO uit Figuur 2.8 samennemen dan zien we dat de geothermie aansluiting vrijwel het gehele jaar wordt benut. Daarnaast is er te zien dat er regelmatig wordt gewisseld tussen het laden en ontladen van de MTO. Dit komt de energetische efficiëntie van het systeem ten goede. Omdat de warmte zo voor een kortere tijd in de bodem is opgeslagen zijn de warmteverliezen in de bodem relatief klein.

Figuur 2.9 laat zien hoe de geothermiewarmte wordt verdeeld: direct ingezet of eerst opgeslagen in de MTO voor later gebruik. Vooral bij de teelten Orchidee en Tomaat wordt een aanzienlijk deel van de geothermiewarmte in MTO opgeslagen. Bij Orchidee is het hoge aandeel MTO vooral te verklaren doordat er in de zomer veel condensorwarmte op hoge temperatuur direct gebruikt wordt, waardoor directe inzet van geothermie minder nodig is.

Hier doet zich een logische optimalisatie voor; wanneer de elektriciteitsprijzen hoog zijn kan de MTO geladen worden met geothermie in plaats van condensor warmte. Dit kan kosteneffectiever zijn, ook al betekent het dat de overtollige condensorwarmte wordt afgevoerd naar de buitenlucht. Deze optimalisatie is niet meegenomen in de modelering.

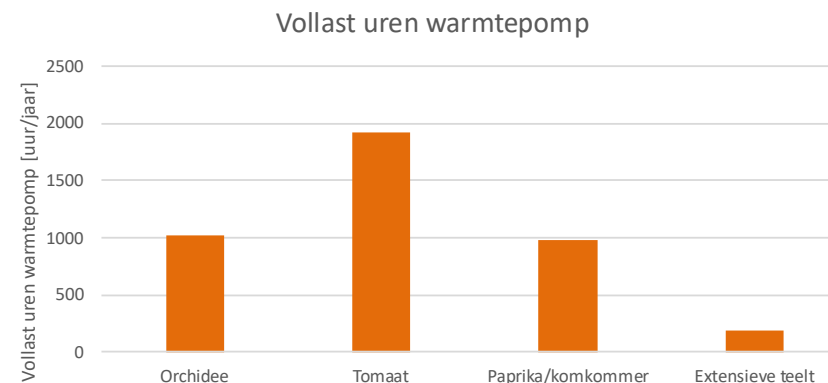


Figuur 2.9 – Toename vollast uren geothermie

Figuur 2.10 toont de vollasturen van de warmtepomp die tijdens het ontladen van de MTO de temperatuur verhoogt. In de simulatie is aangenomen dat de MTO wordt geladen met warmtebronnen zoals geothermie en condensorwarmte, die al op de juiste temperatuur liggen (richting 50°C graden

of hoger). Daardoor is de warmtepomp alleen actief tijdens het ontladen van de MTO. Uit de grafiek blijkt dat de tomatenteelt de meeste vollasturen kent.

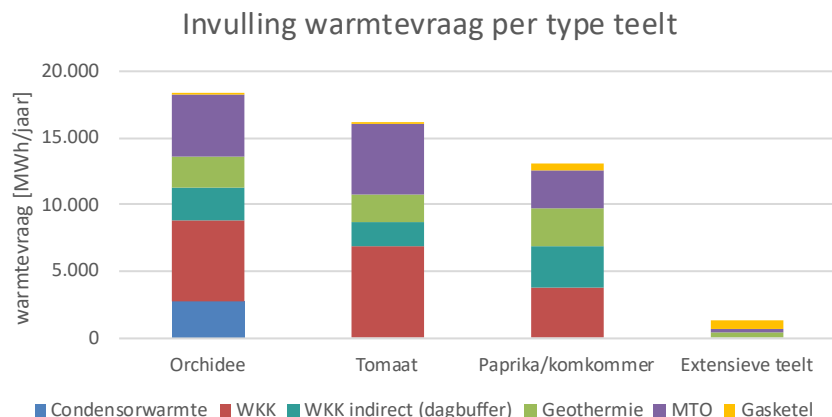
Het gekozen warmtepompvermogen is gebaseerd op het piekvermogen dat nodig is om aan de hoogste warmtevraag tijdens het ontladen te voldoen. Hier doet zich een andere, niet meegenomen, optimalisatie voor, als er wordt gekozen voor een kleiner warmtepompvermogen kan het aantal vollasturen én daarmee de kosteneffectiviteit van de installatie toenemen. De investering van de warmtepomp daalt terwijl het effect op de geleverde warmte zeer beperkt is.



Figuur 2.10 – Vollast uren MTO warmtepomp

In Figuur 2.11 is de warmtevraag per teelt weergegeven. Als we naar het gebruik van de MTO (paars) kijken, valt op dat vooral de orchidee en tomaat veel MTO-warmte benutten. Dit komt doordat deze gewassen ook in het voor- en najaar een basisbehoefte aan warmte hebben. De extensieve teelt uit dit voorbeeldbedrijf heeft een ander stookseizoen: er is slechts een kort deel van het jaar warmte nodig. Vanwege de gelimiteerde pompflow van een OBES is het piekvermogen van een MTO ook gelimiteerd. Hierdoor is het aandeel MTO bij een kort stookseizoen beperkt. Met andere woorden; bij een gelijkmatiger warmtevraag stijgt het aandeel MTO in de warmtevraag.

Omdat het boren van extra doubletten duur is, loont het bij een piek- of stookseizoenprofiel niet om extra boringen te doen.



Figuur 2.11 - Invulling warmtevraag per type teelt

2.4 Kostprijs MTO warmte

Doel en afbakening

Doel is om de kostprijs van seizoensopslag van warmte met een MTO te bepalen. Deze kostprijs is **exclusief de inkoopprijs van warmte**. Zie dit dus als **opslag- en verplaatskosten**, niet als de totale warmtekosten. Voor een totaalprijs telt u deze opslagkosten op bij uw warmte-inkoopprijs.

Samenvatting uitkomsten

De kostprijs van seizoensopslag met MTO bedraagt:

- nieuwe installaties: 24-42 €/MWh;
- ombouw bestaande LT-OBES installaties: 11-21 €/MWh.

In deze kostprijs zijn opgenomen:

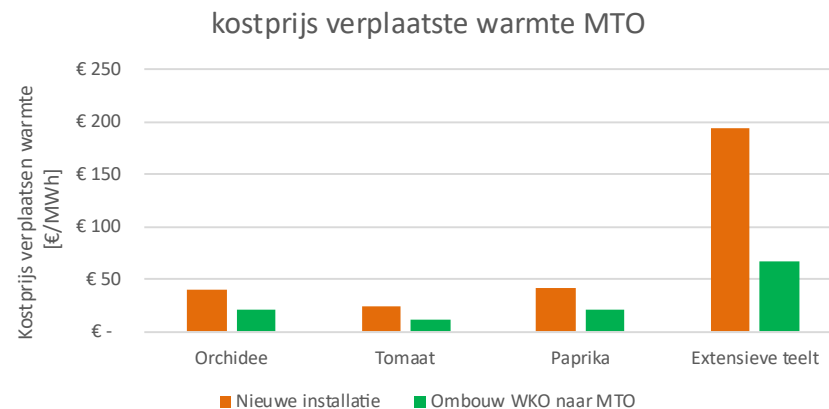
- afschrijving van de installatie in 15 jaar;

- elektriciteitsverbruik;
- onderhoud;
- kosten van warmteverlies.

De berekening gaat uit van 25% warmteverlies en een warmteprijs van 5 €/MWh voor de waardering van dat verlies.

Resultaten per teelt: effect van draaiuren

Figuur 2.12 toont de kostprijs van verplaatste warmte en laat zien dat extensieve teelten (bij zowel nieuwbouw als ombouw) aanzienlijk duurder zijn dan andere teelten. De oorzaak is vooral het lage aantal draaiuren per jaar; dezelfde investering wordt over minder geleverde MWh verdeeld, waardoor de kostprijs per MWh stijgt.



Figuur 2.12 - Kostprijs verplaatste warmte MTO nieuwe installatie en ombouw WKO

Uitgangspunten in de berekening

Het aantal doubletten dat geboord moet worden hangt af van de warmtevraag en van de kenmerken van de ondergrond. De ondergrond is bepalend in welke debieten onttrokken kunnen worden en wat het warmteverlies gaan zijn. In deze

studie zijn twee verschillende watervoerende pakketten gesimuleerd. Zie Paragraaf 2.1.4.

We gaan in deze analyse uit van een vast maximaal debiet van 100 m³ per uur per doublet voor alle casussen. En de warmteverliezen zijn gebaseerd op ondergrond type A.

De kostprijs is berekend op basis van:

- afschrijvingsperiode: 15 jaar;
- investeringssubsidie: 40% (MEI-regeling; zie kopje subsidies);
- warmtepomp: vanaf 300€/kWth op basis van kostenkentallen en budget prijs aanvragen warmtepomp leveranciers (vanaf 1MWth installatie);
- leidingwerk: €100.000
- boring doublet: vanaf €300.000 per doublet.

Deze uitgangspunten zijn gekozen om teelten en (nieuwe vs. ombouw) installaties goed vergelijkbaar te maken.

NB: Tijdens de interviews voor het handboek lagen de gemiddelde boringskosten rond de € 300.000 per doublet. Inmiddels (februari 2026) is duidelijk dat deze kosten flink stijgen door marktontwikkelingen en schaarste. Zie dit bedrag daarom als een ondergrens, actuele offertes kunnen een stuk hoger uitvallen.

Opbouw van de kostprijs

De figuren met de kostenopbouw (Figuur 2.13 en Figuur 2.14) laten zien dat bij extensieve teelten de kostprijs hoger is door hogere afschrijvingskosten vanwege minder draaiuren. Voor de overige teelten is de kostenverdeling grofweg:

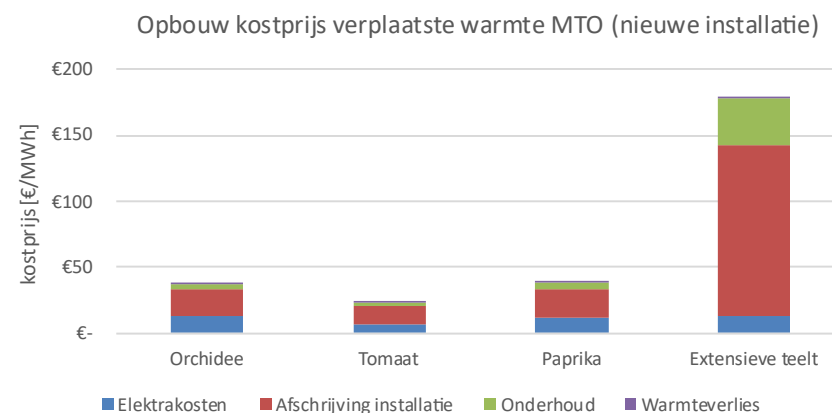
- ~50% afschrijving (MTO + warmtepomp);
- ~40% elektriciteit;
- ~10% onderhoud.

Onderhoud is in de berekening benaderd als:

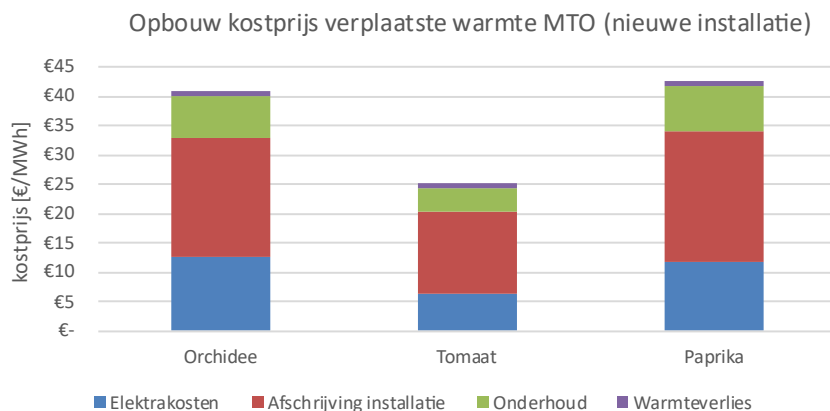
- 2% van de aanschafwaarde van de warmtepomp per jaar;
- € 5.000 per jaar voor de MTO.

Bij meer vollasturen daalt het relatieve aandeel onderhoud in €/MWh. De kosten voor monitoring zijn niet meegenomen. Het warmteverlies is in de figuren zichtbaar als een kleine kostenpost. Dat komt doordat:

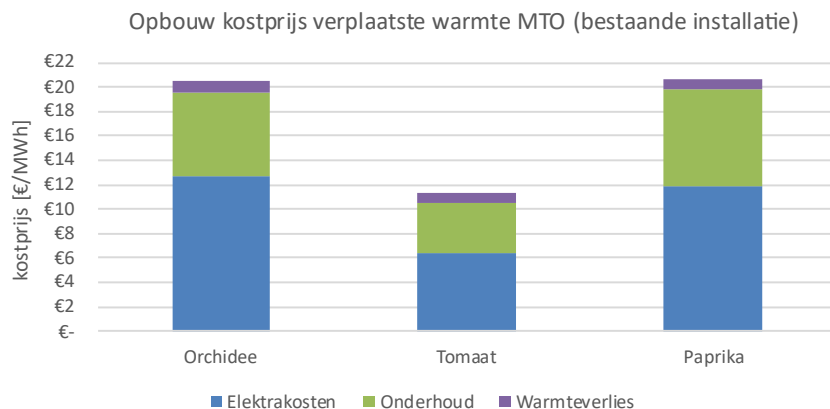
- het verlies 20–30% per jaar betreft;
- de warmte is gewaardeerd tegen 5 €/MWh.
- Daardoor komt de kostenpost warmteverlies uit op ongeveer 1–2 €/MWh, mits de geladen warmte (na verlies) ook jaarlijks weer wordt onttrokken.
- Bij de berekeningen is er niet van uitgegaan dat de contractcapaciteit van de netaansluiting wordt verhoogd bij het toepassen de MTO-installatie. Als deze capaciteit wel uitgebreid dient te worden, hangt het effect op de warmteprijs sterk af van hoe de extra netwerkcapaciteit wordt benut. Vaak zal een grotere aansluiting niet enkel voor de MTO-installatie worden ingezet. Daardoor kan een hogere capaciteit niet rechtstreeks worden doorberekend in de warmteprijs.



Figuur 2.13 – Opbouw kostprijs verplaatste warmte MTO (nieuwe installatie)



Figuur 2.14 - Opbouw kostprijs verplaatste warmte MTO (extensieve teelt weggelaten)



Figuur 2.15 - Opbouw kostprijs verplaatste warmte MTO (bestaande installatie)

Subsidies

Voor de toepassing van MTO is een MEI investeringssubsidie beschikbaar van 40% (Marktintroductie Energie-Innovaties Glastuinbouw). Er kan geen gebruik gemaakt worden van SDE++ subsidie op het MTO- systeem. Er kan in plaats daarvan ook gebruik gemaakt worden van Energieinvesteringsaftrek. Dit levert ongeveer 10% voordeel op. De MEI subsidie is dus veruit het meest interessant.

2.5 Discussie en conclusies haalbaarheid

De techniek MTO is het meest geschikt voor teelten met een hoge, stabiele warmtevraag (zoals orchideeën, tomaten en paprika's/komkommers). Voor de verschillende gesimuleerde casussen en de twee type ondergronden (A efficiënter dan B) kan er met een warmteoverschot van 20% voor bijna alle casussen gedurende het hele stookseizoen warmte worden geleverd. Op basis van de variatie aan gesimuleerde casussen, zijn de kosten per verplaatste MWh warmte bij nieuwe installaties circa **24-42 €/MWh** en bij ombouw circa **11-21 €/MWh**. De MEI-regeling is wel een bepalende factor in de rentabiliteit van de MTO toepassing bij een nieuwe installatie. Wanneer er geen MEI subsidie toegepast is komt de kostprijs voor nieuwe installaties op 34-57 €/MWh.

Bij extensieve teelten zijn de kosten per verplaatste warmte hoger, omdat de vaste installatiekosten over minder vollasturen worden verdeeld. Hierdoor is MTO voor deze teelten minder aantrekkelijk.

Optimalisatie is vooral interessant bij teelten met een hoge benuttingsgraad van MTO. Denk aan het verhogen van het aantal vollasturen door een grotere geothermie-aansluiting en het verder optimaliseren van de warmtevraag via regeltechniek. Er zijn nog meer optimalisaties denkbaar, waaronder het verder uitkoelen van de retour van de geothermie en het verder uitkoelen van de rookgassen van een WKK. Hiermee wordt de inzetbaarheid en de business case van een MTO beter.

Op langere termijn kan een semi-gesloten kas in combinatie met kaskoeling en MTO zorgen voor een hogere benuttingsfactor van de MTO. Deze optie kan in beeld komen als stoken met gas heel duur gemaakt wordt. Deze en andere eerder genoemde optimalisaties zijn niet doorgerekend, maar kunnen in vervolgonderzoek worden uitgewerkt.

Discussie

Er is een doorrekening gemaakt op basis van ondergrond type A. Bij ondergrond type B verwachten we een hoger debiet, maar ook een groter warmteverlies en een snellere afname van temperatuur. Hoe en of deze effecten tegen elkaar opwegen is nog niet onderzocht. Hoewel de MTO bron in het eerste jaar al warmte produceert, is het warmteverlies dan nog relatief hoog. Pas nadat de bodem thermisch is opgewarmd, onder de gesimuleerde condities na circa vijf jaar (Figuur 2.5), kan de MTO gedurende het volledige stookseizoen warmte leveren. Onderzocht kan worden welke maatregelen kunnen worden genomen om de eerste jaren de bron zo snel mogelijk op te warmen. Dit kan mogelijk worden geregeld door in de eerste paar jaar een groot warmteoverschot de bodem in te kunnen en mogen brengen. Aanvullend onderzoek kan dit verder verduidelijken.

Het bovengrondse energiesysteem kan efficiënter door de inzet van warmtebronnen af te stemmen op de uurprijs. Door het energetisch en thermo-hydraulisch model te koppelen, wordt de berekening van lauwe brontemperatuur en systeemrendement nauwkeuriger. Bij ombouw van WKO naar MTO zijn aanpassingen nodig, afhankelijk van installatie en leeftijd, maar deze kosten zijn meestal beperkt vergeleken met een nieuwe installatie. De specifieke ombouwkosten moeten worden meegenomen in de warmteprijs.

De kosteneffectiviteit van een MTO wordt voornamelijk bepaald door de referentiekosten van warmte in de glastuinbouw. Deze variëren zeer sterk afhankelijk van marktprijzen en wel of geen WKK aanwezig. De komende 15 jaar stijgen de belastingen op fossiele energie en wordt de rol van de WKK

kleiner. Hierdoor worden alternatieve warmteopties cruciaal. MTO wordt daarmee belangrijker.

Conclusie

Voor intensieve teelten zoals orchidee, tomaat en paprika/komkommer is MTO een haalbare techniek om duurzame warmte flexibel en rendabel in te kunnen zetten. Voor extensieve teelten blijft de toepassing voorlopig minder interessant vanwege de hogere kostprijs.

3 Stappenplan: van concept naar implementatie

Dit hoofdstuk beschrijft de essentiële stappen die een ondernemer doorloopt bij het overwegen en voorbereiden van een MTO-systeem.

De voordelen van een MTO voor een eindgebruiker is de mogelijkheid om in de zomer goedkope warmte op te slaan voor de winter. Reken voor opslag zelf globaal op **12–42 €/MWh warmte**, exclusief de kosten van de ingekochte warmte in de zomer (zie vorige hoofdstuk).

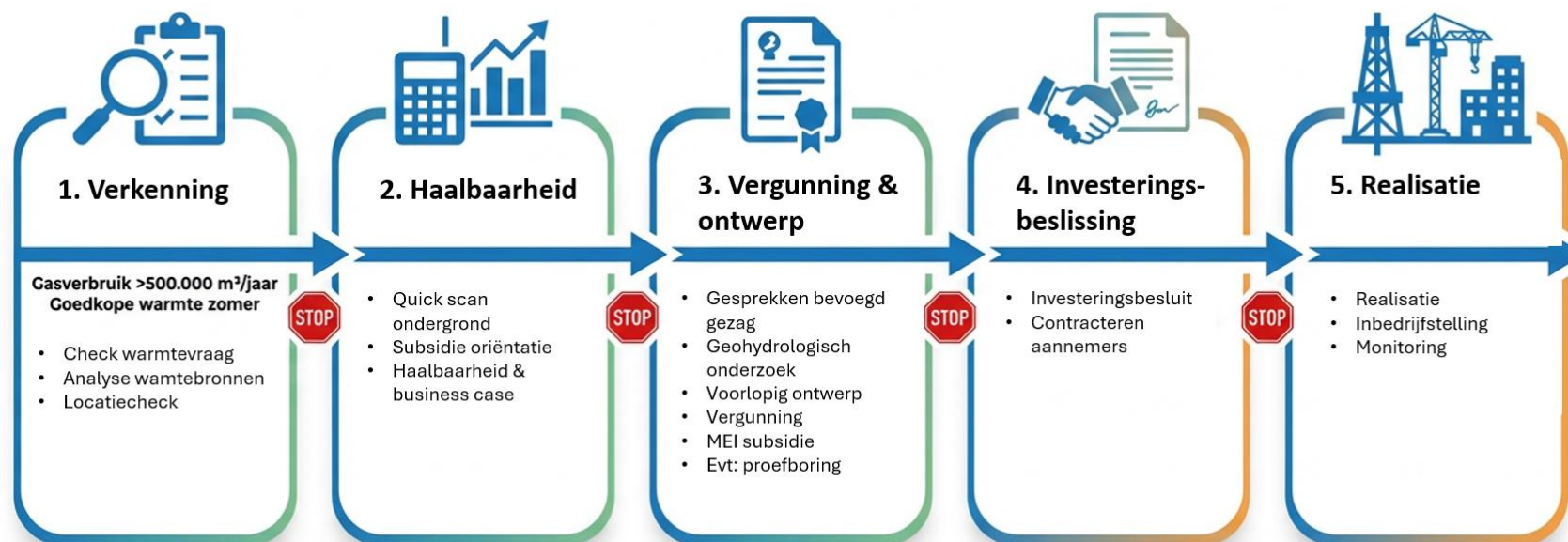
3.1 Fase 1: Verkenning en Ideeontwikkeling

Doel: Vaststellen of MTO principeel relevant is voor uw bedrijf.

Check uw situatie.

- 1 Gasverbruik voor warmte minimaal 500.000 m³ per jaar.
- 2 Goedkope warmte in de zomer (via bijvoorbeeld geothermie, restwarmte of koelmachinewarmte).
- 3 Al geothermie aansluiting aanwezig, mét voordelig afnemen in de zomer.
- 4 Bent u gevestigd in de Provincie Zuid-Holland? (Vergunningsvoordeel).
- 5 Bestaande WKO bron.

Hoe meer antwoorden met ja, hoe beter.



Figuur 3.1 - Stappenplan van concept naar implementatie

3.2 Fase 2: Haalbaarheidsstudie en Randvoorwaarden

Doel: Een gedetailleerder beeld krijgen van de technische en economische haalbaarheid.

Acties:

- **techniek en alternatieven:** verdiep u in de specifieke werking van MTO en ga na hoe deze warmtebuffer past in uw energiesysteem. De MTO moet gaan samenwerken met WKK, geothermie en warmtepomp om uw kas te klimatiseren;
- **quickscan businesscase:** voer een voorlopige kosten-batenanalyse uit. Dit omvat een schatting van de investeringskosten (CAPEX), operationele kosten (OPEX), aantal draaiuren en een indicatie van de terugverdientijd;
- **subsidieoriëntatie:** onderzoek welke subsidies (bijvoorbeeld EG, MEI, EIA) relevant kunnen zijn voor uw project;
- **ondergrondse quickscan:** laat een eerste beoordeling uitvoeren van de geohydrologische geschiktheid van uw locatie voor MTO.

Beslismoment: als de quickscan uitwijst dat de businesscase niet haalbaar is, of als de ondergrondse condities ongeschikt lijken, kan het traject hier worden gestopt.

3.3 Fase 3: Vergunningstraject en Gedetailleerd Ontwerp

Doel: Verkrijgen van benodigde vergunningen en uitwerken van een definitief ontwerp.

Acties:

- **contact met bevoegd gezag:** neem vroegtijdig contact op met de provincie of omgevingsdienst om de vergunningsvereisten voor MTO te bespreken. Voor MTO is momenteel vaak een pilotvergunning vereist;
- **gedetailleerd geohydrologisch onderzoek:** voer een uitgebreid onderzoek uit naar de bodemopbouw, verwachte systeemprestaties, en mogelijke effecten op omgevingsbelangen om het bronontwerp te optimaliseren en risico's te mitigeren. Indien er veel lokale bodeminformatie is van de lagen die worden onderzocht (bijv. eerdere WKO op locatie, veel andere boringen in de buurt) kan een gedetailleerd beeld worden geschetst

van de ondergrond op basis van bestaande informatie. In andere omstandigheden kan het gunstig zijn om in deze fase een boring (start/proefboring) uit te laten voeren om de ondergrond te karakteriseren. Het wordt aangeraden om deze boring dan zo doelmatig mogelijk te gebruiken (dus direct als monitoringsbron of als onderdeel van het toekomstige systeem);

- **definitief systeemontwerp:** werk het bovengrondse (energiesysteem) en ondergrondse (bronnen, warmtewisselaars) ontwerp van het MTO-systeem gedetailleerd uit;
- **subsidieaanvraag:** dien de benodigde subsidieaanvragen in.

Beslismoment: indien een vergunning niet verkregen kan worden, of als de gedetailleerde businesscase (na subsidie) onvoldoende rendabel blijkt, wordt de investering niet voortgezet.

3.4 Fase 4: Investeringsbeslissing

Doel: Definitieve besluitvorming en start van de implementatie.

Acties:

- **definitieve GO/NO-GO:** op basis van goedgekeurde vergunningen, toegekende subsidies en een gevalideerde businesscase neemt u de definitieve investeringsbeslissing;
- **contracteren:** sluit contracten af met leveranciers en installateurs.

3.5 Fase 5: Realisatie systeem

- **Realisatie:** Voltooiing van de totale ondergrondse en bovengrondse installatie en ingebruikname van de installatie.
- **Monitoring:** Uitvoeren monitoring van energiestromen en bodemeffecten.

4 Inspiratie uit de praktijk: Koppert Cress (Monster)

Van WKO-onbalans naar een innovatief MTO-systeem

Koppert Cress, een producent van kiemplanten en microgroenten in het Westland, geldt als een van de pioniers op het gebied van Midden Temperatuur Opslag (MTO). Hun reis begon in 2010 met de ambitie om een nieuwe kas van 2,5 hectare volledig fossielvrij te verwarmen en te koelen.



Figuur 4.1: Foto: Koppert Cress: locatie De Poel 1, Monster anno 2019

4.1 De uitdaging: Een systeem in onbalans

Bij de start in 2011 werd een conventioneel WKO-systeem (Open Bodemenergiesysteem) ingezet. Al snel bleek dat het systeem in onbalans raakte: in de winter werd er significant meer warmte onttrokken dan er in de zomer kon worden teruggevoerd.

- Gevolg: de warme bron raakte 'leeg', terwijl de koude bron in temperatuur steeg. Zowel technisch als vergunningstechnisch (balansverplichting) was ingrijpen noodzakelijk.

- Oplossing: in plaats van minder duurzame warmte te gebruiken, koos het bedrijf voor het maximaal oogsten van restwarmte om de bron te laden. Dit gebeurde via:
 - luchtbehandelingssystemen (JSK) in de kas;
 - restwarmte uit koelcellen en watergekoelde LED-verlichting;
 - toevoeging van zonthermie en aquathermie (oppervlaktewater).

4.2 De stap naar MTO (40°C)

Om de efficiëntie te verhogen en meer warmte te kunnen bufferen, ontstond de wens om de opslagtemperatuur te verhogen van de wettelijke 25°C naar circa 40°C (MTO). De logica: een groter temperatuurverschil (ΔT) betekent meer opgeslagen vermogen bij een gelijkblijvend debiet.

Het vergunningstraject (Pilotstatus)

Via een Green Deal en een pilotvergunning van de Provincie Zuid-Holland kreeg Koppert Cress de ruimte om te experimenteren. Een intensief monitoringsprogramma (2017-2020) in samenwerking met KWR was hierbij een harde eis. Er werd gebruikgemaakt van:

- speciale monitoringsputten voor watermonsters;
- glasvezelkabels in de bodem voor een continu temperatuurprofiel.

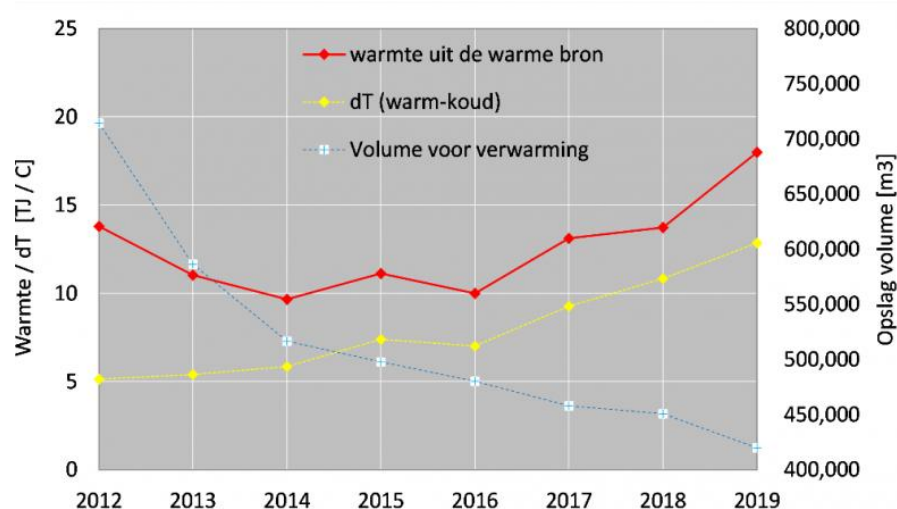


Figuur 4.2: Foto: glasvezelkabel in bodem voor metingen (bron: KWR)

4.3 Belangrijkste leerpunten uit de praktijk

De pilot leverde cruciale inzichten op die representatief zijn voor de sector:

- 1 **Kort-cyclisch draaien:** het bleek zeer effectief om warmte overdag op te slaan en 's nachts direct weer te benutten. Dit beperkt de thermische spreiding in de bodem en verhoogt het rendement.
- 2 **Veiligheid en waterkwaliteit:** uitgebreide metingen toonden aan dat de verhoogde temperatuur (40°C) geen groei van pathogenen (zoals Legionella) veroorzaakte en geen significante negatieve chemische effecten had op het grondwater.
- 3 **Efficiëntie:** de inzet van MTO leidde tot een CO₂-reductie van 30% tot 70% (afhankelijk van de elektriciteitsmix) en een daling van de operationele kosten met circa 10%, doordat de warmtepomp efficiënter kon draaien.



Figuur 4.3 - Effecten MTO bij Koppert Cress (bron: KWR)

4.4 De rol van buffering en geothermie

Een latere bottleneck was de piekvraag naar koeling in de zomer. De bron kon op piekmomenten niet snel genoeg koud water leveren.

- **De oplossing:** de bouw van een bovengrondse buffertank van 3.000 m³. Deze fungeert als 'thermische batterij'. In de zomer wordt deze gevuld met koude uit de WKO om pieken op te vangen; in de winter slaat de tank laagwaardige warmte (45 °C) op.
- **Toekomst met geothermie:** met de komst van aardwarmte verschuift de rol van het MTO-systeem. Waar het eerst vooral warmte leverde, wordt het nu een cruciaal instrument om de constante warmtestroom van geothermie te balanceren door actief koude te produceren en op te slaan.

Conclusie voor de ondernemer: de praktijkervaringen bij Koppert Cress laten zien dat de weg naar een fossielvrije kas vol uitdagingen zit, maar ook vol kansen. Vanaf de eerste stappen met WKO in 2010 tot de opschaling naar MTO en de recente aansluiting op geothermie is telkens gezocht naar balans: tussen warmte en koude, tussen techniek en teelt, en tussen regelgeving en innovatie.

Voor kwekers toont dit verhaal dat verduurzaming haalbaar en rendabel is wanneer stap voor stap wordt geïnvesteerd in slimme combinaties van technieken.

Voor de volledige praktijkbeschrijving, inclusief gedetailleerde meetresultaten en het volledige vergunningstraject, zie **Bijlage F**.

5 Ontwerp MTO: energiesysteem en installatie

5.1 Een open bodemenergiesysteem

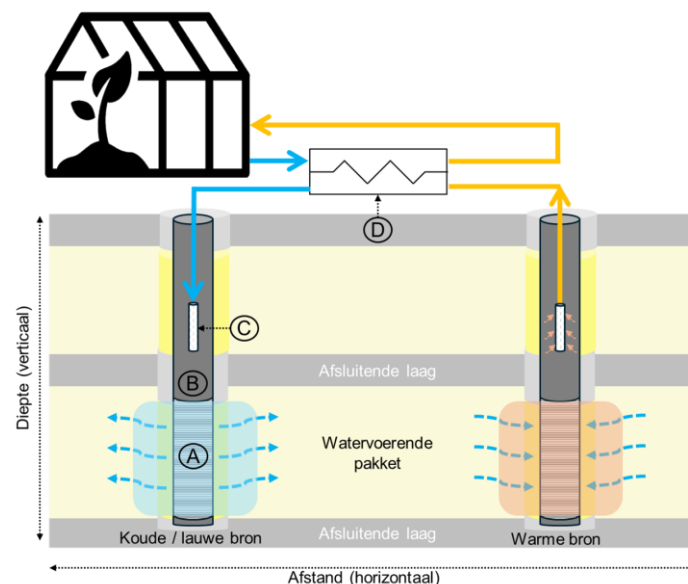
OBES is een bewezen techniek die in Nederland al veelvuldig wordt toegepast (>3.000 systemen, [Fleuchaus 2018](#)) voor het verwarmen en koelen van onder andere middelgrote tot grote gebouwen en kassen. Een open bodemenergiesysteem bestaat uit grondwaterputten (meestal een doublet) die, in veruit de meeste gevallen, op laterale afstand van elkaar staan met (op diepte) filters in hetzelfde watervoerende pakket. Een OBES bestaat soms uit meerdere doubletten, afhankelijk van het benodigde debiet. Een overzicht van de verschillende ontwerpaspecten voor een OBES worden hieronder beschreven. In Bijlage BB worden deze technische ontwerpaspecten in meer detail omschreven.

5.2 Beschrijving werking grondwatersysteem

Bij een OBES systeem dient het grondwater alleen als medium of warmte- of koude in op te slaan. Er wordt dus geen grondwater “verbruikt” en het water dat uit de ene bron wordt gepompt, gaat na warmtewisseling weer terug in de andere bron (Figuur 5.1). Het systeem heeft dus een warme en een koude kant. Bij standaard lage-temperatuur OBES heet dit simpelweg de “warme” en de “koude” bron, omdat de natuurlijke grondwatertemperatuur tussen deze twee bronnen in zit (circa 10-13 °C). Bij MTO kan de koude kant van het systeem warmer zijn dan de natuurlijke grondwatertemperatuur (zoals de uitgangspunten in hoofdstuk 2); in dat geval noemen we die bron de “lauwe” bron, in plaats van de koude bron.

Warmte wordt seizoensgebonden opgeslagen door water tussen koude en warme bronnen te verplaatsen: in de zomer wordt warmte in de bodem geladen, in de winter weer onttrokken. De dimensionering van de bronnen wordt bepaald door het benodigde vermogen (kW) en jaarlijkse energieopslag (kWh/jaar),

waarbij doorlatendheid van het opslagpakket, filterlengte en bronafstand cruciaal zijn om voldoende capaciteit en thermische interactie tussen de warme en koude bronnen te garanderen (zie Bijlage BB voor meer detail).



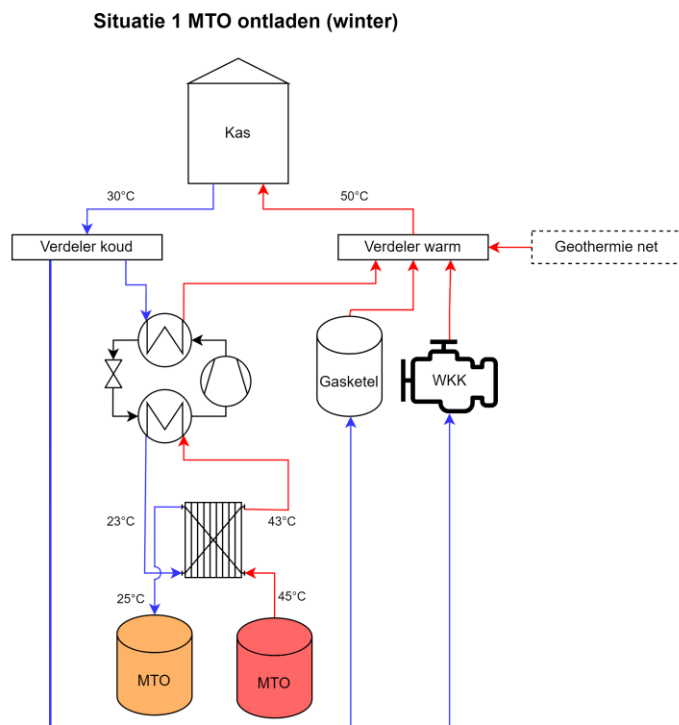
Figuur 5.1 schematische weergave van een OBES-doublet tijdens ontladen van de warme bron, met A: het putfilter, B: de putbuis, C: de bronpomp en D: de warmtewisselaar.

5.3 Schematische weergave werking MTO - bovengronds energiesysteem

Het diagram in Figuur 5.2 en Figuur 5.3 biedt een schematisch overzicht van de laad- en ontladsituaties van een MTO-systeem. Van beneden naar boven worden de volgende onderdelen weergegeven: onderaan de koude en warme bron, daarboven de tegenstroomwarmtewisselaar, gevolgd door de schakelbare installaties voor de warmtelevering richting de kas. Bovenaan het schema bevindt zich de kas zelf, waar de warmte uiteindelijk wordt afgeleverd.

MTO ontladen

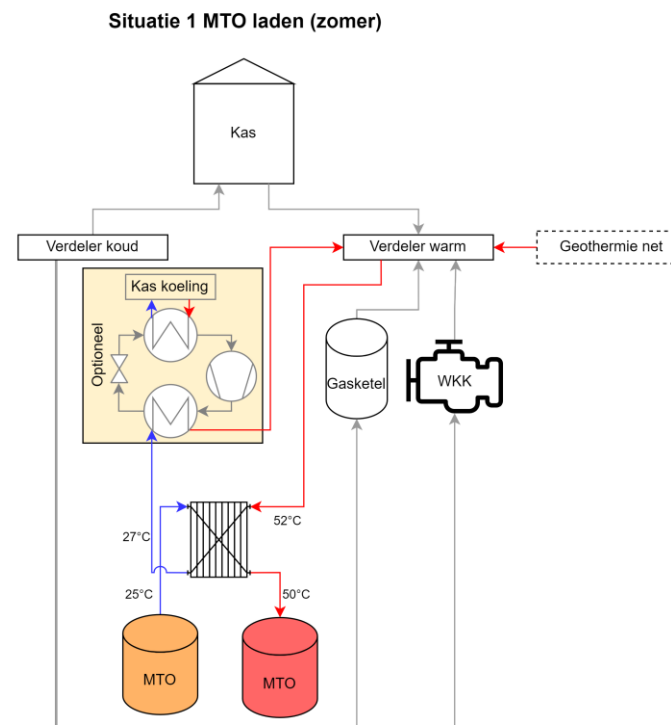
In de ontladsituatie wordt het bronwater van de warme bron (rood) door een tegenstroom warmtewisselaar gepompt om het verwarmingswater aan de kas/warmtepomp zijde op te warmen. Hierna stroomt het afgekoelde bronwater de koude/lauwe bron (oranje) in. In het schema is enkel de mogelijkheid voor de inzet van de MTO in combinatie met een warmtepomp weergegeven, echter is het ook mogelijk om het opgewarmde water direct aan een afgifte systeem te voeden.



Figuur 5.2 – Schematische weergave ontladen (winter)

MTO laden

In de laadsituatie wordt het water van de koude/lauwe naar de warme bron gepompt, waarin het in de tegenstroomwarmtewisselaar wordt opgewarmd met beschikbare (rest)warmte zoals onbenutte geothermie, condensatorwarmte van de koeling van de kas, koeling van de rookgassen van een WKK, aquathermie, zonthermie etc.



Figuur 5.3 – Schematische weergave laden (zomer)

5.4 Materiaalgebruik MTO en WKO

Bij conventionele OBES (WKO) wordt het systeem veelal uitgevoerd met zeer betrouwbaar, doch relatief goedkoop, materiaal: het verticale leidingwerk (de bron en filters) zijn van PVC en het leidingwerk aan maaiveld is van (HD)PE. Daarnaast zijn de putkop en verschillende appendages in de put en de technische ruimte vaak uitgewerkt in RVS ([Beernink et al. 2025](#)). PVC behoudt in principe tot circa 40 a 50°C zijn sterkte, daarboven kunnen de materiaaleigenschappen degraderen en de sterkte afnemen. Gebruik van PVC bij hogere temperatuur wordt dus ook beïnvloedt door de drukklasse van de buis (wanddikte) die wordt toegepast. (HD)PE kan worden gebruikt tot ~90°C zonder dat de materiaaleigenschappen veranderen. In principe zou MTO dus met dezelfde materialen kunnen functioneren als een traditionele OBES/WKO (of kan een conventionele OBES worden aangepast en gebruikt als MTO). Echter, dit is nog niet in de praktijk getest, er kan bijvoorbeeld nog geen garantie worden gegeven dat de minimale drukklasse van PVC bij hogere temperatuur (+45°C) ook behouden blijft ([Bloemendal et al. 2020](#)). Er is momenteel nog weinig langjarige praktijkervaring met MTO. Bij het huidige ontwerp van MTO worden daarom soms (relatief kleine/goedkope) veiligheidsmaatregelen toegepast om zeker te zijn dat de prestaties van de put gedurende de levensduur gegarandeerd aanpassingen OBES.

Bij MTO is het waarschijnlijk dat, naast het materiaalgebruik, de installatie- en regeltechniek net wat ingewikkelder wordt. Echter, de ervaring (ook al is die redelijk beperkt) laat zien dat dit tot nu toe bij MTO en HTO tot weinig/geen problemen zorgt.

6 Vergunning en eisen

Voordat u MTO kunt toepassen, moet u rekening houden met een vergunningstraject dat strenger is dan bij een regulier WKO-systeem. Opslag boven 25°C valt niet onder standaardregels en vraagt om een pilot- of maatwerkvergunning, inclusief extra monitoring en beoordeling van effecten. Dit hoofdstuk legt uit wat de wettelijke kaders zijn, welke stappen u moet nemen en waar u op moet letten om vertraging te voorkomen.

6.1 Effecten

Er treden bij MTO deels dezelfde effecten op als bij conventionele OBES-systemen (WKO), bijvoorbeeld als gevolg van het mengen van water afkomstig uit verschillende lagen/dieptes. Binnen het thermische beïnvloedingsgebied kunnen extra effecten ontstaan door de hogere temperaturen van MTO (zie Figuur 6.1). Omdat bij MTO (waarbij beide bronnen een temperatuur hebben hoger dan de natuurlijke grondwatertemperatuur) geen volledige energiebalans mogelijk is, zal het thermisch beïnvloede gebied ook groter zijn. Daarbij geldt dus ook: hoe hoger het energetisch rendement van het systeem, hoe kleiner de thermische invloed. Met andere woorden, een efficiënt systeem beperkt deze effecten.

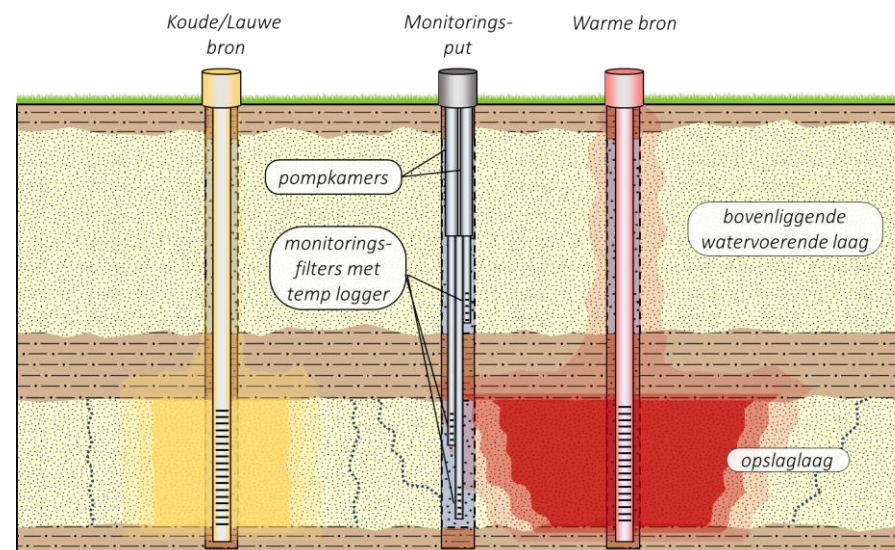
Hoe de thermische effecten zich in de praktijk vertalen naar impact op de chemische en microbiologische samenstelling van het grondwater is door het beperkt aantal gerealiseerde systemen met temperaturen > 25°C nog niet goed bekend en onderwerp van lopend onderzoek. Om deze reden wordt bij MTO (en HTO) door vergunningsverleners doorgaans zwaarder ingezet op monitoring dan bij conventionele OBES.

6.2 Wettelijk kader open bodemenergiesystemen

Conventionele OBES vallen onder de Omgevingswet en zijn aangewezen als milieubelastende activiteit in het Besluit activiteiten leefomgeving ('Bal',

paragraaf 3.2.6). Dit betekent dat voor aanleg en gebruik van OBES een Omgevingsvergunning van de provincie verplicht is. Het doel van deze vergunning is onder andere het beschermen van het milieu (Artikel 2.2), waaronder voor OBES vooral relevant:

- de chemische en ecologische kwaliteit van watersystemen;
- doelmatig gebruik van energie;
- het voorkomen van wateroverlast of schaarste.



Figuur 6.1 - Schematische weergave van de effecten en een mogelijke monitoringsopzet bij MTO systemen. Bron: Monitoringskader MTO (zie bijlage E).

Specifiek wordt in het Bal vereist dat:

- de maximale infiltratietemperatuur is begrensd op 25°C (Artikel 4.1152). In de Provincie Zuid Holland wordt dit als gemiddelde temperatuur gezien en worden tijdelijke maximale temperaturen tot 30°C toegestaan;

- er moet ten minste eens in de 5 jaar sprake zijn van een energiebalans (Artikel 4.1154), wat betekent dat de hoeveelheid opgeslagen warmte gelijk moet zijn aan de hoeveelheid opgeslagen koude.

Hieruit volgt dat MTO-systemen niet via een reguliere vergunning mogelijk zijn.

6.3 Vergunningverlening OBES

In de Omgevingsregeling, die een nadere uitwerking geeft van de Omgevingswet, staat in artikel 7.35 dat een vergunningaanvraag voor een OBES (Open Bodemenergiesysteem) onder andere moet bevatten:

- een beschrijving van het ontwerp van het systeem;
- het verwachte energierendement;
- de hydrologische en thermische effecten.

Bij de praktische uitvoering van de vergunningverlening gebruiken provincies, gemeenten en omgevingsdiensten de BUM Bodemenergie (Besluitvormings Uitvoerings Methode). Deze methode vertaalt de wettelijke eisen naar duidelijke toetsingscriteria en standaardvoorschriften. De BUM geeft ook een vaste aanpak voor het uitvoeren van de effectenstudie, waarmee via (model)berekeningen de te verwachte hydrologische, thermische en grondmechanische effecten inzichtelijk moeten worden gemaakt

Lozing van ontwikkelings- en spuiwater

Bij de aanleg en het onderhoud van bronnen komt water vrij. Afhankelijk van de waterkwaliteit kan dit worden teruggebracht in de bodem (eventueel na zuivering), geloosd op oppervlaktewater of op het schoonwaterriool. De voor een locatie mogelijke lozingsopties moeten vroegtijdig onderzocht worden, omdat het grote invloed kan hebben op de kosten en vergunbaarheid. Onder de Omgevingswet valt het lozen van water onder de milieubelastende activiteit 'open bodemenergiesysteem' en moet het vanaf **1 januari 2026** expliciet in de omgevingsvergunning staan (voorheen volstond een melding bij de gemeente).

6.4 Aanvullende vereisten bij MTO (hogere temperaturen)

Door de hogere opslagtemperatuur en het warmteoverschot voldoen MTO-systemen niet aan de standaardregels in het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal). Het Bal biedt echter twee mogelijkheden om hiervan af te wijken:

- **maatwerkregels** (regels in een omgevingsverordening of -plan);
- **maatwerkvoorschriften** (projectspecifieke voorschriften in de vergunning).

Voorlopig afwegingskader vergunningverlening

Omdat er nog maar weinig MTO- en HTO-systemen zijn vergund, is er nog geen eenduidig beleid voor deze maatwerkvoorschriften. Wel verscheen in 2021 vanuit het onderzoeksproject WarmingUp hiervoor een handreiking met een set toetsingscriteria en vergunningsvoorschriften dat in aanvulling op de BUM Bodemenergie door provincies en omgevingsdiensten kan worden gebruikt ([Voorlopig afwegingskader voor vergunningverlening HTO](#), KWR en IF Technology, 2021).

In deze handreiking staat dat opwarming boven 25°C is toegestaan, mits bijvoorbeeld wordt aangetoond dat andere grondwatergebruikers niet negatief worden beïnvloed en de temperatuurstijging bij beschermingsgebieden en strategische voorraden beperkt blijft tot maximaal 3°C. Daarnaast moet bij de vergunningsaanvraag een monitoringsplan worden ingediend om de effecten goed te kunnen volgen. Daarbij wordt onderscheid tussen een minimaal monitoringsprogramma, bedoeld voor systemen waarvan de effecten goed voorspelbaar zijn of klein worden geacht, en een uitgebreidere 'onderzoeksmonitoring' die daarnaast ook bijdraagt aan verdere kennisontwikkeling en de onderbouwing van het minimale programma.

Monitoringskader MTO

Binnen het TKI-project is in overleg met de provincie Zuid-Holland en op basis van het voorlopig afwegingskader voor HTO een monitoringskader voor MTO-systemen opgesteld.

Dit kader wordt momenteel toegepast en meerjarig onderzocht bij de systemen die aan dit project deelnemen. Voorlopig volgt het monitoringskader MTO grotendeels de opzet uit het afwegingskader HTO: op basis van de huidige kennis is er geen reden om voor een gegeven range aan temperaturen boven de 25°C meer of minder monitoring voor te schrijven.

Het doel van het TKI-project is juist om door het meerjarig uitvoeren van de onderzoeksmonitoring te bepalen of het minimale monitoringsprogramma voldoende is of juist nog verder gereduceerd kan worden, en in hoeverre er onderscheid kan worden gemaakt tussen de effecten van MTO en HTO. Aan het einde van het project wordt het kader dan ook geactualiseerd op basis van de laatste inzichten.

Tabel 6.1 - Voorgestelde minimale monitoringsvereiste bij MTO Systemen. Bron: monitoringskader MTO (Bijlage E).

Categorie	Parameters referentiemeting en herhaling na twee jaar	Parameters jaarlijkse meting
Veldmetingen	Temperatuur, pH, EC, O ₂	Temperatuur, pH, EC, O ₂
Macrochemie	Cl, HCO ₃ , SO ₄ , NO ₃ , PO ₄ , Br, DOC, Na, Ca, Fe, Mn, K, Mg, Si, NH ₄ , CH ₄	Cl, HCO ₃ , SO ₄ , NO ₃ , PO ₄ , Br, DOC, Na, Ca, Fe, Mn, K, Mg, Si, NH ₄ , CH ₄
Microchemie	As, Ba, B, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn	As
Microbiologie	ATP	ATP

Tabel 6.1 Tabel 6.1 geeft de analyselijst voor de minimale monitoringsopzet. Qua frequentie bestaat deze uit een referentiemeting, gevolgd door een jaarlijkse herhaalmeting. De opzet voor de onderzoeksmonitoring is uitgebreider, met als belangrijkste verschillen:

- er wordt een monitoringsput verwacht, wat veel meer inzicht geeft in variatie van effecten in ruimte en tijd;
- de frequentie van bemonstering ligt hoger: twee keer per jaar in plaats van één keer.

Specifiek provinciaal beleid

Zuid-Holland heeft relatief veel ervaring met het vergunnen van OBES-systemen met hogere opslagtemperaturen. Afwijkend van de standaardregels zijn hier sowieso al pieken tot 30°C toegestaan, zolang de gemiddelde temperatuur van het retourwater tijdens koeling niet boven 25°C komt.

Bij recent verleende geldt aanvullend dat in de eerste vijf jaar maximaal drie keer zoveel warmte mag worden opgeslagen als teruggekoeld (warmteoverschot 300%), en daarna maximaal twee keer zoveel (200%). Dit moet doelmatig energiegebruik en beperkte thermische impact waarborgen. Voor de doorgerekende MTO-systemen en ondergrondtypen in Hoofdstuk 3 lijkt aan deze eis te kunnen worden voldaan (Hoofdstuk 3).

In andere provincies, zoals bijvoorbeeld Drenthe en Utrecht, zijn specifieke watervoerende lagen aangewezen waar MTO en HTO wel of niet worden toegestaan, wat resulteert in meer of minder restrictief beleid. Een uitgebreid overzicht van specifiek provinciaal beleid wordt gegeven in het [Juridisch Achtergronddocument HTO](#) (IF Technology en KWR, 2020).

7 Conclusie en aanbevelingen

Middentemperatuuropslag (MTO) is een essentieel nieuw element in de verduurzaming van de glastuinbouw, met name voor warmtevraagrijke teelten in kassen die zijn aangesloten op een geothermie- of restwarmtebron. Bij een doordachte integratie is MTO economisch aantrekkelijk, zeker in een markt met stijgende warmtepreizen. Het systeem maakt het mogelijk om laaggeprijsde zomerwarmte efficiënt op te slaan en in de winterperiode optimaal te benutten.

Conclusies

- MTO is met name interessant bij intensieve, warme teelten (orchidee, tomaat, paprika/komkommer);
- Minimale schaal: gasverbruik $\geq 500.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$;
- Voor extensieve teelten/kleine bedrijven is MTO nu meestal niet rendabel, door te weinig vollasturen;
- MTO is interessant als er relatief goedkope zomerwarmte beschikbaar is zoals bijvoorbeeld geothermie;
- MTO helpt om verwarmingskosten te reduceren door warmte in de zomer op te slaan en in de winter te gebruiken.
- De referentie warmteprijs in de glastuinbouw wordt komende jaren fors hoger. Hiermee wordt MTO sneller interessant.
- Kostprijs om warmte een seizoen op te slaan is ongeveer **11-42 €/MWh** voor intensieve teelten. Dit is exclusief de inkoopkosten van de (zomer)warmte, maar inclusief inkoopkosten elektriciteit, afschrijvingen, warmteverlies en inclusief MEI subsidie;
- MTO zit in de pilotfase. Een reguliere OBES-vergunning is niet mogelijk, een maatwerk/pilotvergunning is wel mogelijk. Beleids- en vergunning-onzekerheid is een drempel voor opschaling. Hier wordt aan gewerkt.

Aanbevelingen voor de individuele ondernemer

- **Kansrijk voor ondernemers met geothermie:** MTO is momenteel het meest kansrijk voor ondernemers in die al een geothermie-aansluiting hebben of daar zicht op hebben.
- **Maak een eerste haalbaarheidscheck:** kijk hoe MTO in uw energiesysteem past. Denk aan beschikbare warmtebronnen, investeringskosten, subsidies en terugverdientijd. Een quickscan helpt om snel te zien of het de moeite waard is om verder te gaan.
- **Kijk naar optimalisatie opties:** kijk welke bronnen je naast geothermie mogelijk kan koppelen, waaronder verder uitkoelen van de retourleiding van de geothermie, de rookgassen van de WKK, of het onttrekken van warmte uit de kas of de sloot.
- **Betrek vergunningverlener vroeg:** sommige provincies zijn al verder in het vormgeven van de regels omtrent vergunningverlening dan anderen. Neem vroegtijdig contact op met het bevoegd gezag om de mogelijkheden en vereisten voor een MTO-project te bespreken.

Aanbevelingen voor de branche en beleid:

- **Landelijke opschaling via pilots:** zorg dat pilots niet beperkt blijven tot enkele provincies. Landelijke uitrol versnelt praktijkervaring en geeft ondernemers duidelijkheid. Brancheorganisaties kunnen provincies actief overtuigen van de voordelen.
- **Ontwikkel een helder vergunningenkader:** na afronding van het TKI-pilotproject moet er een helder beoordelings- en vergunningskader beschikbaar komen. Dit geeft ondernemers de mogelijkheid om MTO ook buiten een pilotstatus toe te passen zonder lange procedures. Dit kan waarschijnlijk via twee sporen: of het Rijk gaat kaders bieden via het BKL en BAL, of het wordt maatwerk via provinciale verordeningen (en beleid). Voor rechtsgelijkheid heeft optie 1 de voorkeur.
- **Stimuleer samenwerking en kennisdeling:** structurele monitoring en kennisuitwisseling binnen "Kas als Energiebron" versnelt de leercurve en vergroot vertrouwen bij zowel ondernemers én vergunningverleners.

A. Begrippenlijst

Afkaptemperatuur

De afkaptemperatuur is de minimale temperatuur waarbij de warmte uit de bron nog direct (zonder warmtepomp) nuttig kan worden ingezet in de kas.

Aquifer

Een watervoerende laag in de ondergrond (meestal zand) die geschikt is voor de onttrekking en infiltratie van grondwater voor energieopslag.

Aquathermie

Het winnen van warmte of koude uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) of drinkwater (TED).

Bodemenergiebalans

De verhouding tussen de hoeveelheid warmte en koude die over een jaar verdeeld in de bodem wordt geïnjecteerd. Voor een duurzame exploitatie en volgens de vergunning (zie bijlage E) moet deze balans over een periode van meerdere jaren gemiddeld nul zijn.

COP (Coefficient of Performance)

De verhouding tussen de geleverde nuttige warmte en de daarvoor gebruikte elektriciteit door een warmtepomp. Hoe hoger de COP, hoe efficiënter het systeem.

Debiet

De hoeveelheid water die per tijdseenheid door een bron of leiding stroomt, meestal uitgedrukt in kubieke meter per uur (m^3/h).

Geohydrologie

De wetenschap die zich bezighoudt met de verspreiding en beweging van grondwater in de bodem.

HTO (Hoge Temperatuur Opslag)

Opslag van warmte in de bodem bij temperaturen boven de 60°C.

Infiltratie

Het terugpompen van gebruikt grondwater in de bodem via een infiltratieput.

MTO (Midden Temperatuur Opslag)

Opslag van warmte in de bodem bij temperaturen tussen de 25°C en circa 50°C.

OBES (Open Bodemenergiesysteem)

Een systeem waarbij grondwater wordt opgepompt, door een warmtewisselaar wordt geleid en vervolgens weer in de bodem wordt geïnjecteerd. Ook wel bekend als WKO.

Scaling

De afzetting van mineralen (zoals kalk of ijzer) in warmtewisselaars of bronfilters, vaak veroorzaakt door temperatuurveranderingen in het grondwater.

Thermische batterij / Buffer

Een (meestal bovengrondse) tank gevuld met water om tijdelijke overschotten aan warmte of koude op te slaan en pieken in de vraag op te vangen.

TKI

Topsector Kennis en innovatie.

WKO (Warmte-Koudeopslag)

De meest gebruikte term voor open bodemenergiesystemen met een temperatuurgrens tot 25°C.

B. Technische aspecten ontwerp MTO

Dit hoofdstuk beschrijft in meer detail de technische aspecten die van toepassing zijn bij het ontwerpen van een open bodemenergiesysteem/MTO.

Dimensionering bronnen

Voor het juiste ontwerp van de grondwaterput, het aantal benodigde doubletten en de plaatsing van de bronnen zijn er twee belangrijke aspecten: het benodigde vermogen (kW) uit de bron(nen) en de jaarlijkse hoeveelheid energie die moet worden opgeslagen (kWh/jaar).

Vermogen uit de bron(nen)

Het vermogen dat kan worden geleverd met de bronnen volgt uit het temperatuurverschil tussen de bronnen (ΔT) en het debiet, tijdens warmtelevering:

$$P = (T_{uit,w} - T_{in,k}) * Q * C_w$$

Met P het vermogen in kW, $T_{uit,w}$ de temperatuur uit de warme bron ($^{\circ}\text{C}$), $T_{in,k}$ de temperatuur geïnjecteerd in de koude bron ($^{\circ}\text{C}$), Q het verpompte debiet (m^3/uur) en C_w de volumetrische warmtecapaciteit van water ($\sim 4.2 \text{ MJ}/^{\circ}\text{C}/\text{m}^3$).

Aan het begin van de ontladperiode is de temperatuur uit de warme bron ($T_{uit,w}$) het hoogst, maar deze daalt naarmate de bron leeg raakt en het seizoen vordert, waardoor ook ΔT afneemt. Hoe snel de temperatuur daalt is zeer afhankelijk van het specifieke ontwerp (temperatuurniveaus, energiebalans) en de lokale bodemopbouw (zie voorbeelden in Hoofdstuk 0 en Bijlage DD).

Om te kunnen voldoen aan een bepaald minimaal vermogen moet dus voor de te verwachte minimale ΔT een maximaal debiet worden ontworpen. Een robuuste bron wordt zo ontworpen dat deze gedurende de levensduur van het systeem mee kan (voorkomen putverstopping, opbarsting en schade aan omgeving). Er zijn een aantal ontwerpnormen ontwikkeld die zich de afgelopen

decennia hebben bewezen, de NVOE-norm wordt het vaakst toegepast voor onttrekking ([Bloemendal et al. 2020](#)):

$$v_{max} = \frac{K}{12}$$

Met v_{max} de maximale ontwerpsnelheid op de boorgatwand (m/uur) om zandlevering en daarmee putverstopping te voorkomen en K de doorlatendheid van het opslagpakket in m/d . Het maximale debiet voor een bron kan dus worden berekend als:

$$Q_{max} = v_{max} * (2\pi r) * l$$

Met Q_{max} het maximale debiet (m^3/uur), r de radius van het boorgat (bijvoorbeeld 0,3 tot 0,5m) en l de lengte van het putfilter. Het maximale debiet per put neemt toe voor een langer putfilter, een grotere diameter van het boorgat en een hogere doorlatendheid van het opslagpakket. Om in een bepaald minimaal debiet, en dus vermogen, te kunnen voorzien kunnen meerdere brondoubletten nodig zijn.

Plaatsing van de bronnen

Met de plaatsing van de bronnen moet rekening worden gehouden met het te verwachten opslagvolume. Naarmate er een groter (jaarlijks) volume wordt opgeslagen neemt het opgewarmde volume rondom de put toe. Voldoende afstand tussen de warme en koude bron(nen) moet ervoor zorgen dat negatieve interactie wordt voorkomen. De straal van het thermische volume (R_{th}) dat zich in een jaar vormt rondom een bron wordt berekend volgens:

$$R_{th} = \sqrt{\frac{V * C_w}{C_{aq} * \pi * L}}$$

Met V het jaarlijkse opslagvolume in een bron (m^3/jaar), C_{aq} de volumetrische warmtecapaciteit van de (bulk) aquifer ($\text{J}/^{\circ}\text{C}/\text{m}^3$) en L de dikte van het opslagpakket (m). In de praktijk worden bronnen van het verschillende types vaak op een afstand van minimaal twee keer de thermische straal geplaatst.

Bij plaatsing van de bronnen kan in de praktijk echter ook de bovengrondse beschikbare ruimte doorslaggevend zijn (bijvoorbeeld rondom de kas).

Onderhoud en monitoring van bronnen

De huidige ervaring met OBES-bronnen laat zien dat deze over het algemeen gedurende ruim de gehele levensduur van het bovengrondse energiesysteem kunnen blijven functioneren (bijvoorbeeld >30 jaar). De levensduur van de bronpomp is over het algemeen 10 tot 15 jaar, deze behoort tot de standaard herinvestering tijdens het onderhoud. Als een bron verstopt raakt zijn er methodes die bronboorbedrijven kunnen toepassen om de bron weer te schoon te maken (regeneratie). Normaliter wordt er jaarlijks onderhoud toegepast door een erkend installatie- of boorbedrijf om de bronnen te onderhouden.

Bovengronds: het energiesysteem van de MTO

Het bovengrondse systeem bestaat uit een aantal componenten die hieronder toegelicht worden. Dit hoofdstuk geeft een eerste indruk van hoe zo'n systeem eruitziet. Een echt ontwerp moet door een BRL-6000-21 gecertificeerde partij worden opgesteld.

Warmteafgiftesysteem kas

In de glastuinbouw worden verschillende warmteafgiftesystemen gebruikt, variërend van lage tot hoge temperatuur: vloerverwarming, ondernet, luchtverwarming, buisrail, bovennet en groeibuis. Afhankelijk van de benodigde temperatuur kan MTO het afgiftesysteem direct voeden of via een warmtepomp.

Welk systeem het meest geschikt is om door MTO te worden gevoed, hangt af van meerdere factoren:

- **Definitie van 'beste':** energetisch en economisch kunnen sterk verschillen.
- **Aanvoer- en retourtemperatuur:** het water dat naar de koude bron gaat mag niet te warm zijn, anders neemt de capaciteit van MTO af (ΔT).
- **Benodigd vermogen:** MTO heeft een beperkt piekvermogen.

- **Aanpassingen in hardware en software:** het voeden van een relatief kleine warmtevrager zoals een groeibuis kan veel inspanning vergen, terwijl het aandeel in de totale warmtevraag beperkt is.

Warmtepomp

De warmte uit een MTO kan in sommige gevallen direct worden gebruikt voor het verwarmen van de kas. Wanneer de gewenste afgiftetemperatuur hoger is dan de temperatuur van het water uit de warme bron is opwaardering met een warmtepomp nodig. Hoe kleiner het temperatuurverschil dat de warmtepomp moet overbruggen, hoe hoger de COP (rendement) en dus de efficiëntie. In het [Handboek Warmtepompen](#) is de werking van warmtepompen uitgebreid beschreven.

Het laden van de MTO: Geothermie

Geothermie is een zeer geschikte warmtebron om MTO in de zomer op te laden. Daarbij is het een pré als de warmteprijs in de zomer laag ligt. Voor elk type kas is onderscheid gemaakt tussen bedrijven mét en zonder aansluiting op een geothermienet. De beschikbaarheid van geothermie heeft direct invloed op hoe het MTO-systeem wordt ingezet. Het grote voordeel van een geothermie-aansluiting is dat de MTO direct kan worden geladen op een temperatuur van 50°C, zonder dat er elektriciteit nodig is om de laadtijdtemperatuur te bereiken. Daarnaast is de kostprijs van geothermie warmte buiten het stookseizoen over het algemeen laag. In deze studie is een zomer kostprijs van geothermie meegenomen van 5 €/MWh. Dit gaat uit van een mogelijkheid om in de zomer goedkoop te kunnen contracteren via een handelsplatform zoals in het Westland. Bij andere geothermieprojecten geldt soms een integrale prijs per jaar. In dat geval zal de inkoop van warmte en stuk kostbaarder zijn.

Een interessante optimalisatie is het koppelen van de MTO-bron aan de retour van de geothermie. Deze retourstroom (40–50°C) bevat nog aanzienlijke restwarmte. Met een warmtepomp kan de temperatuur verder worden verlaagd

tot de toegestane waarde (meestal rond de 30°C). De extra gewonnen warmte kan worden ingezet voor het laden van de MTO.

Het laden van de MTO: Kaskoeling en koelmachines

Bij teelten die in de zomer koeling toepassen, kan de condensorwarmte van de koelmachines worden benut om MTO op te laden. Normaal gesproken heeft de condensor van de kaskoeling een temperatuur die ongeveer 10°C boven de buitentemperatuur ligt, zodat overvloedige warmte eenvoudig aan de buitenlucht kan worden afgevoerd. Wanneer deze warmte wordt gebruikt om MTO te laden, moet de condensortemperatuur worden verhoogd tot circa 50°C om de gewenste laadtijdtemperatuur te bereiken. Dit vraagt om een economische afweging: bij welke buitentemperatuur is deze methode rendabel? Hoe groter het temperatuurverschil tussen buitenlucht en MTO, hoe hoger het elektriciteitsverbruik voor het laden van MTO vergeleken met het afvoeren van warmte naar buiten. Daardoor liggen de kosten voor het laden van MTO bij lage buitentemperaturen hoger (grotere ΔT overbruggen).

Het laden van de MTO: Aquathermie

Als derde warmtebron kan aquathermie worden toegepast. In de zomer liggen de brontemperaturen meestal tussen de 10 en 25°C. Met een warmtepomp kan deze warmte worden opgewerkt naar circa 50°C, geschikt voor het laden van MTO. Het nadeel is dat de temperatuursprong groot is: van 10–25°C naar 50°C. Hierdoor is het laden van MTO op deze manier alleen kosteneffectief bij lage elektriciteitsprijzen.

Het laden van de MTO: WKK warmte

Er zijn momenten waarop een WKK kan draaien vanwege de verdiensten op de elektriciteitsmarkt waarbij de warmte niet nuttig ingezet kan worden en de dagbuffer vol is. Met een MTO heeft een teler meer flexibiliteit. Als aanvullende bron kan de MTO ook worden gebruikt om de rookgassen van de WKK verder te koelen.

Inzet van het MTO-systeem bij een koelvraag

Het MTO-systeem kan op verschillende manieren worden ingezet, afhankelijk van de warmte- en koudevraag. Voor de koudezijde zijn er twee opties:

- **standaardstrategie:** het retourwater wordt met ongeveer 25°C in de koude bron (lauwe bron) gepompt;
- **alternatieve strategie:** u kunt ervoor kiezen om de koude bron op een lagere temperatuur te houden, bijvoorbeeld 10°C. Dit maakt het mogelijk om in de zomer koude uit de bron direct te benutten (zonder inzet van de warmtepomp) voor koeling van de kas.

Bedrijven met een grote koelvraag kunnen kiezen voor de alternatieve strategie. Het nadeel van deze tweede optie is dat de warmtepomp extra elektriciteit verbruikt om het water in de winter verder af te koelen. Omdat we aannemen dat elektriciteit in de winter significant duurder is, verwachten we dat deze strategie vaak duurder uitpakt. Als de koude/lauwe bron in de zomer niet koud genoeg is, dan kan deze met een koelmachine goedkoop worden teruggekoeld in de zomer.

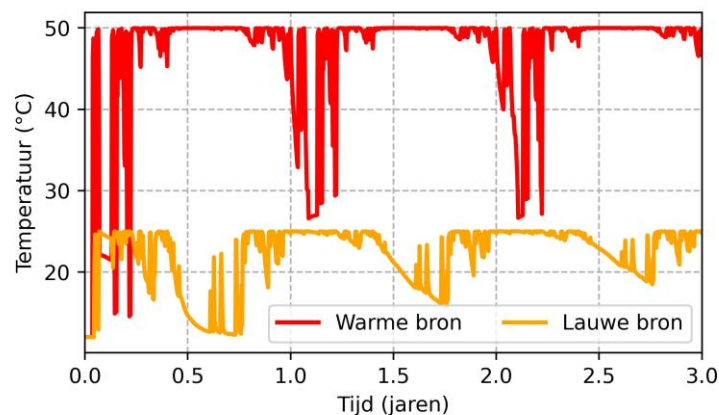
Een ander voordeel van het toch hanteren van een koudere bron, is om de koude bron in de lente of zomer te gebruiken om de retour van de geothermie terug te koelen. De geoogste warmte kan dan worden gebruikt om de MTO bij te laden.

Temperatuurverloop warmte en lauwe bron MTO door inzet assets

Aan het begin van het stookseizoen heeft de lauwe bron een temperatuur tussen 10 en 25°C. Tijdens het stookseizoen koelt de warme bron geleidelijk af naarmate er warmte wordt onttrokken. Omdat het temperatuurverschil tussen de warme bron en de lauwe bron bepalend is voor de hoeveelheid warmte die kan worden overgedragen, daalt de temperatuur van de lauwe bron in deze periode mee. Dit is geen actieve sturing, maar een thermisch gevolg van het systeem: bij iedere ontlaadcyclis wordt relatief warm water uit de warme bron opgepompt en na warmtewisseling op een iets lagere temperatuur teruggevoerd

naar de lauwe bron. Hierdoor volgt de lauwe bron de temperatuurdaling van de warme bron met enige vertraging. Dit effect is weergegeven in Figuur 7.1 . Het valt op dat de temperatuur van de lauwe bron veel minder snel daalt dan die van de warme bron. De lauwe bron daalt echter minder snel in temperatuur dan de warme bron. De belangrijkste afkoeling van de lauwe bron vindt namelijk plaats in de zomer, wanneer relatief veel water uit deze bron wordt onttrokken voor koeling of voor het laden van de warme bron. Door deze onttrekkingen stroomt kouder grondwater van buiten naar de bron toe, waardoor de lauwe bron op natuurlijke wijze afkoelt.

In de winter wordt het retourwater richting de lauwe bron gestuurd op circa 25 °C. Dit voorkomt dat de warmtepomp het retourwater verder moet afkoelen dan nodig is en houdt het elektriciteitsverbruik beperkt.



Figuur 7.1 – Temperatuur van een MTO doublet gedurende een periode van drie jaar

C. Model beschrijving energiesysteem bovengrond

Er is één model gemaakt voor de vier fictieve voorbeeldbedrijven. Dit model wordt gevoed met informatie over de fictieve voorbeeldbedrijven zoals welke warmtebronnen aanwezig zijn en hun vermogen, de warmte en koudevraag per uur en het aandeel eigengebruik in de elektriciteitsopwekking ten behoeve van de WKK-inschakelprijs. Hiernaast is een gedeelte van de input gelijk voor elke casus zoals de elektriciteitsprijs, buitentemperatuur en energiebelasting. Met deze input vult de het model de warmtevraag van elk uur in waarbij rekening wordt gehouden met de prioritering van de warmtebronnen.

Modelinput die verschilt per voorbeeldbedrijf

In onderstaande tabel is per representatief voorbeeldbedrijf weergegeven welke warmtebronnen zij hebben en op welke plek in de prioriteringslijst deze warmtebron staat.

Warmtebron prioriteit en beschrijving	2ha potplant	5ha orchidee	5ha belicht tomaat	5ha onbelicht komkommer
prio 1: condensorwarmte van koelinstallatie		X		
prio 2: WKK direct		X	X	X
prio 3: dagbuffer - WKK indirect		X	X	X
prio 4: geothermie direct	X	X	X	X
prio 5: MTO ontladen	X	X	X	X
prio 6: gasketel	X	X	X	X

Aannames dimensionering van assets

Voor de dimensionering van de assets, ofwel de warmtebronnen, zijn de volgende uitgangspunten aangehouden. Deze uitgangspunten zijn vastgesteld op basis van de kennis van de aangesloten experts en bedrijven.

WKK vermogen elektrisch	500	kW _e / ha
Dagbuffer	1.000	m ³ / ha
Geothermie aansluiting	150	kW _{th} / ha
MTO aantal doubletten	op basis van praktijkvoorbeelden	
MTO debiet per doublet	100	m ³ / hr

Aandeel eigengebruik in elektriciteitsproductie

De onderstaande aannames zijn aangehouden voor het aandeel eigengebruik in de elektriciteitsproductie. Dit aandeel bepaalt de inschakelprijs voor de WKK en daarmee het aantal draaiuren. Het aantal draaiuren is reëel wanneer wordt vergeleken met de WKK Barometer.

2ha potplant	-
5ha orchidee	70%
5ha belicht tomaat	100%
5ha onbelicht komkommer	30%

Modelinput die gelijk is voor elke casus

Buientemperatuur

KNMI de bilt 2024

Energetische doorrekening

Het energetische model berekent gedurende één jaar op uurbasis de inzet van de warmtebronnen. Hierin is zowel het laden als het ontladen van de MTO meegenomen. Om dit mogelijk te maken zijn twee aannames gedaan.

- 1 De temperatuur van het water uit de lauwe bron is bepaald op basis van de verhouding tussen de laadtoestand en lauwe bron temperatuur uit eerdere thermo hydraulische modeleringen. Wanneer de thermo hydraulische

modellering uitgevoerd is kan de daadwerkelijke lauwe bron temperatuur als input gebruikt worden in energetische model.

- 2 Het warmteverlies van de MTO is benaderd door te kijken naar het warmteverlies van gestabiliseerde MTO's uit eerdere thermo hydraulische modeleringen. Dit warmteverlies betreft 20% en dit is meegenomen in de energetische modellering door altijd 20% meer te laden dan te ontladen.

Het gevolg van aanname 1 is dat er minder kortstondige variatie in de lauwe bron temperatuur zit, dit heeft een verwaarloosbaar effect op de resultaten. Het gevolg van de tweede aanname is tweeledig. Wanneer het verlies in de thermo hydraulische modeleringen hoger is dan de benadering uit de energetische modellering dan zal het systeem er langer over doen om te stabiliseren. Wanneer het verlies in de thermo hydraulische modeleringen lager is dan de benadering uit de energetische modellering dan zou er meer warmte uit de bron onttrokken kunnen worden dan nu gedaan wordt. Beide gevolgen zullen +/- 10% effect hebben op de uitkomsten zijn daarom nauwkeurig genoeg voor deze doorrekening. Deze, en andere, optimalisaties en verdiepingen kunnen in een vervolgonderzoek meegenomen worden.

Het model doorloopt de volgende rekenstappen die overeenkomen met de prioritering van de warmtebronnen. De warmtevraag wordt stap voor stap ingevuld tot dat de volledige warmtevraag van dat uur gedekt is. In sommige uren zijn alle stappen benodigd en in andere uren enkel de eerste stap.

- 3 **Condensorwarmte.** De condensorwarmte die resulteert van de koelvraag wordt op twee manieren berekend.
 - a Wanneer de warmte naar de buitenlucht wordt gebracht.
 - b Wanneer de warmte naar 50°C aflevert temperatuur wordt gebracht.
 De warmtevraag wordt ingevuld met de beschikbare condensorwarmte op 50°C. Wanneer deze warmte gebruikt wordt zal de bijbehorende extra elektrische compressorenergie meegenomen worden in het elektriciteitsverbruik.
- 4 **WKK.** Wanneer de verdiensten op de elektriciteitsmarkt hoger zijn dan de gaskosten schakelt de WKK in. Hierbij is rekening gehouden met de

belastingen op zowel elektriciteit als aardgas waarbij de belasting op aardgas afhankelijk is van het aandeel eigengebruik in de resulterende elektriciteitsproductie. De warmte uit de WKK wordt direct gebruikt om de warmtevraag in te vullen, het overschot wordt opgeslagen in de dag buffer.

- 5 **Dagbuffer.** Wanneer er warmte in de dagbuffer zit wordt deze gebruikt om de warmtevraag in te vullen tot dat de dag buffer leeg is.
- 6 **Geothermie.** Directe inzet van geothermie om de warmtevraag in te vullen.
- 7 **MTO laden en ontladen.** Het laden van de MTO gebeurt met condensor warmte en geothermie warmte. Alle warmte van deze twee bronnen die niet direct gebruikt wordt om de warmtevraag in te vullen wordt gebruikt om de MTO te laden. Bij condensorwarmte wordt hierbij dan ook de extra elektrische energie om de warmte op 50°C te krijgen toegerekend aan de MTO als kosten. Het ontladen van de MTO wordt gebruikt om de warmtevraag in te vullen.
- 8 De resterende warmtevraag wordt gedekt door de gasketel.

Financiële doorrekening

Kostprijs warmtepomp

Voor de warmtepomp is een kostprijs op basis van kentallen en budgetprijs aanvragen van warmtepompleveranciers uitgekomen op 300€/kW. Daarnaast is er een vaste kostenpost van 100k€ voor aanvullend leidingwerk genomen. Over het totaal van dit bedrag is de MEI subsidie van 40% toegepast ([bron](#)).

Kostprijs MTO

Voor de kostprijs van de MTO installatie is per doublet 300k€ aangehouden. Afhankelijk van de jaarlijks benodigde warmtevraag voor de kas en het potentieel te bufferen warmte is het aantal doubletten per voorbeeldbedrijf bepaald.

Energiekosten en belasting

De kosten van energie zijn opgebouwd uit de commodity prijs en energiebelasting.

Voor de kosten van gas is er een kostprijs van 45€/MWh aangehouden en voor elektra is de EPEX prijs van 2025 toegepast.

Bij de energiebelasting is er rekening gehouden met het glastuinbouw tarief aan de hand van het percentage eigengebruik elektra uit WKK.

Tabel 7.1 - Toegepaste energiebelasting per casus

Teelt	% eigengebruik elektra uit WKK	Gas	Elektra
	[%]	[€/MWh]	[€/MWh]
Orchidee	70%	14,0	43,0
Tomaat	100%	12,2	43,0
Paprika/komkommer	30%	15,6	43,0
Extensieve teelt	0%	17,0	60,0

Aandeel nettarieven in warmteprijs MTO

De nettarieven zijn in de berekeningen voor de warmteprijs niet meegenomen omdat dit per netbeheerder en afhankelijk van het type bedrijf verschilt. In de situaties waarin de warmtepomp voor de MTO aangesloten kan worden binnen de huidige contractcapaciteit is zal enkel het variabele kWh tarief toegevoegd moeten worden op de warmteprijs van de MTO. Dit komt -vertaald in toeslag- neer op de warmteprijs van tussen de 2,5 en 5 €/MWh.

Wanneer het gecontracteerde vermogen uitgebreid dient te worden voor de plaatsing van de warmtepomp zal er een tarief tussen de 6 en 10 €/MWh geleverde warmte toegevoegd moeten worden op de warmteprijs van de MTO.

Onderhoudskosten

Voor het onderhoudskosten van de warmtepomp is 2% van de aanschafprijs per jaar aangehouden. Voor het onderhoud van de MTO €5.000 per jaar.

Afschrijving installatie

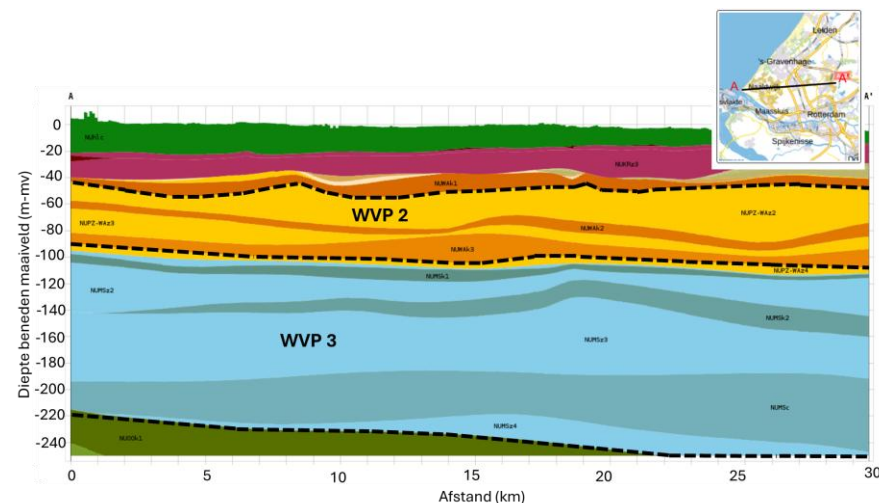
Voor de afschrijving van de installatie is een termijn van 15 jaar aangehouden waarin de installatie lineair wordt afgeschreven.

D. Simulatie en analyse ondergrondse prestaties MTO

Beschrijving ondergrond en filterstelling OBES in het westen van Nederland

Op dit moment worden er al relatief veel open bodemenergiesystemen toegepast bij glastuinbouwbedrijven in het westen van Nederland. In deze regio worden de putfilters van deze systemen meestal geplaatst in het tweede watervoerende pakket (WVP2) of het derde watervoerende pakket (WVP3) (Figuur 7.2). WVP2 bestaat voornamelijk uit de formatie van Peize en Waalre, WVP3 uit de formatie van Maassluis. Door de wijze van sedimentatie en afzetting zijn deze lagen heterogeen, de laagopbouw (overgang kleiig naar zandig) en de geohydrologische eigenschappen (doorlatendheid, porositeit) kunnen op lokale schaal sterk variëren. Op regionale schaal kunnen er een aantal duidelijke afsluitende lagen worden gedefinieerd: (1) de afsluitende laag boven WVP2 en (2) de afsluitende laag tussen 80 a 100m diepte die de overgang van WVP2 naar WVP3 markeert. Op basis van het regionale model Regis II ([bron](#)) en de boringen van reeds gerealiseerde OBES kan de gemiddelde horizontale doorlatendheid van zandige eenheden worden ingeschat. In WVP2 in deze regio ligt dit tussen de 10 en 20 m/d, voor WVP3 is dit grofweg 5 tot 15 m/d.

In de zandige delen van WVP2 en/of WVP3 worden filters gesteld, afgesloten door een afsluitende laag (kleiig/ziltig) aan de boven- en onderkant van het zandige pakket. In de praktijk varieert de totale lengte van het putfilter dat gesteld wordt in deze pakketten tussen de 10 en 50 meter per put. Daarbij bestaat het filtertraject soms uit meerdere filtersecties. Over het algemeen liggen filtersecties dicht bij elkaar. In sommige gevallen kunnen er twee watervoerende lagen worden gebruikt die hydraulisch niet verbonden zijn (afsluitende laag tussen de watervoerende lagen). Daarbij wordt over het algemeen geprobeerd om WVP2 en WVP3 niet te combineren, maar in sommige gevallen wordt dit wel gedaan.



Figuur 7.2 Doorsnede van de ondergrond tot 250m diepte van Hoek van Holland (A) tot Bleijswijk (A'), aangepast uit Regis II model (V2.2.3, [broloket.nl](#)). De lagen van ~50m tot ~100m worden over het algemeen tot het 2^e watervoerende pakket (WVP 2) gerekend en de lagen van ~100m tot ~230m tot het 3^e watervoerende pakket (WVP 3).

Geohydrologische ontwerp van de twee representatieve voorbeeldcasussen voor simulaties

Zoals hierboven beschreven is de geohydrologische laagopbouw lokaal sterk variabel. De filterstelling en karakteristieken van de gekozen opslaglaag en afsluitende lagen kunnen dus sterk verschillen per systeem. Twee representatieve voorbeeldcasussen zijn gedefinieerd om de variatie in ondergrondcondities mee te nemen. In deze studie worden de simulatieresultaten gebruikt om de prestaties van MTO voor verschillende condities te berekenen. Omdat de energetische prestaties van de bron niet worden beïnvloed door lagen op grotere afstand van het opslagpakket wordt slechts een deel van de gehele laagopbouw (zoals in Figuur 7.2) meegenomen voor de simulatie. Om de gebruikte laagopbouw generiek te maken is er

gekozen om twee goed afgesloten zandlagen te kiezen met daarin één putfilter. Bij ondergrond A heeft de opslaglaag een dikte van 20m, bij ondergrond B een dikte van 40m. De horizontale (K_h) doorlatendheid van casus A is 16% lager dan de doorlatendheid in casus B (15 ten opzichte van 18 m/d respectievelijk). De ratio tussen de horizontale en verticale doorlatendheid (anisotropiefactor) is voor ondergrond A een factor 10. Voor ondergrond B is een factor 3 aangenomen. Qua te verwachten terugwinrendement zijn hierbij voor ondergrond A steeds relatief gunstige, en voor ondergrond B relatief ongunstige waarden gekozen. De waarden van andere thermische en hydrogeologische eigenschappen zijn gelijk gesteld voor beide casussen (zie voor meer informatie [Beernink et al. \(2024\)](#)). Het is aangenomen dat de filterstelling volkomen is; het filter start dus direct bij het begin van het zandpakket (op -25m diepte) en eindigt waar de afsluitende kleilaag aan de onderkant begint.

Tabel 7.2 - Kenmerken van ondergrondeigenschappen toegepast voor ondergrond A en B.

A	Laag	Dikte [m]	K_h	K_v	B	Laag	Dikte [m]	K_h	K_v
	[type]		[m/d]	[m/d]		[type]		[m/d]	[m/d]
	Klei	25	0.05	0.005		Klei	25	0.05	0.005
	Zand	20	15	1.5		Zand	40	18	6
	Klei	25	0.05	0.005		Klei	25	0.05	0.005

Maximale debiet per bron

Het maximale debiet per bron is locatiespecifiek en wordt vaak bepaald op basis van de injectie- en onttrekkingsnormen ([Bloemendal et al. 2020](#)) zoals ook beschreven in hoofdstuk 5. In sommige gevallen kan de injectienorm beperkend zijn. In de simulaties is echter geen limiet gesteld aan de capaciteit per put. Wel stopte het gesimuleerde systeem met onttrekken wanneer de temperatuur uit de warme bron $<30^{\circ}\text{C}$ is.

Beschrijving en uitgangspunten thermo-hydraulisch model

De prestaties van het ondergrondse systeem zijn gesimuleerd met SEAWATv4, een numeriek model dat het MODFLOW en MT3DMS model combineert en daarbij temperatuurs-afhankelijke dichtheid en viscositeit meeneemt ([bron](#)).

De volgende aannames zijn gebruikt:

- een volkomen putfilter in het watervoerende pakket (begint en eindigt bij overgang klei/zand, zie Tabel 7.2);
- geen invloed van natuurlijke grondwaterstroming (verwachting is dat dit slechts kleine invloed heeft in deze regio);
- simulatie tijdstap is per dag (uurdata input wordt opgeschaald tot dagdata);
- ruimtelijke plaatsing bronnen wordt niet meegenomen (uitgegaan van één thermische bel voor zowel de lauwe als de warme bron met een axisymmetrisch model);
- homogene geohydrologische en thermische eigenschappen van de lagen in het model.

Beoordelingscriteria

Het gedrag en de prestaties van de MTO kunnen worden beoordeeld op basis van een aantal parameters (Tabel 7.3). Een goed functionerend systeem heeft een relatief kleine volume-onbalans (dicht bij 1), hoog rendement van de bronnen en het systeem (dicht bij 1) en een klein relatief (cumulatief) warmteoverschot (dicht bij 100%).

Tabel 7.3 - Criteria om het gedrag en de prestaties van MTO te beoordelen.

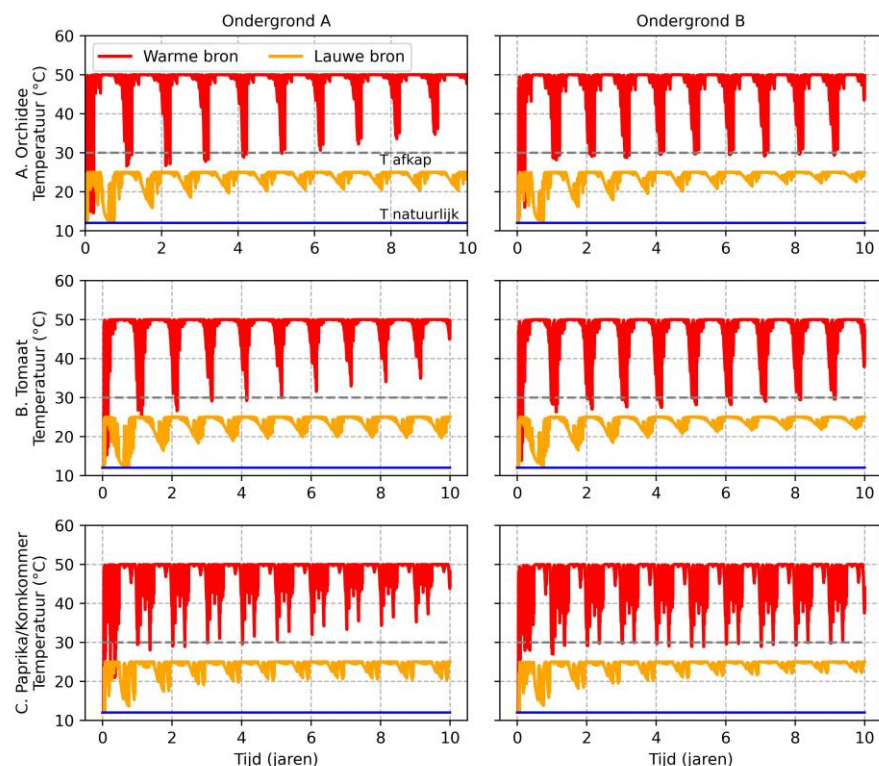
Parameter	Wat zegt het?	Berekening
Volumebalans (per jaar)	Balans tussen de warme en koude/lauwe bron. Bij $V_{rel} > 1$ wordt er dus meer volume onttrokken uit de warme bron.	$V_{rel} = \frac{V_{ontladen}}{V_{laden}}$
Rendement bronnen (per jaar)	Het rendement van één bron van het systeem (warm of koud/lauw), berekend ten opzichte van de natuurlijke grondwatertemperatuur	$\eta_{bron} = \frac{E_{uit}}{E_{in}}$ $\eta_{bron} = \frac{\sum Q_{uit} \cdot (T_{uit} - T_{nat}) \cdot C_w}{\sum Q_{in} \cdot (T_{in} - T_{nat}) \cdot C_w}$
Rendement systeem (per jaar)	Het rendement van het systeem als geheel. De geladen en ontladen energie wordt gedefinieerd door het temperatuurverschil tussen de warme en koude/lauwe bron van het systeem.	$\eta_{sys} = \frac{E_{ontladen,sys}}{E_{laden,sys}}$ $\eta_{sys} = \frac{\sum Q_{ontladen} \cdot (T_{w,uit} - T_{k,in}) \cdot C_w}{\sum Q_{ontladen} \cdot (T_{w,in} - T_{k,uit}) \cdot C_w}$
Relatieve warmteoverschot systeem (cumulatief)	Het cumulatieve warmteoverschot (%) laat zien wat de verhouding is tussen de cumulatieve hoeveelheid geladen energie ten opzichte van de energie die weer is ontladen (altijd > 100%).	$f_{wo} = \frac{\sum E_{laden,sys}}{\sum E_{ontladen,sys}} \cdot 100$

Resultaten simulaties

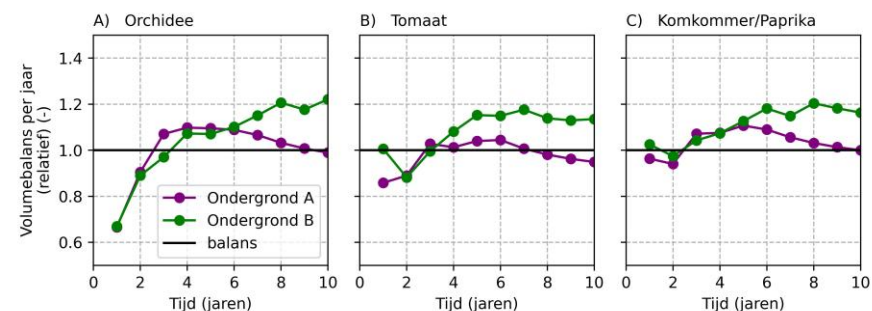
De gesimuleerde temperaturen van de warme en lauwe bron van de zes situaties (drie types glastuinbouwbedrijven, twee types ondergronden) is gepresenteerd in Figuur 7.3. In de eerste jaren wordt de temperatuur van de warme bron regelmatig gelijk aan, of lager dan, de afkaptemperatuur (30°C).

Voor ondergrond A is dit na een jaar of vijf geen probleem meer. Voor ondergrond B blijft er gedurende het ontladseizoen een moment waar de warme brontemperatuur onder de afkaptemperatuur komt (en het ontladen van warmte dus stopt). Ondergrond A heeft kleinere warmteverliezen omdat het systeem vanwege de lagere doorlatendheid (Tabel 7.2) minder sterk wordt beïnvloed door oprijvingseffecten. Omdat het warme opgeslagen water lichter, en minder visceus, is kan warmte naar bovenkant van de opslaglaag drijven, en daardoor minder goed worden teruggewonnen. In pakketten die een hogere doorlatendheid hebben en dikker zijn (zoals bij ondergrond B), kunnen sterkere warmteverliezen door oprijving plaats vinden (Beernink et al. 2020). Echter, de mate van de verliezen is ook sterk afhankelijk van de grootte van het opslagsysteem. Voor een MTO met een groter opslagvolume (meer warmteopslag per jaar) zullen ook de relatieve warmteverliezen tijdens opslag in ondergrond B lager worden.

Afhankelijk van het temperatuurverschil tussen de bronnen en of de afkaptemperatuur wordt bereikt, wordt er meer of minder volume verpompt tijdens het laden en ontladen van het systeem voor een bepaalde warmtevraag/overschot. Omdat er grotere warmteverliezen tijdens opslag zijn in ondergrond B is er meer volume nodig om de warme bron te laden (afhankelijk van de temperatuurafname in de lauwe bron) en de warme bron te ontladen (afhankelijk van de temperatuurafname in de warme bron), zie Figuur 7.4.



Figuur 7.3 - Gesimuleerde temperaturen voor de warme en lauwe bron per voorbeeldbedrijf (Boven = Orchidee, Midden = Tomaat, Onder = Paprika/Komkommer) voor de twee types ondergronden (A & B). Dat is per dag en gesimuleerd voor tien jaar.

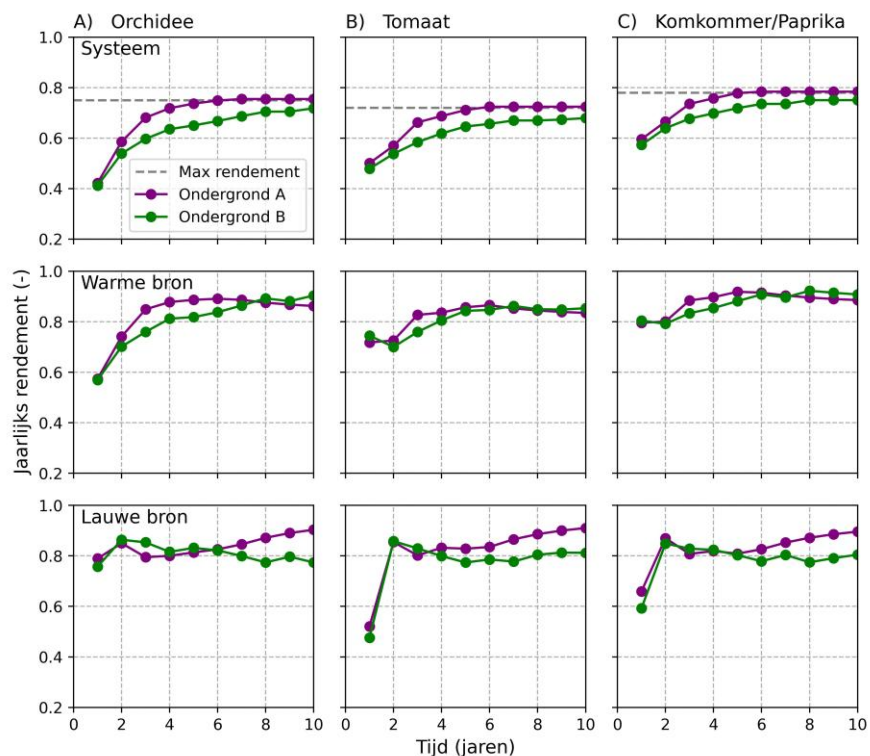


Figuur 7.4 - Jaarlijkse relatieve volumebalans tussen de bronnen (bij $V_{rel} > 1$ is er relatief meer volume uit de warme bron onttrokken).

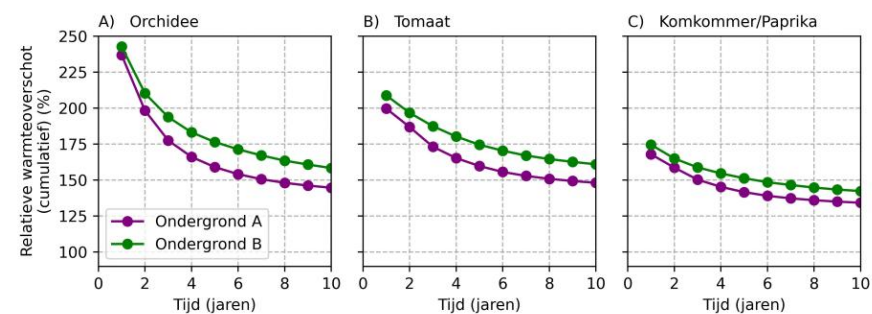
Op basis van de verpompte volumes en temperaturen in/uit de bronnen is het rendement van het systeem als geheel, en voor de warme bron en de lauwe bron berekend per jaar (Figuur 7.5). Het terugwinrendement van de bronnen varieert tussen 0,78 en 0,91 in jaar 10. Voor het systeem varieert dit tussen 0.7 en 0,78.

Warmteverliezen nemen toe met hogere opslagtemperatuur en daarom zijn de warmteverliezen in de lauwe bron kleiner dan in de warme bron (hoger bronrendement in lauwe bron). Echter, doordat er meer volume wordt onttrokken uit de warme bron (vooral bij ondergrond B) is het rendement van de warme bron in sommige gevallen hoger dan de lauwe bron.

Het systeemrendement laat zien hoeveel van de (bruikbare) warmte die jaarlijks wordt opgeslagen weer wordt teruggewonnen. Op basis hiervan kunnen de cumulatieve verliezen die in de ondergrond achterblijven worden berekend (Figuur 7.6). Doordat er ieder jaar relatief meer warmte wordt teruggewonnen (toename systeemrendement) neemt het jaarlijkse relatieve cumulatieve warmteoverschot af in de tijd.



Figuur 7.5 - Jaarlijks rendement van het systeem (boven), de warme bron (midden) en de lauwe bron (onder) van jaar 1 - 10 voor de drie type voorbeeldbedrijven en ondergrond A & B.



Figuur 7.6 - Jaarlijks relatieve cumulatieve warmteoverschot van het MTO systeem (boven), de hete bron (midden) en de warme bron (onder) van jaar 1 - 10 voor de drie type voorbeeldbedrijven en ondergrond A & B.

E. Voorlopig monitoringskader MTO

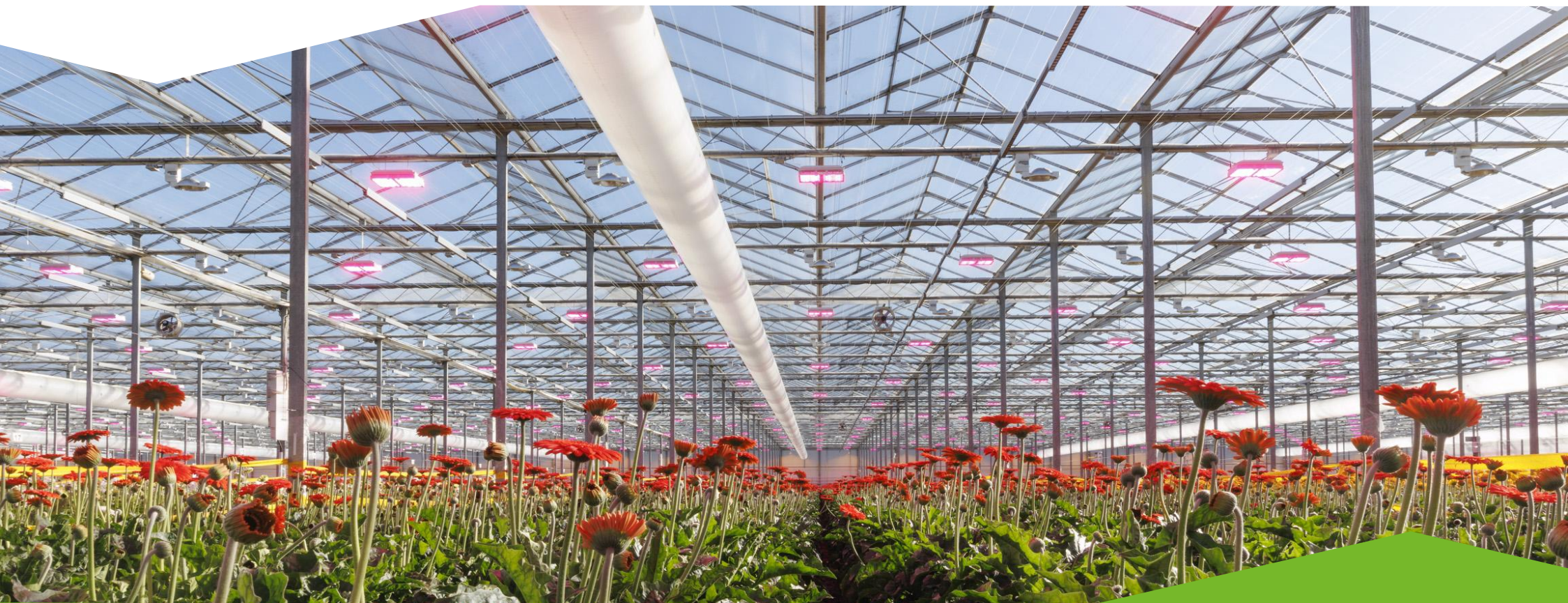
Het voorlopig monitoringskader MTO is als aparte bijlage beschikbaar.

F. Praktijkcase: Van onbalans naar een innovatief MTO-systeem bij Koppert Cress in Monster

De Praktijkcase Koppert Cress is als aparte bijlage beschikbaar.



**KAS ALS
ENERGIEBRON**



KLIMAATNEUTRALE GLASTUINBOUW IN 2040

Van

Gillian Schout, Stijn Beernink, Martin van der Schans

Onderwerp

Voorlopig monitoringskader MTO

Datum

11 januari 2026

Bestemd voor

Consortium MTO Glastuinbouw project

Pagina

1/8

1 Aanleiding

Conventionele Open Bodemenergie Systemen (OBES) (< 25 °C) worden al veelvuldig toegepast in de glastuinbouwsector. MTO (middelhoge temperatuuropslag tot ongeveer 50 °C) heeft potentie om de glastuinbouwsector verder te helpen verduurzamen. Echter, op dit moment is OBES met temperaturen boven de 25 °C (of in sommige gevallen 30 °C) in principe niet toegestaan. Bovendien moet er in het huidige wetgevend kader sprake zijn van een energiebalans, ofwel de hoeveel koude die in de ondergrond wordt opgeslagen moet gelijk zijn aan de hoeveel warmte. Afhankelijk van de precieze inpassing zal het hanteren van een energiebalans bij MTO systemen echter moeilijk tot onmogelijk zijn.

Desondanks is het onder de Omgevingswet mogelijk om MTO onder voorwaarde te vergunnen zolang wordt aangetoond dat het belang van de functies van de bodem niet in het geding zijn. Door toepassing van maatwerkregels kan op basis van artikel 4.1152 van het Besluit Activiteiten Leefomgeving (Bal) een infiltratietemperatuur hoger dan 25 graden en een warmteoverschot toegestaan worden. Binnen het TKI-project 'MTO voor de glastuinbouw' wordt van deze mogelijkheid gebruik gemaakt door het opzetten en vergunnen van meerdere MTO pilots in de provincie Zuid-Holland. Naast onderzoek naar de meerwaarde en optimale inpassing van MTO in de glastuinbouw, wordt via deze pilots de wetenschappelijke basis verder ontwikkeld om tot een set voorwaarden te komen waaronder MTO in de toekomst kan worden vergund en hoe de effecten van deze systemen moeten worden gemonitord.

Omdat standaardvoorwaarden hiervoor momenteel nog ontbreken wordt ten behoeve van de pilotlocaties in dit project in deze notitie de precieze opzet van de gewenste monitoring in meer detail omschreven. Vervolgens kan deze dan locatie-specifiek worden uitgewerkt, begroot, en uitgevoerd. De hier voorgestelde monitoring volgt in de basis het 'Voorlopig afwegingskader vergunningverlening HTO' dat eerder opgesteld is voor HTO¹ (binnen het WarmingUP project). In deze notitie is deze in meer detail uitgewerkt zodat deze toepasbaar is bij de betrokken glastuinbouwbedrijven. Binnen het MTO glastuinbouwproject wordt het hier voorgestelde monitoringskader van 2026 tot 2028 bij de verschillende pilotlocaties in de praktijk beproefd. Op basis van de ervaringen en analyse van de monitoringsgegevens vindt in 2028 een evaluatie en update van dit monitoringskader plaats.

¹ Bloemendal, M., Oerlemans, P., & Schout, G. (2021). *Voorlopig afwegingskader voor vergunningverlening HTO. Juridisch afwegingskader ondergrondse warmteopslag.*

2 Uitgangspunten en informatiebehoefte

2.1 Algemene uitgangspunten

Monitoring HTO vs. MTO

Bij aanvang is er geen reden om voor MTO, vanwege de lagere temperaturen, uit te gaan van verminderde effecten en daardoor een lagere monitoringsinpanning t.o.v. HTO. De microbiologische activiteit van veel bacteriën is niet lineair afhankelijk van de temperatuur en juist maximaal in het bereik van MTO-systemen. Ook chemische processen die beïnvloed worden door de microbiologische activiteit kunnen daarom in theorie ook juist sterker plaatsvinden bij middelhoge temperaturen. In hoeverre effecten van MTO verschillen van de effecten bij conventionele OBES aan de ene kant en HTO aan de andere is een van de onderzoeksdoelen, waarmee op termijn een inhoudelijke rechtvaardiging opgebouwd kan worden voor een meer afgeslankte en kosteneffectieve monitoring.

Nut en noodzaak monitoringsput

Bij ieder systeem wordt een monitoringsput aangelegd, ook wanneer het gaat om het opwaarderen van een bestaand OBES-systeem tot een MTO systeem. Een dergelijke put geeft veel meer zicht op de variatie in chemische en microbiologische effecten in zowel tijd als ruimte, maar vooral ook de verspreiding van de temperaturen. Daarmee geeft de put ook belangrijk operationeel inzicht in het functioneren van het systeem. Bovendien kan de aanleg van een monitoringput dienen als proefboring en gebruikt worden ter verificatie van de geschiktheid van de ondergrond en het opstellen van een definitief ontwerp.

Generieke versus onderzoeksmonitoring

Voor de monitoring van de in het TKI-project te ontwikkelen MTO-systemen wordt de lijn gevolgd zoals uitgezet voor onderzoeks/pilotprojecten in het voorlopig afwegingskader voor HTO, en een kleine aanpassing van de parameterlijst hierin volgens Schout et al. (2023)². In dit afwegingskader wordt ook al voorzien een in afgeslankte set monitoringsvereisten welk vooral verschilt van de 'onderzoeksmonitoring' in termen van (1) vereiste van een monitoringsput en (2) de monitoringsfrequentie en analyselijst. Deze afgeslankte generieke monitoring kan worden ingezet als basis voor vergunningen en bij projecten waarbij de te verwachte effecten al goed bekend zijn en verdere kennisontwikkeling geen doel is. Waar kennisontwikkeling wel een doel is wordt dus aanvullend ook om de in deze notitie in detail omschreven onderzoeksmonitoring gevraagd.

2.2 Informatiebehoefte

Het monitoringskader in dit document heeft primair tot doel de thermische, chemische en microbiologische effecten van een MTO-systeem effectief te beoordelen. De voorgestelde monitoring richt zich hierop, maar is ook geschikt voor het evalueren van systeemprestaties en optimalisatie. De informatiebehoefte waarin het monitoringskader probeert te voorzien omvat:

1. WATERVERPLAATSING EN ENERGIEHuishouding

Bepaald moet kunnen worden hoe groot de warme bel is rond iedere bron (en het systeem als geheel), wat het warmteoverschot is en het opslagrendement (de keerzijde van het warmteoverschot). Om deze vraag goed te beantwoorden zijn minimaal flowmeters en temperatuursensoren nodig op iedere bron, die

² Schout, G., Hartog, N., & Timmers, P. (2023). KWR 2023.120 | Waterkwaliteitseffecten bij en monitoring van HTO-systemen: Synthese en update op basis van de monitoring bij HTO Middenmeer.

het debiet en de temperatuur (minimaal op uurbasis) registreren.

2. Temperatuurverdeling in de ondergrond

Belangrijk is vast te stellen of de daadwerkelijke temperatuurspreiding overeenkomt met verwachtingen of dat er preferente stromingsrichtingen zijn door achtergrondstroming, opdrijving of heterogeniteit. Dit is nodig om lange termijneffecten te schatten. Om dit te kunnen doen moet de temperatuur bij de monitoringsput in de opslaglaag op verschillende diepte gemeten worden (minimaal 2), en om verspreiding naar bovenliggende lagen te meten ook tenminste één temperatuurmeting in de 1^e watervoerende laag boven de 1^e afsluitende laag (aquitard) boven de opslaglaag.

3. Ontwikkeling chemische samenstelling grondwater

Om iets te kunnen zeggen over de ontwikkeling van de chemische grondwatersamenstelling is bemonstering en analyse nodig, zowel bij (een van de) bronnen als bij de monitoringsput, in combinatie met een betrouwbare meting van de nulsituatie. De details van het voorgestelde bemonsteringsprogramma worden in Hoofdstuk 4 van dit monitoringskader toegelicht.

Vanwege de hoge kosten is dit niet hoogfrequent mogelijk en ook niet altijd in alle bronnen bij systemen met meerdere dubletten. Aanvullend hierop zijn daarom inline-metingen per bron van de geleidbaarheid ofwel EGV (indicatie zoutgehalte) en pH gewenst, om inzicht te krijgen in de variatie in tijd en ruimte van de effecten en onderscheid te kunnen maken tussen effecten veroorzaakt door temperatuur en door vermenging (hetgeen ook bij conventionele OBES optreedt).

4. Ontwikkeling microbiologie grondwater

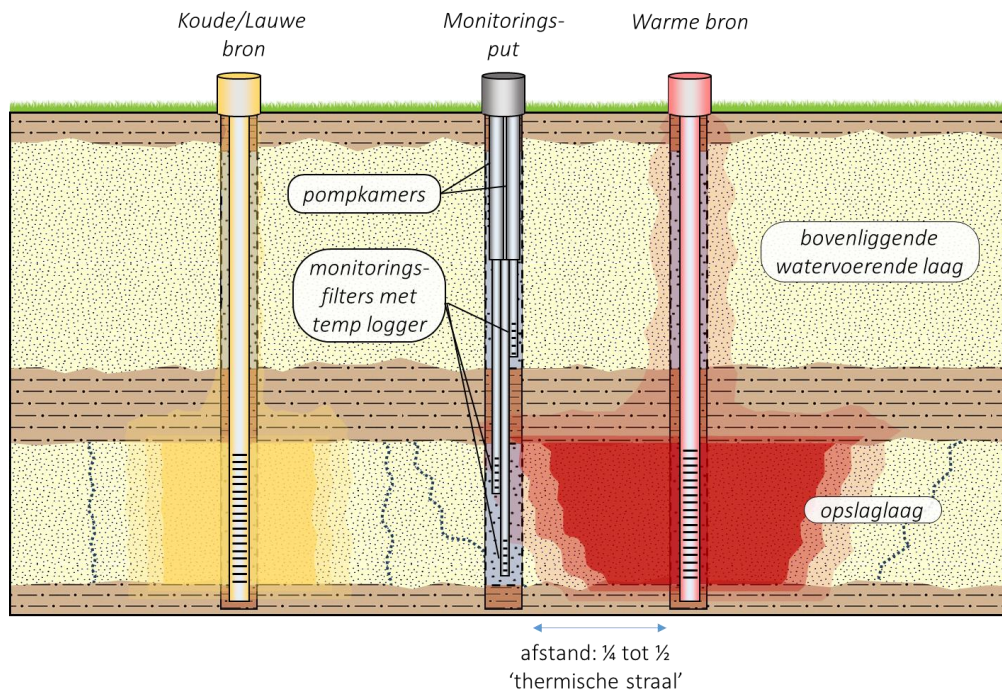
Voor microbiologische analyses is goede bemonstering cruciaal. Uit afgeronde projecten bij Koppert Cress³ en NIOO⁴ blijkt bijvoorbeeld dat (1) opbouw van biofilm in de peilbuis vermeden moet worden door peilbuizen luchtdicht af te sluiten, (2) bemonstering met laag debiet nodig is en (3) bredere buizen gebruikt moeten worden (pompkamers) om verstoring van eventuele biofilm aan de peilbuiswand tijdens bemonstering te voorkomen.

3 Voorgesteld ontwerp en aanleg

Voor een gedegen monitoring die voldoet aan de hierboven beschreven informatiebehoefte en uitgangspunten, moet bij de aanleg van systemen met enkele aspecten rekening worden gehouden. Het ontwerp hieronder dient daarbij als richtlijn; in de uitvoering kan hiervan worden afgeweken, zolang de informatiebehoefte geborgd blijft. Ter verduidelijking is dit ontwerp op hoofdlijnen onderstaande schematische figuur.

³ Bloemendal, M., Beernink, S., van Bel, N., Hockin, A., & Schout, G. (2020). KWR 2020.156. Transitie open bodemenergiesysteem Koppert-Cress naar verhoogde opslagtemperatuur Evaluatie van energiebesparingen en grondwatereffecten.

⁴ Oerlemans, P., & Drijver, B. (2021). Effects of HT-ATES on the subsurface-the NIOO case study An evaluation of the effects of a HT-ATES system (45 °C) on the subsurface.



3.1 Monitoringsput

De monitoringsput wordt geboord tot tenminste dezelfde beoogde diepte als de bronnen. In veel gevallen wordt ook gewerkt met een proefboring die vervolgens wordt uitgerust als een monitoringsput. Daarbij zijn verder de volgende aspecten van belang.

- De monitoringsput komt idealiter op ongeveer $\frac{1}{4}$ tot $\frac{1}{2}$ van de thermische straal van de warme bron komen (een maat voor de omvang van het thermisch beïnvloede volume rond een open bodemenergiesysteem). Deze wordt bepaald a.d.h.v. zo realistisch mogelijke schattingen van het volume water dat verpompt zal worden. Voorkomen moet worden dat de monitoringsput volkomen buiten de door temperatuur beïnvloede zone komt. Daarom kan het opslagvolume beter conservatief ingeschat worden.
- Indien mogelijk wordt de put geplaatst tussen de warme en lauwe/koude bronnen in, wederom om te voorkomen dat de monitoringsput buiten de door temperatuur beïnvloede zone te liggen komt.
- In de put worden tenminste 3 peilbuizen geïnstalleerd – 1 in de watervoerende laag boven de opslaglaag, 1 bovenin de opslaglaag, en 1 onderin de opslaglaag. In de opslaglaag zijn tenminste twee peilbuizen nodig om het verschil in grondwatersamenstelling binnen de opslaglaag te kunnen bepalen. Op basis daarvan kunnen de effecten van vermenging door het rondpompen beter bepaald worden.
- Alle drie deze peilbuizen worden uitgerust met een pompkamer om goede microbiologische analyses mogelijk te maken (zie figuur). De pompkamers hebben een minimale diameter van 3", reiken tot een diepte van tenminste 30 m-mv, en worden luchtdicht afgewerkt.
- Bij de installatie wordt een glasvezelkabel (DTS, distributed temperature sensing) geïnstalleerd.
- Deze peilbuizen worden verder uitgerust met een temperatuurlogger welke wordt ingehangen op de diepte van het filter.
- De pompkamers dienen aan maaiveld zoveel mogelijk luchtdicht waarvoor een geschikte kabeldoorvoer nodig is. De peilbuizen in de opslaglaag dienen sowieso waterdicht te worden afgewerkt i.v.m. nabijgelegen injectiebronnen.

- Voor overige te installeren (ondiepere) peilbuizen is een pompkamer noch een temperatuurlogger van belang.
- De peilbuizen dienen na installatie te worden schoongespoeld, zodat zich natuurlijk grondwater in de peilbuizen bevindt bij oplevering.

3.2 Bronnen

Indien nieuwe bronnen/doubletten geboord moeten worden zijn bij de inrichting van deze bronnen de volgende aspecten van belang.

- Bij het boren van bronnen wordt indien mogelijk gebruikt gemaakt van werkwater afkomstig uit de opslaglaag, bijvoorbeeld uit de monitoringsput. Daarmee wordt voorkomen dat al bij het boorproces verschillende watertypen in de opslaglaag vermengd worden en hierdoor de nulsituatie.
- Bij het boren wordt niet gebruik gemaakt van biologische afbreekbare boorspoelingsadditieven. Dit om de interpretatie van de microbiologische effecten niet te vertroebelen.
- Bij tenminste een van de bronnen wordt een glasvezelkabel geïnstalleerd. In aanvulling op de temperatuurloggers kan dit gedetailleerd inzicht geven in de temperatuurverdeling in het filterbereik. Bij een systeem met meerdere bronnen ligt het voor de hand dit te doen bij de bron het dichtst bij de monitoringsput.

Voor zowel het ombouwen van bestaande bronnen of het inrichten van nieuwe bronnen zijn de volgende aspecten van belang:

- Elke individuele bron dient te worden uitgerust met een bemonsteringskraan.
- Op de leiding van iedere bron komt zowel een temperatuur- als een flowmeter.
- Tenminste de bron waaruit ook de bemonstering zal plaatsvinden (idealerweise de bron het dichtst bij de monitoringsput) wordt uitgerust met een EGV (Elektrisch Geleidingsvermogen) en pH (zuurgraad) sensor.

4 Monitoring chemische en microbiologische waterkwaliteitseffecten

Voor monitoring van effecten is een goede bepaling van de nulsituatie noodzakelijk. Daarvoor gelden de volgende aandachtspunten:

- Voor nieuw aangelegde systemen vindt de nulmeting plaats voor ingebruikname van het systeem op alle peilbuizen van de monitoringsput.
- De nulmeting bij een bestaand systeem (in een al dan niet nieuw aangelegde monitoringsput) wordt idealiter uitgevoerd aan het einde van winter, wanneer de warme bron maximaal ontladen is.
- De nulmeting wordt uitgevoerd tenminste 1 maand na ontwikkeling van de monitoringsput. Het heeft echter de voorkeur hier zo lang mogelijk mee te wachten, zodat het grondwater rondom de peilbuizen zoveel mogelijk de kans heeft gekregen om terug te bewegen naar de natuurlijke samenstelling.
- Indien vanuit operationeel oogpunt een indicatie van de grondwatersamenstelling al eerder noodzakelijk is kan ervoor gekozen worden om direct na oplevering een meting te doen met alleen de daarvoor gewenste parameters, om vervolgens later de echte nulmeting te doen.
- Aanvullend geldt ook de eerste meting vanuit de koude/lauwe bron als belangrijke nulmeting van de gemiddelde grondwatersamenstelling in de opslaglaag. Dit omdat tijdens de laadperiode veel natuurlijk grondwater naar de koude put stroomt en daarom kan deze bemonstering een betrouwbaar (referentie)beeld geeft. Het is daarmee essentieel dat deze (goed) wordt uitgevoerd.

Gedurende de operationele fase vindt de monitoring als volgt plaats:

- Ieder jaar zijn er twee bemonsteringsrondes. Meetmoment 1 vindt plaats tijdens de laadperiode (zomer), als circa $\frac{1}{4}$ tot $\frac{1}{2}$ van het jaarlijks verwachte opslagvolume is onttrokken uit de koude bron. Meetmoment 2 vindt plaats tijdens de ontladperiode (winter), als circa $\frac{1}{4}$ tot $\frac{1}{2}$ van het beoogde onttrekkingsvolume uit de warme bron is onttrokken.
- In het geval dat er meerdere bronnen/doubletten zijn wordt voor de bemonstering bij de bron gekozen voor de bron het dichtst bij de monitoringsput. Van belang is in ieder geval dat ieder jaar dezelfde bemonsteringslocatie gekozen wordt.
- Bij iedere ronde wordt een monster genomen uit (1) de bovenste peilbuis in de opslaglaag van de monitoringsput en (2) het bovengrondse leidingcircuit (een bemonsteringskraan bij de bron voordat het water van de verschillende bronnen samenkomt). Aandachtspunt hierbij is dat de bron voor monsternamen wel actief doorstroomt moet worden (dus niet tijdens of vlak na stilstand).
- Monsters voor microbiologische analyse in de monitoringsput worden genomen met een pomp die diep in de pompkamer gehangen wordt en op een constant laag debiet onttrekt.

Voor zowel de nulmeting als de monitoring in de operationele fase geldt dezelfde analyselijst. Het volledige chemische en microbiologische monitoringsprogramma is schematisch in onderstaande tabel weergegeven. Dit schema wordt aangehouden tenminste gedurende de looptijd van dit project.

Analysepakket en bemonsteringsschema bij pilot MTO systemen											
Categorie	Sub-categorie	Parameters	Nulmeting			Zomer (laden)			Winter (ontladen)		
			WB	KB	MP	WB	KB	MP	WB	KB	MP
Veldparameters		Temperatuur, pH, EGV, O ₂	•	•	•		•	•	•		•
Macro-ionen	Anionen	Cl, HCO ₃ , SO ₄ , NO ₃ , NO ₂ , PO ₄ , Br, F	•	•	•		•	•	•		•
	Kationen	Na, Ca, Fe, Mn, K, Mg, NH ₄	•	•	•		•	•	•		•
Micro-chemie	Specifiek (indicator en KRW)	As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Mo, Hg, Pb, Ni, V, Zn	•	•	•		•	•	•		•
	Compleet ¹	Al, Ag, Be, Cu, Li, Sb, Se, Sn, Sr, Te, Tl, Ti, U, W, Zr	•	•	•						
Organische chemie		DOC	•	•	•		•	•	•		•
		CH ₄	•	•	•		•	•	•		•
Microbiologie	Standaard	ATP	•	•	•		•	•	•		•
		NGS	•	•	•		•	•	•		•
	Specifieke pathogenen ²	E. coli, C. perfringens, Legionella, Stenotrophomonas maltophilia, Bacteriën van de Vibrio groep, Naegleria fowleri, Acanthamoeba spp									

HB = Hete bron, WB = Warme/koude bron, MP = monitoringsput.

¹ Herhaalmetingen van het complete pakket aan sporenelementen alleen noodzakelijk bij directe aanleiding, zoals sterke toename in andere sporenelementen.

² Alleen bij directe aanleiding: bijvoorbeeld sterke verandering in concentratie ATP of zuurstofindringing (> 1 mg/l) in de bronnen

5 Generieke monitoring

Het in deze notitie omschreven monitoringskader is ontwikkeld voor MTO-locaties waar de effecten vooraf nog niet goed geschat kunnen worden en waar verder onderzoek vereist is, voor de betreffende locatie maar ook in het algemeen belang. Waar dit niet noodzakelijk wordt geacht kan volstaan worden met de onderstaande set parameters en een jaarlijkse bemonsteringsfrequentie (bemonstering tijdens de ontlaadperiode bij de hete/warme bron).

Generieke monitoring MTO systemen		
Categorie	Parameters referentiemeting en herhaling na 2 jaar	Parameter jaarlijkse meting
Algemeen	Temperatuur, pH, EC, O ₂	Temperatuur, pH, EC, O ₂
Macrochemie	Cl, HCO ₃ , SO ₄ , NO ₃ , NO ₂ , PO ₄ , Br, DOC	Cl, HCO ₃ , SO ₄ , NO ₃ , NO ₂ , PO ₄ , Br, DOC
	Na, Ca, Fe, Mn, K, Mg, Si, NH ₄ , CH ₄	Na, Ca, Fe, Mn, K, Mg, Si, NH ₄ , CH ₄
Microchemie	As	As
	Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V	
Microbiologie	ATP	ATP

6 Analyse en interpretatie

Binnen het MTO-glastuinbouw project vindt verwerking van de monitoringsgegevens jaarlijks plaats. Hiervoor is het dus nodig dat alle verzamelde gegevens van de verschillende systemen jaarlijks beschikbaar worden gesteld (denk hierbij aan gegevens van de flowmeters en EGV-sensoren. In 2026 en 2027 worden deze gegevens voor alle locaties samengevat in één notitie. In het laatste jaar van het project (2028) zal een uitgebreide analyse plaatsvinden en opgeschreven in volwaardig eindrapport. Op basis van dit eindrapport wordt het dit monitoringskader geëvalueerd en aangescherpt.

De analyses en rapportages die in het kader van het MTO-glastuinbouw project worden uitgevoerd staan daarmee ook los van mogelijke rapportages die uit vergunningswege worden vereist door de vergunningverlening.

Division Q BV
De Poel 1
2681 MB MONSTER

www.divisionq.nl
info@divisionq.nl

kvk: 87503611
btw: NL864312714B01

Praktijkcase: Van Onbalans naar een Innovatief MTO-systeem bij Koppert Cress in Monster

Door Lynn van Vliet en Bart van Meurs / 30 december 2025

Dit hoofdstuk beschrijft onze reis in de ontwikkeling en optimalisatie van een warmte-koudeopslag (WKO) systeem. Het is een verhaal over ambitie, uitdagingen, innovatie en de stapsgewijze weg naar een duurzaam en gebalanceerd energiesysteem. Wij delen onze ervaringen om andere ondernemers te inspireren en inzicht te geven in de praktijk van Middelhoge Temperatuur Opslag (MTO).

1. Achtergrond

Koppert Cress is een internationaal toonaangevend tuinbouwbedrijf gevestigd in Monster, Westland. Het bedrijf teelt eetbare kiemplanten en bijzondere microgroenten – zogenaamde cressen – die wereldwijd hun weg vinden naar toprestaurants en foodservice. Het bedrijf staat bekend om onze innovatieve en duurzame benadering van zowel teelt als bedrijfsvoering.

Duurzaamheid is bij Koppert Cress geen bijzaak, maar een kernwaarde. Dit komt voort uit de overtuiging van onze CEO Rob Baan, dat gezonde voeding en een gezond voedselsysteem alleen mogelijk zijn wanneer de productie ervan zo klimaatvriendelijk en circulair mogelijk is ingericht. We experimenteren daarom voortdurend met nieuwe teelttechnieken, energieconcepten en samenwerkingen, waarbij de kas fungeert als proeftuin voor innovaties die de hele sector kunnen inspireren.

Het energieverbruik van de glastuinbouw is traditioneel sterk afhankelijk van fossiele brandstoffen. Koppert Cress koos er al vroeg bewust voor om dit patroon te doorbreken en te investeren in duurzame alternatieven. Zo werd vanaf 2010 ingezet op warmte-koudeopslag (WKO) en later op Middelhoge Temperatuur opslag (MTO). Deze keuze vloeyde niet alleen voort uit de wens om de eigen CO₂-uitstoot te reduceren, maar ook uit de ambitie om als praktijkvoorbeeld te dienen voor de sector én de beleidsmakers die het kader scheppen voor duurzame energieoplossingen.

Tegen deze achtergrond past het verhaal dat in dit hoofdstuk van het handboek wordt verteld: de zoektocht naar een innovatief, gebalanceerd energiesysteem dat bijdraagt aan een fossielvrije glastuinbouw.

2. De Ambitieuze Start: een Fossielvrije Toekomst (2010)

Het verhaal begint rond 2010 met de realisatie van de uitbreiding van onze hoofdlocatie op de Poel 1 in Monster, waarbij we in totaal ongeveer 25.000 m² aan teelt, verwerking en kantoorruimte bij kregen. Dit was een periode van sterke groei voor ons bedrijf, niet alleen in omvang maar ook in duurzame ambities. De visie van Rob Baan voor de nieuwbouwkas was helder: we wilden deze niet bouwen op basis van fossiele brandstoffen; een WKK of gasketel was dus geen optie. Geothermie was op dat moment voor ons nog niet in beeld, maar WKO was een bekende en veelgebruikte techniek bij bedrijven die zowel verwarming als koeling nodig hebben; in de tuinbouw bijvoorbeeld kwekers van orchideeën.



Foto: Koppert Cress: locatie De Poel 1, Monster anno 2019

We definieerden ons startpunt met de Warmte-Koudeopslag (WKO), ook wel bekend als Open Bodem Energie Systeem (OBES). Dit systeem maakt gebruik van watervoerende aardlagen (aquifers) om thermische energie tijdelijk op te slaan en later weer te benutten. Daarmee kunnen zowel warmte- als koude-overschotten efficiënt worden gebalanceerd. Een belangrijk aspect van dit systeem was de mogelijkheid om de kas niet alleen te verwarmen, maar ook te koelen. Dit heeft een positief effect op de kieming van onze zaden en de kwaliteit van onze teelt. Dat Koppert Cress haar kassen al verwarmd met laagwaardige warmte (vloerverwarming) maakte de implementatie van WKO en warmtepomp in het teeltsysteem laagdrempelig.

Vanuit dit uitgangspunt ontstond het plan om de gehele nieuwbouw volledig te verwarmen en te koelen met behulp van het WKO/OBES-systeem. Hiervoor was een vergunning van de provincie Zuid-Holland nodig, die bevoegd is voor systemen tot 500 meter diep. De vergunning stelde eisen aan de diepte, het debiet en de temperatuur. In Zuid-Holland geldt een bovengrens van 25°C, ingegeven door geologische factoren (risico op krimp en uitzetting van aardlagen) en om de groei van ongewenste micro-organismen te beperken. De nieuwbouw en WKO-installatie zijn in 2010 gerealiseerd en de WKO is vanaf 2011 operationeel.



3. Een Eerste Uitdaging: Een Systeem in Onbalans

Al snel liepen we tegen de grootste uitdaging van elk WKO-systeem aan: het balanceren van de energie-input en -output. In de praktijk onttrokken we in de winter significant meer warmte dan we in de zomer konden terugstoppen. Deze onbalans had verschillende oorzaken. Door de aanwezigheid van vloerverwarming in ons gehele bedrijf, konden we eenvoudig met behulp van de bronnen ook onze oudere opstanden verwarmen. Zeker aan het begin, toen nog niet de hele nieuwbouwkas in gebruik was, was de koelcapaciteit (lees: de capaciteit om warmte te oogsten) nog zeer beperkt.

Het gevolg was dat we de warme bron "leegtrokken" en de koude bron bleef groeien. Zowel vanuit technisch perspectief (kans op 'kortsluiting') als vanuit de vergunning, is balans vereist. De noodzaak was er dus om hiermee actief aan de slag te gaan.

4. De Zoektocht naar Balans

We onderzochten twee opties: minder warmte onttrekken of meer warmte terugstoppen. De eerste optie was ondenkbaar, want dat zou betekenen dat we meer fossiele brandstoffen moesten inzetten en onze duurzame ambitie moesten laten varen. De focus kwam dus volledig te liggen op het vergroten van de warmte-injectie in de zomermaanden.

We begonnen stap voor stap extra warmtebronnen te koppelen aan ons systeem om de warme bron te "laden":

- De nog in te richten nieuwbouwkassen, werden ingericht met een hogere capaciteit luchtbehandeling dankzij het JSK-systeem van Certhon.
- De warmte die wordt afgevoerd in de grote koelcellen van het bedrijf werd in het systeem benut.
- Alle LEDs (nieuwbouw en vervanging HPS in bestaande kassen) zijn watergekoeld (Oreon), waarbij de restwarmte wordt gebruikt.
- Zonthermie werd toegevoegd om warmte te oogsten van de zon met zonnecollectoren.
- Aquathermie werd toegevoegd om warmte te oogsten vanuit de sloot.

5. Middelhoge Temperatuuropslag

De verwachting was dat de gewenste balans hiermee bereikt zou kunnen worden. Met de geplande realisatie van geothermie kwam er zelfs een overmaat hoogwaardiger warmte in zicht, die in de zomer kan worden gebufferd. Hierdoor ontstond een tweede, parallelle ontwikkeling: de wens om over te stappen naar Middelhoge Temperatuur Opslag (MTO). De logica hierachter is eenvoudig. Het vermogen van een WKO-systeem wordt bepaald door de formule: $P = \Delta T \times \Phi$ (Vermogen = Temperatuurverschil $\times$ Debiet). Door de temperatuur van de warme bron te verhogen, vergroten we de ΔT , wat leidt tot een efficiënter systeem met een hoger vermogen en een kleinere fysieke ruimte-inname. Dit bood enorme potentie voor de verduurzaming van Koppert Cress én een kans voor de hele sector.

Om de stap naar Middelhoge Temperatuur Opslag (MTO) mogelijk te maken, liepen we al snel tegen een beperking in de regelgeving aan: de maximale toegestane opslagtemperatuur in WKO-systemen was 25°C. Op zoek naar ruimte voor innovatie kwamen we in gesprek met het Rijk over de Green Deal, een grootschalig project om duurzame projecten te versnellen door belemmeringen in regelgeving weg te nemen. Binnen dit



kader werd onze praktijkpilot hogere temperatuuropslag bij Koppert Cress opgezet. Het doel: warmte uit kas opslaan op 40°C en later direct benutten, zonder extra opwaardering. Dit zou de jaarlijkse besparing van 1,8 miljoen m³ aardgas equivalent opleveren.

De Green Deal bood de noodzakelijke bestuurlijke steun voor een proefvergunning in samenwerking met provincie Zuid-Holland, én de mogelijkheid om via nauwkeurige monitoring onderzoek te doen naar de effecten van hogere temperaturen in de bodem. Daarmee werd onze MTO-pilot niet alleen technisch haalbaar, maar ook een landelijke testcase voor toekomstig beleid rond warmteopslag. Dit leidde tot het project “Transitie open bodemenergiesysteem Koppert-Cress naar verhoogde opslagtemperatuur, een driejarig project (2017-2020) in samenwerking met KWR. Het doel was om waardevolle inzichten te verkrijgen in wat er daadwerkelijk ondergronds gebeurde. De focus lag op:

- Economische en duurzame voordelen.
- Microbiologische, thermische en geochemische effecten.

Hiervoor werden speciale monitoringsputten geboord om watermonsters te nemen. Daarnaast werd een glasvezelkabel door de aardlagen getrokken, waarmee we een continu temperatuurprofiel van de gehele bron konden meten.

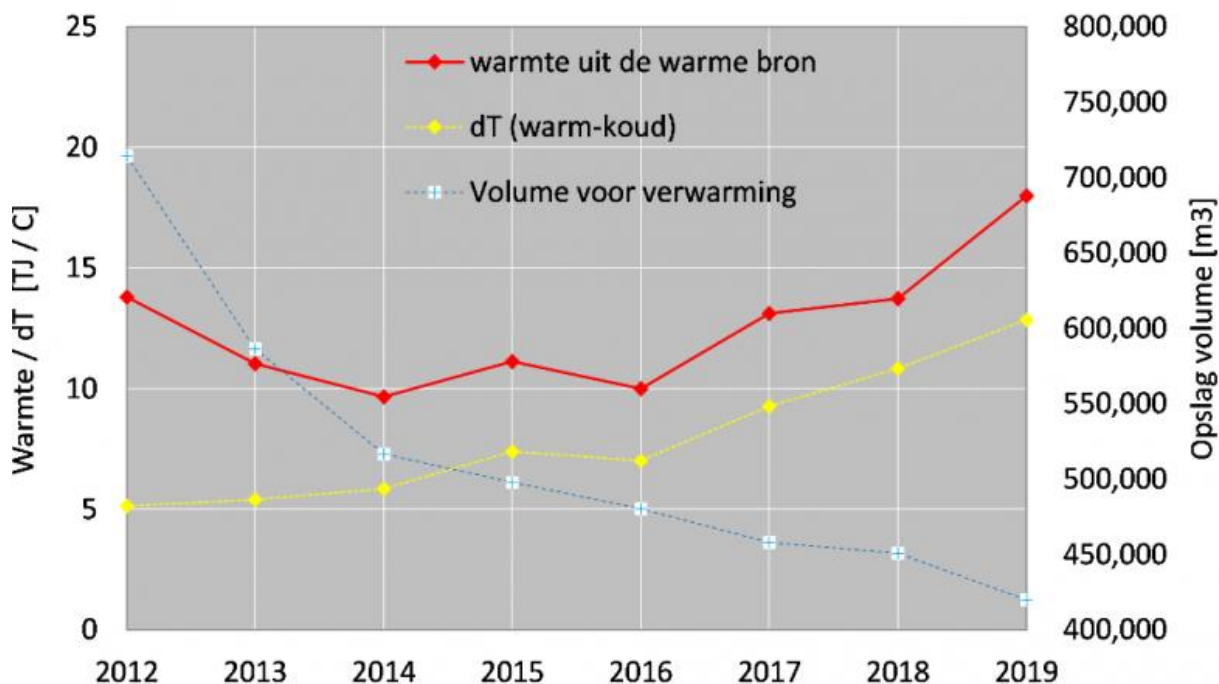


Foto: glasvezelkabel in bodem voor metingen (bron: KWR)

Het project leverde cruciale kennis op over de optimale inzet van het algehele WKO-systeem. Belangrijk daarbij was het draaien van korte cycli: warmte wordt overdag opgeslagen en 's nachts gebruikt. Deze aanpak bleek bijzonder effectief om de beschikbare warmte optimaal te benutten en tegelijkertijd de energie-efficiëntie te verhogen. In tegenstelling tot traditionele lange zomer- en wintercycli, maakt deze werkwijze het mogelijk om een groter deel van de warmtevraag direct te dekken voor afdelingen 1 t/m 4.

Daarnaast liet de monitoring zien dat hogere infiltratietemperaturen in de warme bron (tot 40 °C) aanzienlijke voordelen opleveren voor de inzet van duurzame warmte. Het werd veel eenvoudiger om interne restwarmte bijvoorbeeld uit koelcellen of van watergekoelde LED-verlichting, direct op te slaan in de bodem. Ook externe bronnen, zoals zonthermie of aquathermie, konden hierdoor efficiënter worden benut, omdat het temperatuurverschil tussen bron en opslag minder groot hoefde te zijn. In de praktijk betekende dit dat warmte die voorheen lastig inpasbaar was, nu probleemloos kon worden ingezet om de bron te laden.

De effecten hiervan waren duidelijk meetbaar. Het systeem leverde een aanzienlijke reductie in CO₂-uitstoot op, variërend van 30 tot 70%, afhankelijk van de herkomst van de gebruikte elektriciteit ten opzichte van fossiele verwarming. Daarnaast daalden de operationele kosten met circa 10%, vooral doordat de warmtepomp minder vaak op hoge vermogens hoefde te draaien en het systeem veel efficiënter warmte kon uitwisselen. Voor een glastuinbouwbedrijf betekent dit niet alleen een directe besparing, maar ook meer voorspelbaarheid en stabiliteit in de energiekosten.



Figuur: effecten MTO bij Koppert Cress (bron: KWR)

Een tweede belangrijke bevinding was dat de gekozen kort-cyclische aanpak, waarbij warmte overdag wordt opgeslagen en 's nachts weer wordt benut, bijdroeg aan een hogere efficiëntie en een betere beheersing van de ondergrondse processen. In plaats van dat warmte zich langzaam verspreidde in de aquifer, bleef deze geconcentreerd aanwezig en direct beschikbaar voor gebruik. Dit beperkte de thermische spreiding, minimaliseerde het effect op de koude bron en zorgde dat de balans in het systeem veel beter gehandhaafd kon worden.

Ook op het gebied van veiligheid en waterkwaliteit leverde het project waardevolle inzichten op. Daarbij moet wel worden aangetekend dat door de nog altijd bestaande onbalans, het formaat van de warme bronnen beperkter was dan verwacht. Uit de uitgebreide monitoring bleek dat een verhoogde grondwatertemperatuur geen aanleiding gaf tot groei van opportunistische pathogenen zoals Legionella. Evenmin werden er significante negatieve effecten gezien op de microbiologische samenstelling van het grondwater. Chemische veranderingen die wél werden waargenomen, bleken voornamelijk het gevolg van natuurlijke menging tussen verschillende aquifers en niet van de hogere temperatuur.

Deze bevindingen bevestigen dat opslag bij middelhoge temperaturen in de praktijk veilig is, mits de installatie goed ontworpen is en de monitoring zorgvuldig wordt uitgevoerd. Voor beleidsmakers en vergunningverleners is dit een cruciale uitkomst: het laat zien dat MTO-systemen niet alleen technisch haalbaar zijn, maar ook betrouwbaar en verantwoord in te passen in de ondergrond. Voor kwekers onderstreept het dat MTO concrete



voordelen kan opleveren in duurzaamheid, bedrijfszekerheid en kostenbesparing, zonder dat dit gepaard gaat met risico's voor waterkwaliteit of milieu.

Dankzij de samenwerking met KWR en de nauwkeurige monitoring hebben wij uiteindelijk een permanente vergunning voor het OBES-systeem op verhoogde temperatuur gekregen. De meetgegevens bewezen dat het systeem veilig en efficiënt werkt, zonder negatieve effecten op ondergrond of waterkwaliteit.

Het vergunningstraject verliep daarbij stapsgewijs. In eerste instantie verleende de provincie Zuid-Holland een tijdelijke pilotvergunning op basis van de Green Deal-afspraken. Dit gaf ruimte om met hogere temperaturen (tot 40 °C) te experimenteren, mits de effecten zorgvuldig werden gevolgd. Hiervoor golden strikte eisen: het aanbrengen van speciale monitoringsputten, het trekken van watermonsters en het installeren van een glasvezelkabel voor continue temperatuurmetingen. De verzamelde data werd periodiek gedeeld met de provincie en met onderzoeksinstituut KWR, zodat de effecten transparant en objectief konden worden beoordeeld.

Op basis van deze meerjarige monitoring kon overtuigend worden aangetoond dat het systeem veilig was. Cruciaal was dat er geen negatieve impact zichtbaar was op microbiologische parameters (zoals Legionella en andere opportunistische pathogenen), noch op de chemische samenstelling van het grondwater. De thermische verspreiding bleef bovendien beperkt dankzij de kort-cyclische inzet van de bronnen.

De kernparameters van de uiteindelijke vergunning waren onder meer:

- Maximale infiltratietemperatuur: 40 °C (in plaats van de standaard 25 °C).
- Debiet: afgestemd op de vergunde broncapaciteit, met een hoger toegestaan volume dan bij de oorspronkelijke vergunning.
- Monitoringseisen: verplichte periodieke waterkwaliteitsmetingen, jaarlijkse rapportage van energiebalans en temperatuurprofielen, en de mogelijkheid voor de provincie om aanvullende gegevens op te vragen.

Deze onderbouwing en de zorgvuldige naleving van de voorwaarden gaven de vergunningverlener het vertrouwen om van de tijdelijke pilotvergunning over te gaan naar een structurele toestemming. Daarmee werd Koppert Cress het eerste glastuinbouwbedrijf met een formeel vergunde Middelhoge Temperatuuropslag, wat niet alleen een doorbraak voor het bedrijf zelf betekende, maar ook een belangrijke referentie opleverde voor de hele sector en voor beleidsontwikkeling rondom warmteopslag.

6. Opschalen en een Nieuwe Bottleneck: De Piekvraag

Na de goedkeuring voor een permanente vergunning, inclusief een veel hoger toegestaan debiet stonden de ontwikkelingen niet stil, zelfs niet tijdens de coronapandemie. In 2018/2019 werd er weer een nieuwe afdeling van circa 7.000 m² gebouwd. Daarbij liepen we tegen een nieuwe grens aan: het koelvermogen. Hoewel we een hoger vermogen luchtkoelingssystemen (JSK) hadden geïnstalleerd, was de piekvraag in de zomer groter dan het momentane piekvermogen dat de bron kon leveren ($P_{\max} = \Delta T \times \Phi_{\max}$). Daarnaast bleek echter dat ondanks al onze inspanningen, komend vanuit een diepe onbalans, per saldo we nog steeds te weinig warmte in de grond stopten.

De oplossing lag in het spreiden van de pieken. We moesten de koelvraag verplaatsen naar de daluren. Hiertoe bouwden we een blauwe buffertank van 3000 m³. Deze tank fungeert als een thermische batterij: we vullen hem tijdens daluren met koud water uit de WKO-bron. Tijdens piekuren gebruiken we dit koude water, samen



met extra koude toevoer uit de bron, om aan de hoge koelvraag te voldoen. Deze buffer loste niet alleen het piekprobleem op; hij bleek de sleutel tot het oplossen van onze jarenlange onbalans. Sinds de buffer er staat, is ons systeem in balans.



Foto: nieuwe etmaalbuffer bij Koppert Cress

Het WKO-systeem speelt een enorm belangrijke rol in onze huidige energievoorziening. In de praktijk merken we dat er momenteel een overschot aan warmte de bodem in gaat, waardoor het een uitdaging blijft om de bron in balans te houden. De buffertank speelt hierin een cruciale rol, in de zomer wordt deze gebruikt voor koude-opslag (circa 9°C) om de piekvraag op te vangen en in de winter schakelt hij over naar laagtemperatuur-opslag (circa 45°C), gevoed door de warmtepomp. Die warmtepomp draait bij voorkeur op momenten met duurzame elektriciteit, zodat de warmteproductie zo groen mogelijk blijft.

7. Geothermie

Met de komst van geothermie verandert het speelveld ingrijpend. Waar het WKO-systeem in de beginjaren vooral diende om warmte te leveren en koude op te slaan, wordt het met de toevoeging van geothermie een integraal energiesysteem waarin de balans tussen warmte en koude nóg crucialer wordt. Geothermie brengt immers een grote en continue hoeveelheid warmte het systeem in, onafhankelijk van seizoensinvloeden. Dit betekent dat de nadruk verschuift van het vinden van voldoende warmte naar het actief benutten en zelfs creëren van koude.

Koeling krijgt daarmee een dubbele betekenis: het is enerzijds een teeltmaatregel die de kwaliteit van de cressen ten goede komt, maar anderzijds ook een strategisch instrument om de energiebalans van het hele systeem te waarborgen. Door koude slim te produceren en op te slaan in de WKO-bron of in de buffertank, ontstaat de noodzakelijke tegenhanger van de constante warmtestroom vanuit geothermie.



De richting voor de toekomst is dan ook helder: een flexibel, modulair systeem waarin WKO, warmtepomp en geothermie elkaar versterken en aanvullen. De buffercapaciteit fungeert als schakel tussen deze bronnen en zorgt dat pieken en dalen in de vraag kunnen worden opgevangen. Door de warmtepomp vooral te laten draaien op momenten dat er duurzame elektriciteit beschikbaar is, kan de geproduceerde warmte bovendien zo groen mogelijk worden ingezet. Zo ontstaat stap voor stap een energiesysteem dat niet alleen robuust en efficiënt is, maar ook in staat is om zich aan te passen aan veranderende omstandigheden in vraag, aanbod en regelgeving.

8. Conclusie

De praktijkervaringen bij Koppert Cress laten zien dat de weg naar een fossielvrije kas vol uitdagingen zit, maar ook vol kansen. Vanaf de eerste stappen met WKO in 2010 tot de opschaling naar MTO en de recente aansluiting op geothermie is telkens gezocht naar balans: tussen warmte en koude, tussen techniek en teelt, en tussen regelgeving en innovatie.

Belangrijke lessen zijn dat een geïntegreerd energiesysteem niet vanzelf ontstaat, maar het resultaat is van continue monitoring, technische innovatie en nauwe samenwerking met overheden en kennisinstellingen. De MTO-pilot bewees dat hogere temperaturen in de ondergrond veilig en effectief benut kunnen worden, mits zorgvuldig gemonitord. De buffertank loste niet alleen piekvraagproblemen op, maar bleek ook de sleutel tot een structureel gebalanceerd systeem. En met de komst van geothermie groeit de rol van koude van teeltmaatregel naar onmisbare energiedrager.

Voor kwekers toont dit verhaal dat verduurzaming haalbaar en rendabel is wanneer stap voor stap wordt geïnvesteerd in slimme combinaties van technieken. Voor beleidsmakers en vergunningverleners onderstreept het de waarde van praktijkcases: ze bieden bewijs dat regelgeving soms ruimte moet maken voor innovatie, maar ook dat strikte monitoring de veiligheid en betrouwbaarheid kan waarborgen.

Koppert Cress laat zien dat een fossielvrije glastuinbouw binnen bereik ligt, mits er lef is om te experimenteren, samen te werken en systemen in samenhang te benaderen. Daarmee vormt deze case niet alleen een inspiratiebron voor de sector, maar ook een bouwsteen voor toekomstig beleid richting een klimaatneutrale land- en tuinbouw.

