

Regenwaterbassin als koudebuffer voor kassen met warmtepompverwarming

Pinglin Zhang, Feije de Zwart



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH



Referaat

De toepassing van een warmtepomp een perspectiefvolle optie om het gasverbruik van kassen uit te faseren. Warmtepompen hebben typisch een warm- en een koud water circuit. Het gebruik van buffers in deze circuits maakt het mogelijk om een grote dekkingsgraad met een beperkte capaciteit van de warmtepomp te realiseren. Omdat een warmtepomp vooral aan de koude zijde met kleine temperatuurverschillen werkt, vereist buffering in het koude circuit grote volumes. Wanneer het regenwaterbassin hiervoor gebruikt zou kunnen worden biedt dit een aantrekkelijk perspectief. In dit project is het potentieel daarvan onderzocht, rekening houdend met de gietwaterfunctie, de effecten van het variërende watervolume in het bassin en de warmte-uitwisseling met de omgeving.

In deze studie is het dynamische gedrag geanalyseerd met behulp van vijf jaar aan historische weerdata. Ook is gekeken naar het effect van bassinvolume en warmtepomp-capaciteit. Het blijkt dat de gemiddelde capaciteit van regenwaterbassins ruim voldoende is en dat isolatie niet nodig is. In combinatie met een ontvochtigingssysteem kan een warmtepomp met een elektrisch vermogen van 12 W/m² een aanzienlijke vermindering van het resterend gasverbruik realiseren.

Dit project is gefinancierd door Kas Als Energiebron, het onderzoeksprogramma dat wordt ondersteund door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, Glastuinbouw Nederland en Stichting Kijk.

Abstract

As a measure to reduce fossil energy consumption, the application of a heat pump is a good option. Heat pumps typically have a hot water and a cold water circuit. The use of buffers in these circuits makes it possible to achieve a large coverage of the total heat supply by a heat pump in with a limited capacity. Because a heat pump usually works with small temperature differences, especially on the cold side, buffering in the cold circuit requires large volumes. If the standard rainwater basin could be used for this, this offers an attractive perspective. In this project, this potential was investigated, taking the function of the basis for irrigation, the effects of the dynamic water volume in the basin and the heat exchange of this uninsulated buffer with the environment into account.

In this study, the dynamic behaviour was analysed using five years of historical weather data. The effect of basin volume and heat pump capacity was also examined. The results showed that the average capacity of rainwater basins is more than sufficient and that insulation is not necessary.

In combination with a dehumidification system that allows the greenhouse to be kept largely closed in winter, a heat pump with an electrical output of 12 W/m² can significantly reduce residual gas consumption.

The project is funded by Kas Als Energiebron, a research program supported by the Ministry of Agriculture Fisheries, Food security and Nature, Glastuinbouw Nederland and Foundation Kijk.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1448

Projectnummer: 3742324200

DOI: <https://doi.org/10.18174/696000>



Disclaimer

© 2025 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Businessunit Glastuinbouw Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, wur.nl/plant-research
Kamer van Koophandel-nr.: 09098104 | BTW-nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, Businessunit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Postbus 644, 6700 AP Wageningen

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

Droevendaalsesteeg 1, 6708 PB Wageningen

T +31 (0)317 48 56 06

T +31 (0)317 48 60 01

wur.nl/glastuinbouw

wur.nl/glastuinbouw

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Uitgangspunten voor de simulaties	8
2.1 Beschrijving referentiesituatie	8
2.1.1 Kasparameters	8
2.1.2 Eigenschappen van het regenwaterbassin	9
2.2 Dynamiek van laagwaardige warmte in het bassin	10
2.2.1 Situatie waarin er meer laagwaardige warmte vrijkomt dan er wordt gebruikt	11
2.2.2 Situatie waarin de warmtepomp meer energie onttrekt dan er wordt aangevuld	13
3 Evaluatie van het gebruikspotentieel van het regenwaterbassin	15
3.1 Inleiding	15
3.2 Interactie met de primaire functie, gietwateropslag	16
3.3 Effect van het hanteren van een minimum waterniveau	17
3.4 Effect van warmte-uitwisseling met de omgeving	19
3.5 Effect van bassinvolume en warmtepompcapaciteit op het resterend gasverbruik	21
4 Conclusies	23
Literatuur	24

Samenvatting

Kassen die met een warmtepomp worden verwarmd vormen een reëel perspectief op de verwarming van kassen zonder gebruik te maken van fossiele brandstoffen. Door de wisselende warmtevraag en de wisselende hoeveelheid laagwaardige warmte die bij de ontvochtiging van kassen beschikbaar komt heeft een warmtepompsysteem baat bij buffers aan de warme en aan de koude zijde. Hiermee kan de warmtepomp meer vollast draaiuren maken, waardoor met een kleinere capaciteit toch een hoge dekkingsgraad in de totale warmtebehoefte kan worden gerealiseerd. Warmtebuffers zijn in de tuinbouw reeds overal aanwezig, en in deze studie wordt bestudeerd of voor de koude buffer het regenwaterbassin gebruikt zou kunnen worden. Het regenwaterbassin krijgt dan, naast z'n functie in de gietwatervoorziening ook een functie als kortetermijn-energiebuffer, die de fluctuerende hoeveelheden teruggewonnen laagwaardige warmte uit de ontvochtiging uitvlakt en naar behoefte kan leveren aan de koude zijde van de warmtepomp.

De opslagcapaciteit van het bassin wordt bepaald door het volume aan regenwater in het bassin. Dit varieert op grond van de balans tussen regenval en gietwaterbehoefte en wordt begrensd door de maximale capaciteit van het bassin. De laagwaardige warmteflux vanuit het bassin wordt bepaald door de warmtevraag aan de koude zijde van de warmtepomp, de warmte die uit de ontvochtiging wordt teruggewonnen, en de energieopslagcapaciteit van het bassin. Wanneer er meer laagwaardige warmte vanuit de ontvochtiging beschikbaar is dan er aan laagwaardige warmte door de warmtepomp wordt gebruikt is de koude-opslag 'vol' en zal de ontvochtiging van de kas moeten terugvallen op het openen van luchtramen of het inblazen van buitenlucht. In het andere uiterste, als de warmtepomp het hele bassin heeft uitgekoeld en de ontvochtiger onvoldoende laagwaardige warmte afgeeft wordt de warmtepomp beperkt in z'n warmteproductie. Als de kas in die situatie een hoge warmtevraag heeft zal dit op een ander manier moeten worden geproduceerd. In dit rapport wordt in dat geval de ketel ingeschakeld en wordt er fossiele energie gebruikt.

Het potentieel van het gebruik van het regenwaterbassin voor laagwaardige warmteopslag is in deze studie geanalyseerd op basis van simulaties aan een belichte tomatenteelt met gebruik van vijf jaar aan historische weerdata. De effectiviteit van het systeem is beoordeeld op het resterende gasverbruik, waarbij rekening is gehouden met het watervolume in het bassin, wat een resultante is van regenval, terugwinning van waterdamp in de ontvochtiger en gietwatergebruik. Daarnaast is rekening gehouden met de warmte-uitwisseling met de omgeving, aangezien het bassin in de regel niet geïsoleerd is. Verder is onderzocht in welke mate de grootte van het bassin en de capaciteit van de warmtepomp invloed hebben op de vermindering van het resterend gasverbruik.

De resultaten tonen aan dat het gebruik van een regenwaterbassin als kortetermijn-energiebuffer in met een warmtepomp verwarmde kas technisch haalbaar is en effectief in het reduceren van het gasverbruik. Het gecombineerd gebruik heeft geen enkel effect op de functie van het bassin als buffer voor gietwater. Het aanhouden van een minimaal waterniveau in het bassin om ook hartje zomer de bufferfunctie voor de warmtepomp in stand te houden verbetert echter dekkingsgraad van de warmtepomp in de totale warmtevraag. Dit verlaagt uiteraard het resterend gasverbruik en de extra hoeveelheid aanvullend water die hiervoor nodig is blijkt vrijwel nihil. De warmte-uitwisseling met de omgeving veroorzaakt warmteverlies in de winter, maar warmtewinst vanaf het voorjaar tot laat in de herfst. Het verlies in de winter is kleiner dan de winst in de rest van het jaar, zodat het isoleren van het regenwaterbassin zelfs tot een (kleine) toename van het resterend gasverbruik zal leiden.

De analyse van het effect van vergroting van het regenwaterbassin ten opzichte van de huidige standaard van minimaal 500 m³/ha geeft aan dat dit nauwelijks effect heeft. Bij de keuze van de optimale warmtepompcapaciteit hoeft de capaciteit van het regenwaterbassin als koude-opslagbuffer dus niet te worden meegenomen. Deze optimalisatie gaat geheel om de afweging tussen kosten van een grotere warmtepompcapaciteit en de extra besparing op gasverbruik die daarmee gerealiseerd kan worden. Voor een belichte tomatenteelt zal de optimale warmtepompcapaciteit ergens tussen de 100 en 150 kW elektrisch vermogen per ha liggen. Het resterend gasverbruik kan daarmee naar bijna 0 worden teruggebracht, waarmee de transitie naar fossielvrije tuinbouwproductie mogelijk wordt.

1 Inleiding

In de glastuinbouw zorgt klimaatbeheersing voor een gunstig groeiklimaat, waarmee een hoge opbrengst gerealiseerd kan worden. Dit gaat echter gepaard met een hoog energieverbruik en, bij gebruik van gas als energiebron tot een hoge CO₂-emissie. Met het oog op de transitie naar fossielvrije glastuinbouw is het verbeteren van de energie-efficiëntie een belangrijk speerpunt (Sijm et al., 2020).

Een warmtepomp in combinatie met ontvochtiging is een goede optie voor energiebesparing in kassen (Saye et al., 2000). Een warmtepompontvochtiger, aangedreven door elektriciteit, benut de warmte die wordt onttrokken bij de condensatie van waterdamp, en brengt deze warmte terug de kas in via de warme zijde (Boulard et al., 1989). Eerdere studies toonden aan dat deze methode een groot potentieel heeft om het energieverbruik te verminderen door het voorkomen van voelbare warmteverliezen via ventilatie en het hergebruik van deze latente warmte uit ontvochtiging (de Zwart, 2014, de Zwart 2025).

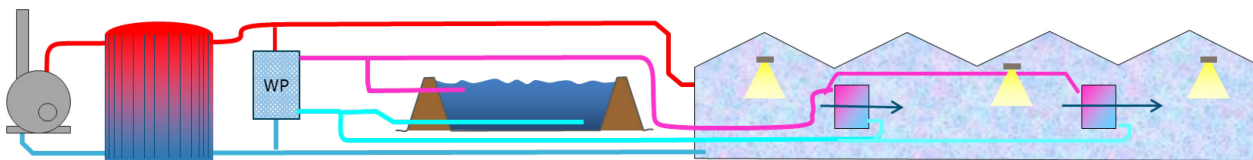
De warmtevraag in de kas vertoont grote seizoensverschillen en ook grote variaties gedurende het etmaal. Om een steeds voldoende warmtevoorziening naar de kas te realiseren en tegelijkertijd het piekvermogen van verwarmingsapparatuur te beperken wordt in de regel een warmtebuffer in het systeem opgenomen (Seginer et al., 2017; van Beveren et al., 2020). Wanneer een warmtepomp deel uitmaakt van het systeem gaat het dan niet alleen om een warmtebuffer, maar ook om een koudebuffer. Dit komt doordat deze het de schommelingen in de koelvraag afvlakt en zorgt voor een soepel werkend systeem (De Zwart, 2014). Aangezien het temperatuurverschil tussen het aanvoer- en retourwater aan de koude zijde van de warmtepomp relatief klein is, is een groot opslagvolume nodig (Li et al., 2021).

Vrijwel alle kassen zijn uitgerust met regenwaterbassins met een capaciteit van 50 L m⁻² of meer om regenwater op te vangen voor gietwater (Voogt et al., 2013). Deze bassins zouden een goedkope optie kunnen zijn om daarnaast te dienen als kortetermijn-energiebuffer. De bassins zijn in de winter meestal vol door de combinatie van frequente regenval en beperkte vraag naar gietwater. Hun grote waterinhoud biedt dan een grote energieopslagcapaciteit.

In de zomer is het waterniveau in bassin vaak laag of zelfs 0, maar dit is mogelijk minder problematisch aangezien de warmtevraag van de kas in de zomer laag is.

Een ander kenmerk van regenwaterbassins, in vergelijking met standaard waterbuffervaten, is dat ze in de regel niet geïsoleerd zijn. Hierdoor vindt er warmte-uitwisseling plaats tussen het bassin en de omgeving, wat tot een energieverlies, maar ook tot een energie-winst kan leiden.

In deze studie zijn simulaties uitgevoerd van een kassysteem met een warmtepomp, een ketel en een warmtebuffer, in combinatie met een regenwaterbassin als kortetermijnbuffer voor laagwaardige warmte (Figuur 1). Hiermee is rol die het bassin kan spelen in de transitie naar een fossielvrije tuinbouw kan spelen onderzocht. De analyse richtte zich op de invloed van factoren zoals het watervolume in het bassin, de grootte van het bassin, warmte-uitwisseling met de omgeving, en de capaciteit van de warmtepomp op de algehele systeemprestaties.



Figuur 1 Een schematische weergave van een kassysteem met een warmtepomp, een ketel en een warmtebuffer, in combinatie met een regenwaterbassin als kortetermijn-energiebuffer.

2 Uitgangspunten voor de simulaties

2.1 Beschrijving referentiesituatie

2.1.1 Kasparameters

Om het dynamisch gedrag van een regenwaterbassin als kortetermijn-energiebuffer in het kassysteem als functie van de opslagcapaciteit te simuleren, is gebruik gemaakt van het kasklimaat-simulatiemodel KASPRO (De Zwart, 1996). Hierbij is niet alleen het kasklimaat-deel, maar ook het sub-model dat de waterstromen simuleert gebruikt. Het waterstromen model berekent het waterniveau in het bassin als functie van de balans tussen regenval en gietwatergebruik (Voogt et al., 2012). Er is uitgegaan van recirculatie van het drainwater tot een natrium-niveau van 12 mmol/liter. Vanaf dan wordt het drainwater geloosd.

Ook de terugwinning van water in de ontvochtigingsunit wordt in dit model meegenomen, waardoor het regenwaterbassin in het voorjaar minder snel leeg loopt.

Het dynamisch berekende waterniveau in het bassin bepaalt de opslagcapaciteit en het sub-model dat de energievoorziening voor het verwarmings-systeem beschrijft berekent daarmee wat de bijdrage van de warmtepomp in de verwarming dan wordt, in afhankelijkheid van de capaciteit van de warmtepomp. Daarbij wordt ook het verlies en/of de winst van energie vanuit de opslag in het regenwaterbassin meegenomen.

Uiteindelijk resulteert de simulatie in een berend elektriciteitsverbruik van de warmtepomp en een resterend gasverbruik van de ketel.

In alle gevallen fungeert de warmtepomp als het primaire apparaat voor de productie van warmte voor de kas, rekening houdend met de capaciteitsbeperkingen en de beschikbaarheid van energie (laagwaardige warmte) in het regenwaterbassin. De beperking in beschikbare laagwaardige warmte kan zowel worden veroorzaakt door een laag waterniveau in het bassin of een lage energie-inhoud.

De studie werd uitgevoerd aan de hand van de teeltwijze zoals deze is uitgevoerd in het project "fossielvrije tomatenteelt" het Delphy Improvement centre (Bleiswijk, Nederland) (Helmus-Schuddebeurs et al., 2023). De kas van 1000 m² die in de experimenten werd gebruikt, heeft een enkel glas kasdek, twee beweegbare schermen en LED-belichting met een lichtintensiteit van 280 µmol/(m² s). De elektrische conversie-efficiëntie van de armaturen bedroeg 2,8 µmol/J en de lampen werden aangezet met het oog op het realiseren van een PARsom van 20 mol/(m² dag). De elektriciteit voor de belichting vormde in de winter de belangrijkste energietoevoer naar de kas. De belichtingsperioden zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Begin- en eindtijden van de assimilatiebelichting.

Belichtingsperiode [kloktijden]	
2021-09-15 tot 2021-10-01	Geen belichting
2021-10-01 tot 2021-10-15	02:00 tot 18:00
2021-10-15 tot 2022-05-01	00:00 tot 18:00
2022-05-01 tot 2022-09-15	Geen belichting

Tijdens de belichtingsperiode werd de helft van de lampen uitgeschakeld wanneer de globale straling (buiten) hoger was dan 75 W/m² en werden alle lampen uitgeschakeld bij een globale straling boven 150 W/m². De stooklijn lag op 17 °C 's nachts en 19 °C overdag, met een afname aan het eind van de dag naar 15 °C in de eerste twee uur na zonsondergang. De setpoints voor de luchtvochtigheid waren 92% 's nachts en 87% overdag. De ventilatielijn lag 2 °C boven de stooklijn.

Het bovenste schermdoek was een licht-afschermingsdoek en werd in de winter 's nachts gesloten werd wanneer het kouder was dan 14 °C (of als de belichting aan was ook als het warmer was om lichthinder te voorkomen).

Het tweede schermdoek was een transparant scherm, dat 's nachts en op koude dagen ook overdag werd ingezet.

De verwarming bestond uit een buisrail-systeem als primair, en een groeibuis als tweede verwarmingsnet.

Om de ramen zoveel mogelijk gesloten te kunnen houden en de schermen niet te hoeven kieren was de kas uitgevoerd met een luchtbehandelingskast (LBK) met een koelblok en een verwarmingsblok.

De luchtbehandelingskast had een maximale circulatiecapaciteit van 10 m³/(m² uur). Deze werd in eerste instantie = ingezet voor de luchtvochtigheidsregeling, maar kan ook worden gebruikt om energie te 'oogsten' wanneer de kastemperatuur boven de ventilatielijn dreigt te komen. Het relatief kleine koelvermogen van een dergelijke luchtbehandelingskast is niet voldoende om een kas echt te koelen, maar maakt wel dat er minder op temperatuur gelucht hoeft te worden.

Wanneer een luchtbehandelingskast wordt aangezet voor de ontvochtiging wordt de vochtige lucht langs een koud oppervlak gevoerd om condensatie te laten plaatsvinden. Dit proces droogt de lucht, maar koelt deze ook af, wat tijdens ontvochtigingsbehoefte meestal niet gewenst. Daarom heeft de luchtbehandelingskast ook een verwarmingsblok. Hiermee kan de lucht naar de oorspronkelijke temperatuur worden teruggebracht voordat de gedroogde lucht weer in de kas in wordt verdeeld. Dit leidt ernaar dat de luchtbehandelingskast al gauw 25 tot 50% van de warmtevraag voor z'n rekening neemt.

De totale warmtevraag, zijnde de som van de vraag van de verwarmingsbuizen en de ontvochtiging, werd zoveel mogelijk geleverd door de warmtepomp. In de basissimulaties werd aangenomen dat de warmtepomp een verwarmingscapaciteit had van 60 W/m² en een COP van 4, gerekend voor de warme zijde. Het elektrisch vermogen van de warmtepomp was daarmee $60/4 = 15$ W/m².

Met een COP van 4 voor de warmtepomp is er voor elke eenheid warmte 0,75 eenheid energie nodig aan de koude zijde (per definitie berekend uit $COP_w/(COP_w-1)$, uitgaande van de COP op warmte). In het systeem zoals weergegeven in Figuur 1 wordt deze 0,75 eenheid benodigde energie aan de koude zijde geleverd door de laagwaardige warmte uit het regenwaterbassin. Dit zorgt voor een afkoeling van het water in het bassin. Tegenover de onttrekking van laagwaardige warmte door de warmtepomp staat een toevoeging van laagwaardige warmte door de luchtbehandelingskast wanneer deze koud water uit het regenwaterbassin door het koelblok stuurt, waarna het warmer terugstroomt richting het bassin. Op deze manier levert de LBK de laagwaardige warmte die nodig is voor de werking van de warmtepomp.

In de berekeningen is er van uitgegaan dat de LBK het koelwater opwarmt naar 12 °C.

Bij een koudwatertemperatuur van de warmtepomp op 5 °C betekent dit een temperatuur-swing van 7 °C.

Tijdens perioden waarin de warmtepomp niet voldoende warmte kon leveren (doordat de capaciteit te klein was of door een tekort aan laagwaardige warmte in het regenwaterbassin), werd de benodigde warmte geleverd door een gasgestookte ketel.

Voor de berekeningen aan het energiebesparingsperspectief simulaties werd het buitenklimaat gebaseerd op een standaard meteorologisch jaar in Bleiswijk, Nederland, gegenereerd met Meteonorm (Remund et al., 2020).

2.1.2 Eigenschappen van het regenwaterbassin

Een niet-geïsoleerd regenwaterbassin met een grootte van 50 L/m² werd toegevoegd aan de basissimulatie. De dynamiek van het watervolume in het bassin werd gesimuleerd op basis van de neerslag uit de weersgegevens over het jaar, aangevuld met de (relatief kleine hoeveelheid) water afkomstig van de ontvochtiger/koeler, en de irrigatiebehoefte van de gewassen in de kas. Het regenwaterbassin werd gebruikt als een kortetermijnbuffer voor energie (laagwaardige warmte) met een temperatuurswing (Ts) van 7 °C, variërend van 5 °C tot 12 °C.

De maximale capaciteit voor energieopslag in het regenwaterbassin kan dan worden berekend met:

$$Q_{basin,max} = V_{basin} \times T_s \times C_p$$

Waarin:

- $Q_{basin,max}$ de maximale energieopslagcapaciteit is in het regenwaterbassin, in MJ/m²,
- V_{basin} het volume regenwater in het bassin is, in m³ per m² kasoppervlak,
- T_s de temperatuurschommeling is van het regenwaterbassin, met een waarde van 7 °C,
- C_p de soortelijke warmtecapaciteit is van water, met een waarde van 4,180 MJ/(m³ °C).

De warmte-uitwisseling tussen het bassin en de buitenlucht werd berekend met:

$$P_{convection} = h \times A \times \Delta T$$

Waarbij:

- $P_{convection}$ de warmtestroom is tussen het regenwaterbassin en de lucht, uitgedrukt in W/m²,
- h de warmteoverdrachtscoëfficiënt, gesteld op $h=10$ W/(m² K),
- A het oppervlak is van de warmte-uitwisseling tussen het bassin en de lucht per m² kasoppervlak, met een waarde van $A=0,05$ m²_{bassing}/m²_{teeltoppervalk},
- ΔT het temperatuurverschil is tussen het water in het bassin en de luchttemperatuur (K).

Tijdens de simulatie werd de hoeveelheid laagwaardige warmte in het bassin door het jaar heen berekend door bij te houden hoeveel energie de warmtepomp er aan onttrok en hoe dit weer werd aangevuld vanuit de ontvochtiging. Het variërende waterniveau bepaalde daarbij steeds een (variërende) maximum en $P_{convection}$ gaf steeds een beetje extra warmte-onttrekking of aanvulling (afhankelijk van of het buiten kouder of warmer dan 12 °C was). Het perspectief van het regenwaterbassin als koudebuffer werd beoordeeld op de mate waarin het resterend gasverbruik kon worden teruggebracht.

2.2 Dynamiek van laagwaardige warmte in het bassin

Tijdens bedrijf van een verwarmingssysteem op basis van een warmtepomp die aan de koude zijde laagwaardige warmte onttrekt aan water in het regenwaterbassin vindt er een voortdurende verandering van de hoeveelheid laagwaardige warmte in het bassin plaats. Op de momenten dat er weinig warmtevraag is in de kas zal de warmtepomp niet of nauwelijks draaien, maar als er dan wel een ontvochtigingsvraag is zal er koud water vanuit het bassin door het koelblok worden gepompt. Het regenwaterbassin zal dan langzaam aan warmer worden.

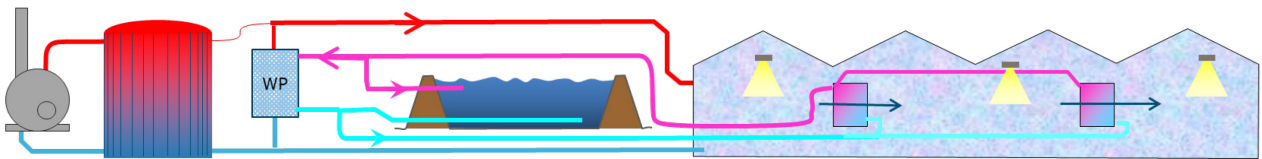
Andersom kan ook. Als de warmtepomp volop draait voor de verwarming van de kas, maar er is weinig behoefte aan ontvochtiging zal er geen koud water in de luchtbehandelingskasten worden opgewarmd en koelt het bassin geleidelijk aan af. Als het na verloop van tijd naar 5 °C is afgekoeld is het bassin 'leeg'. Niet qua waterinhoud, maar qua energie-inhoud.

In de onderstaande twee paragrafen worden beide situaties verder toegelicht.

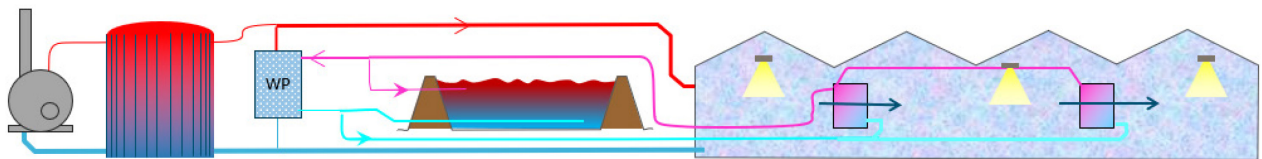
2.2.1 Situatie waarin er meer laagwaardige warmte vrijkomt dan er wordt gebruikt

In deze situatie werkt de ontvochtiging op volle capaciteit en, afhankelijk van de hoeveelheid warmte die de kas vraagt draait de warmtepomp ook op volle capaciteit, of in deellast. Omdat er, gerekend over een bepaalde periode (bijvoorbeeld een dag) meer laagwaardige warmte vrijkomt dan er door de warmtepomp wordt gebruikt zal het regenwaterbassin uiteindelijk helemaal opwarmen. De opwarming van de buffer is schetsmatig weergegeven in de onderstaande drie figuren.

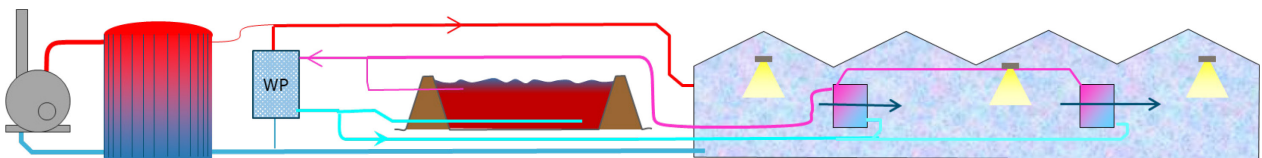
Als het regenwaterbassin helemaal opgewarmd is (Figuur 4) kan de ontvochtiger niet meer werken. Dat kan ook niet wanneer het regenwaterbassin geen water meer heeft (Figuur 5). Vanuit het oogpunt van de verlaging van het resterend gasverbruik is de situatie waarin er geen water meer is problematischer dan wanneer het bassin is opgewarmd. Immers, in het eerste geval kan de warmtepomp worden aangezet zodra er warmte in de kas nodig is, terwijl dat in de situatie die in Figuur 5 geschetst is alleen kan in de mate waarin er gelijktijdig ontvochtigingsbehoefte is.



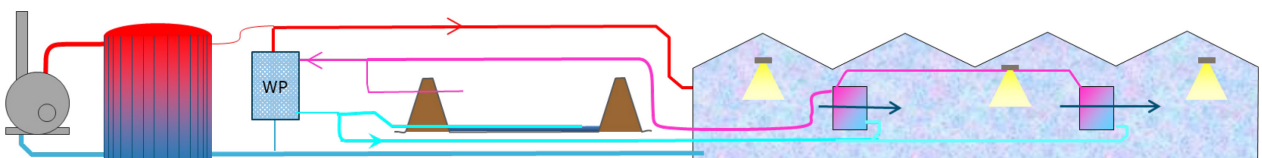
Figuur 2 Schets van een situatie waarin het bassin helemaal is uitgekoeld. De ontvochtigers kunnen volop draaien, ook als de warmtepomp uit staat.



Figuur 3 Schematische weergave van de situatie waarin de warmtepomp minder laagwaardige warmte gebruikt dan de hoeveelheid die bij de ontvochtigers vrij komt. Het overschot aan laagwaardige energie wordt dan in het regenwaterbassin opgeslagen.



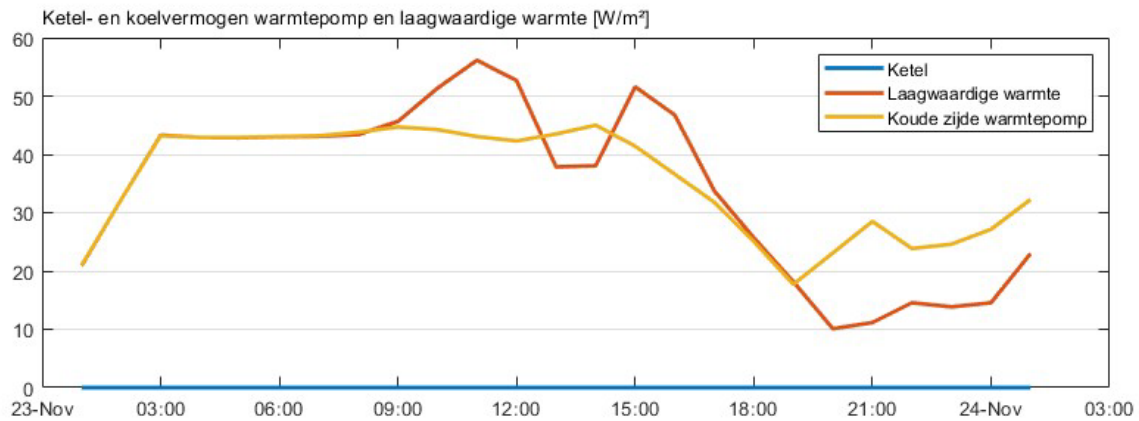
Figuur 4 Schets van het scenario waarin geen laagwaardige warmte uit de ontvochtiging in het bassin kan worden opgeslagen, omdat het bassin helemaal opgewarmd is.



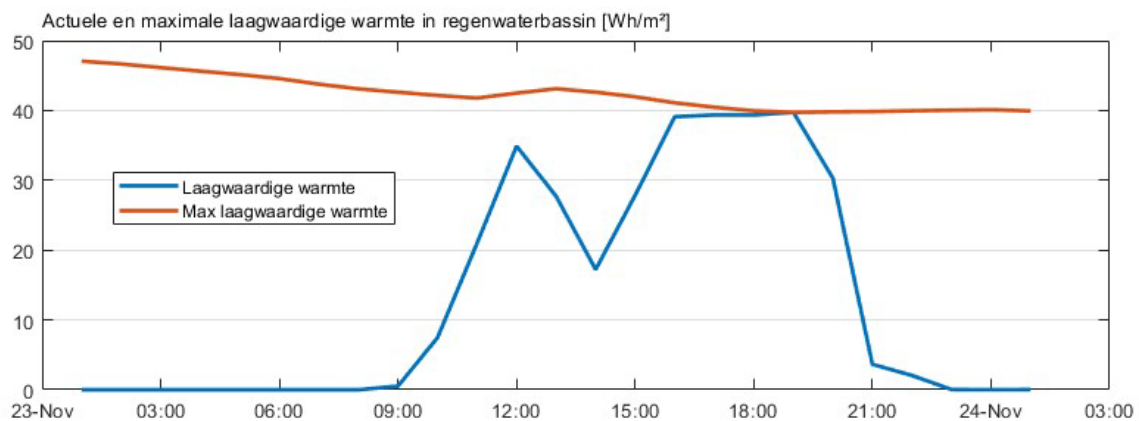
Figuur 5 Situatie waarin het bassin leeg is en de warmtepomp alleen tegelijk met de ontvochtiging kan draaien.

Figuur 6 geeft een voorbeeld van de warmtestroom rond de koude zijde van de warmtepomp en over het koelblok van de ontvochtiger. Deze twee warmtestromen zijn in het begin aan elkaar gelijk omdat het bassin op dat moment 'leeg' is qua energie (dus zoals geschetst in Figuur 2). 's Ochtends wordt er een tijdje meer warmte geproduceerd dan dat er door de warmtepomp wordt gebruikt en neemt de hoeveelheid opgeslagen energie in het bassin toe (blauwe lijn in Figuur 7).

Aan het eind van de dag is het bassin helemaal gevuld met laagwaardige warmte (blauwe lijn in Figuur 7 raakt de rode lijn). De situatie is dan dus zoals geschetst in Figuur 4. Deze opgeslagen warmte werd 's nachts weer gebruikt, te zien aan de daling van de hoeveelheid laagwaardige energie in Figuur 7.



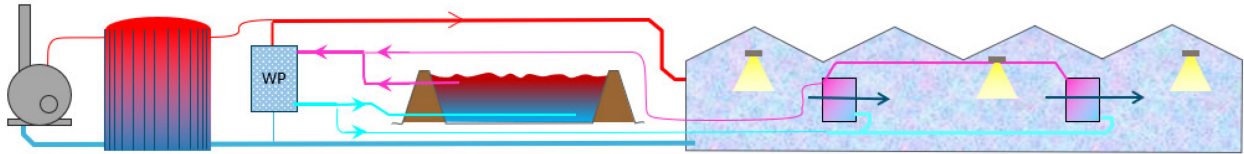
Figuur 6 Voorbeeld van een dag waarop de warmtepomp laagwaardige warmte gebruikt (gele lijn) en waar bij de ontvochtiging eerst een gelijke hoeveelheid laagwaardige warmte vrijkomt, daarna een tijdje wat meer en aan het eind van de dag wat minder warmte vrijkomt (rode lijn). De ketel hoeft in dit voorbeeld nergens bij te springen (blauwe lijn).



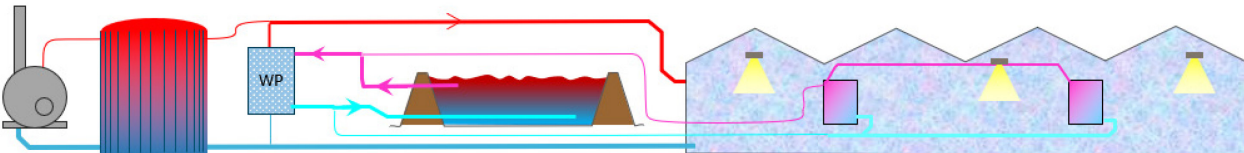
Figuur 7 Resultante van het verschil in het vrijkomen van laagwaardige warmte en het gebruik daarvan door de warmtepomp daarvan (Figuur 6) op de hoeveelheid warmte die in het regenwaterbassin is opgeslagen. Vanaf 17:00 is het regenwaterbassin 'vol' met laagwaardige warmte (blauwe lijn raakt de rode lijn).

In deze situatie werkte de warmtepomp op volle capaciteit, en voorziet de ontvochtiging slechts gedeeltelijk of helemaal niet in de laagwaardige warmtebehoefte aan de koude zijde van de warmtepomp. Het regenwaterbassin voorziet dan deels aan de behoefte aan laagwaardige warmte (Figuur 8 en Figuur 9).

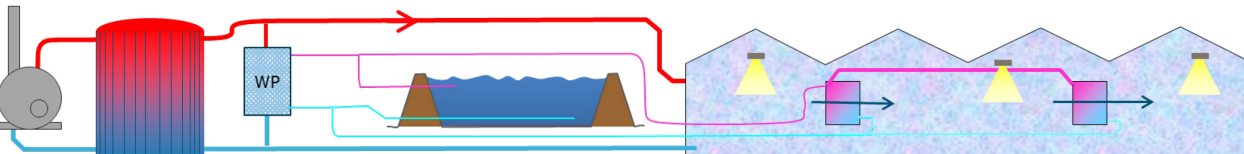
Als dit een langere tijd doorgaat zal het bassin uiteindelijk helemaal uitgekookt zijn (Figuur 10). Als er dan nog steeds warmte nodig zou zijn zal de ketel bij moeten springen. Dat is ook het geval als het regenwaterbassin geen water bevat (Figuur 11).



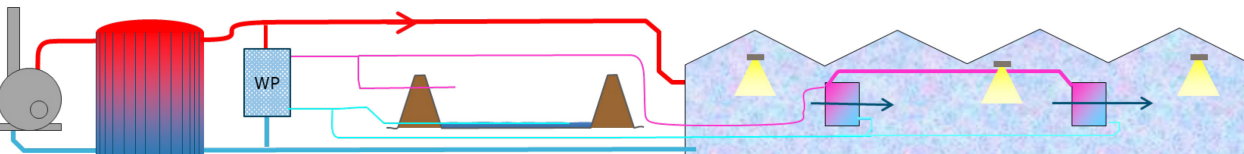
Figuur 8 Schematische weergave van de situatie waarin de warmtevraag aan de koude zijde van de warmtepomp wordt gedekt door de teruggewonnen warmte uit de ontvochtiging en de laagwaardige warmte opgeslagen in het regenwaterbassin.



Figuur 9 Schematische weergave van de situatie waarin de gehele laagwaardige warmtebehoefte van de warmtepomp wordt ingevuld vanuit het regenwaterbassin.

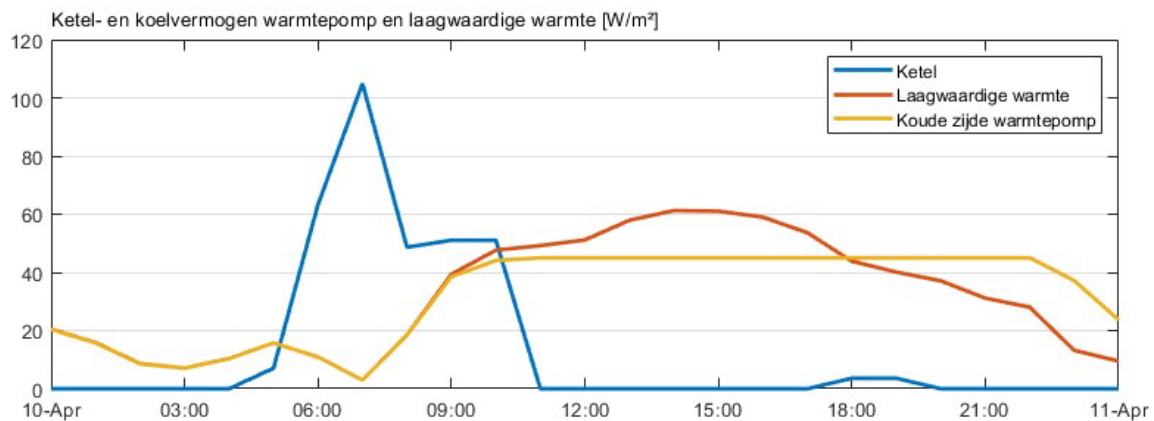


Figuur 10 Schematische weergave van de situatie waarin er geen warmte vrijkomt uit de ontvochtiging en er ook geen warmte in het regenwaterbassin is opgeslagen (bassin helemaal uitgekoeld). Warmte komt dan uit de ketel.

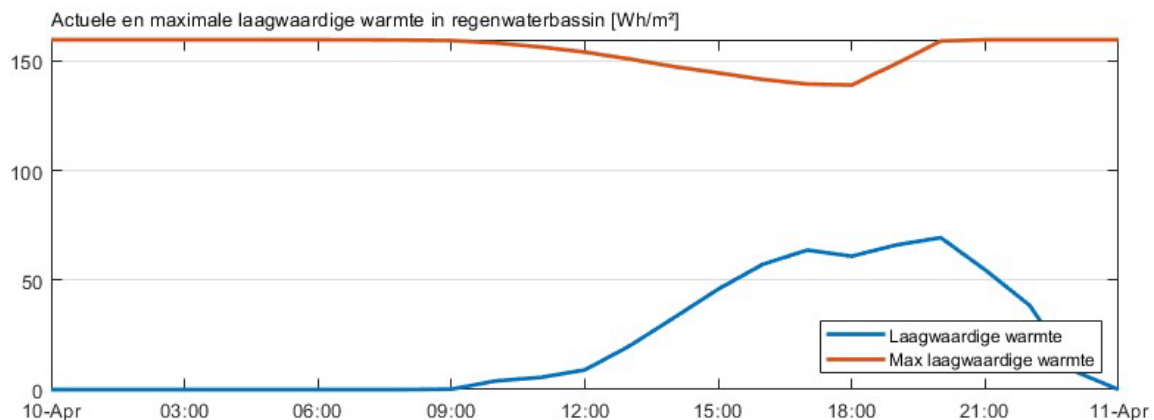


Figuur 11 Schematische weergave van de situatie waarin er geen warmte vrijkomt uit de ontvochtiging en het regenwaterbassin helemaal leeg is. Warmte komt dan uit de ketel.

Figuur 12 is weer soortgelijk aan Figuur 6 en laat zien dat in dit geval een stuk van de warmtevraag van de kas door de ketel moet worden ingevuld. Aan het begin van de dag zit er geen warmte in het regenwaterbassin (zie Figuur 13). Pas na 09:00 komt er blijkbaar weer laagwaardige warmte beschikbaar en kan de warmtepomp de warmteproductie van de ketel overnemen. In het midden van de dag komt er zelfs meer laagwaardige warmte vrij dan de warmtepomp onttrekt (deze onttrekt maximaal 42 W/m^2), zodat er weer warmte aan het regenwaterbassin wordt toegevoerd. Dit is te zien aan de blauwe lijn in Figuur 13. Op middernacht is het regenwaterbassin weer leeg, in de zin van uitgekoeld. Dat er genoeg water in het bassin zit kan worden afgelezen uit het feit dat de maximale opslagcapaciteit op deze dag (rond de 150 Wh/m^2) veel groter was dan de maximale vulling op die dag (70 Wh/m^2).



Figuur 12 Voorbeeld van simulatieresultaten voor een dag in april, waarin de warmtevraag van de ketel, de teruggewonnen warmte uit ontvochtiging en de warmtevraag aan de koude zijde van de warmtepomp worden weergegeven. Het verschil tussen laagwaardige warmte uit de ontvochtiging (rode lijn) en de warmtebehoefte van de warmtepomp (gele lijn) wordt opgevangen door de buffercapaciteit van het regenwaterbassin.



Figuur 13 De actuele en maximale warmte-inhoud van het regenwaterbassin op dezelfde dag als getoond in Figuur 12.

3 Evaluatie van het gebruikspotentieel van het regenwaterbassin

3.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk werd een dynamisch model toegelicht dat het gedrag beschrijft van een verwarmingssysteem bestaande uit een warmtepomp, een warmwateropslagtank, een laagwaardige warmtebuffer en een ketel. De ketel wordt pas gebruikt als de warmtepomp om welke reden dan ook niet voldoende warmte kan leveren.

Deze simulatie van het verwarmingssysteem is geïntegreerd met het kasklimaatmodel KASPRO om te kunnen rekenen met de dynamiek die voortkomt uit de klimaatregeling van een kas. Uitgangspunt hierbij is het kassysteem en de teelt en klimaatregeling die beschreven zijn in paragraaf 2.1.1.

Het complete simulatiemodel maakt het vervolgens mogelijk om de relevante vragen te kunnen onderzoeken met betrekking tot de geschiktheid van het regenwaterbassin voor dubbel gebruik: enerzijds als reservoir voor gietwater en anderzijds als tijdelijke opslagfaciliteit voor laagwaardige warmte, die door een warmtepomp kan worden benut voor duurzame verwarming.

Hierbij spelen de volgende vragen:

- Heeft het gebruik van het bassin voor warmteopslag invloed op de functie ervan voor het gietwater?
- Hoe erg is het dat het regenwaterbassin in de zomer leeg raakt, en wat als dat voorkomen wordt?
- In welke mate beïnvloedt de warmte-uitwisseling tussen het (ongeïsoleerde) regenwaterbassin en de omgeving het perspectief om het bassin te gebruiken als laagwaardige warmteopslag?
- Hoe beïnvloedt de grootte van het regenwaterbassin het potentieel?

In de volgende paragrafen worden deze onderwerpen één voor één besproken.

3.2 Interactie met de primaire functie, gietwateropslag

De primaire functie van het regenwaterbassin is het opvangen van regenwater om te dienen als belangrijkste bron van gietwater. Regenwater is vanwege de zuiverheid de meest gewenste bron voor de watergift.

In principe beïnvloedt het aanvullende gebruik van het regenwaterbassin als een laagwaardige warmteopslag de functie als wateropslag niet. Bij gebruik van het water voor warmteopslag blijft het volume gelijk, alleen de temperatuur verandert. Het feit dat de warmtepomp het regenwaterbassin behoorlijk koud kan maken (5°C) kan als een probleem worden gezien, omdat telers liever geen zo koud water in hun irrigatiesysteem toepassen. In de praktijk is de temperatuur van het gietwater dat uit het bassin wanneer het ook als laagwaardige warmtebuffer wordt gebruikt echter sterk afhankelijk van de plaats waar het water wordt onttrokken. De warmtepomp onttrekt water aan de bovenkant van het regenwaterbassin en voert het gekoelde water weer terug aan de onderkant. De ontvochtiger onttrekt water aan de onderkant en brengt het terug naar de bovenkant. Dit betekent dat wanneer het gietwater wordt afgetapt aan de bovenkant van het bassin, de temperatuur daarvan rond de 12°C zal liggen.

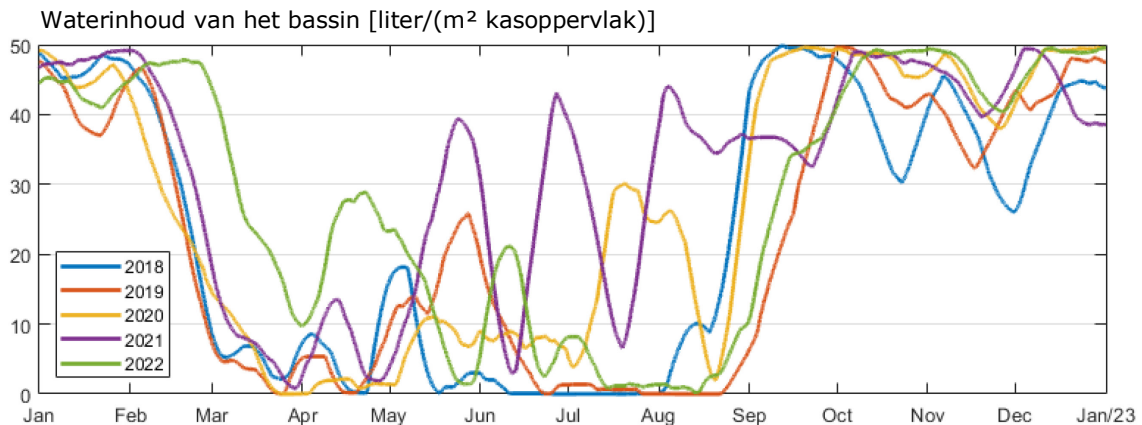
Met een gemiddelde gietwaterbehoefte van ongeveer 2 à 3 liter/m² per dag (meer in de zomer en iets minder in de winter), vergeleken met de hoeveelheid water afkomstig van de ontvochtiger, die rond de 5 liter/m² per uur ligt (uitgaande van 40 W/m² koelcapaciteit in de luchtbehandelingsunit), is het duidelijk dat het geen probleem zal zijn om ervoor te zorgen dat er alleen water van 12°C wordt gebruikt voor irrigatie.

Van de ongeveer 800 liter water die in een jaar voor de watergift wordt gebruikt, wordt het grootste deel verbruikt in de zomer, wanneer voorverwarming niet nodig is. Uitgaande van een winterse hoeveelheid verwarmd gietwater van ongeveer 300 liter per jaar en ervan uitgaande dat dit water wordt verwarmd tot 19°C voordat het aan de planten wordt geleverd, is de totale hoeveelheid energie die nodig is om deze 0,3 m³ water te verwarmen: $(19 - 12) \cdot 0,3 \cdot 4,18 = 8,8 \text{ MJ}$. In deze formule is 4,18 de volumetrische warmtecapaciteit van water in MJ/m³. Wanneer de verwarming afkomstig is van een warmtepomp, is dit $8,8 / 3,6 / 4 = 0,6 \text{ kWh}$. Hier zet '3,6' MJ om naar kWh en is '4' de aangenomen COP van de warmtepomp. Deze 0,6 kWh/(m²·jaar) is minder dan 1% van het totale elektriciteitsverbruik voor klimaatbeheersing en speelt daarom geen wezenlijke rol in de beoordeling van het perspectief.

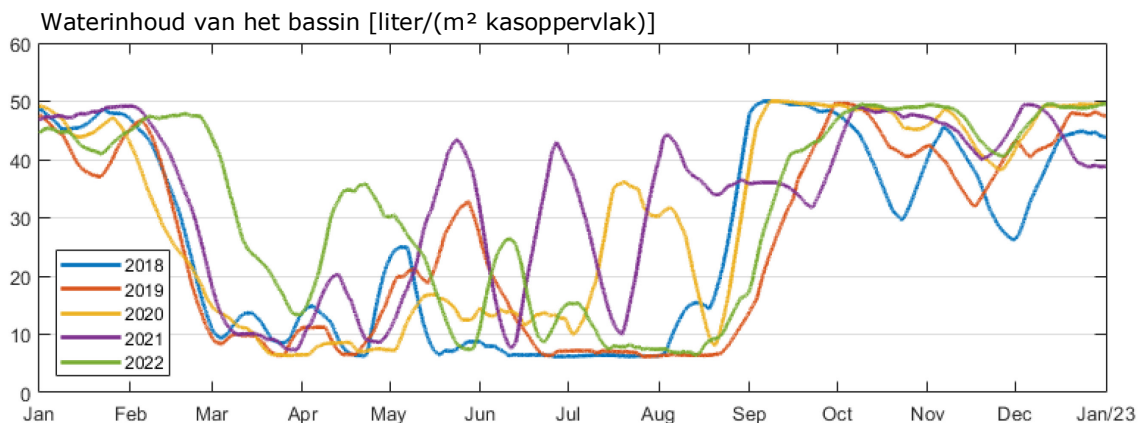
Bovendien is, vergeleken met de situatie waarin een regenwaterbassin niet als energiebuffer wordt gebruikt, de verwarmingsvraag voor gietwater in het multifunctionele gebruik van het bassin eerder minder dan meer. Dit komt doordat een normaal regenwaterbassin in de winter een lagere temperatuur heeft dan de 12°C waarmee het gietwater bij het multifunctionele gebruik heeft.

3.3 Effect van het hanteren van een minimum waterniveau

Simulaties zijn uitgevoerd voor de achtereenvolgende jaren 2018 tot 2022, waarbij het waterniveau van het dynamische regenwaterbassin werd bepaald op basis van de jaarlijkse neerslag en het gebruik van gietwater. Zoals weergegeven in Figuur 14, waren er in alle jaren periodes waarin het regenwaterbassin bijna leeg of volledig droog was. Om de invloed van een leeg waterniveau in het bassin op de buffercapaciteit te onderzoeken, zijn er simulaties uitgevoerd met, en zonder bijvullen van water in het bassin. In de simulaties met de bijvulfunctie werd het regenwaterbassin aangevuld met omgekeerd osmose water wanneer het waterniveau onder de 8 liter/m² kwam (Figuur 15).



Figuur 14 Waterniveau in het bassin zonder bijvullen. De gegevens zijn gefilterd met een 14-daags voortschrijdend gemiddelde om de leesbaarheid te verbeteren.



Figuur 15 Waterniveau in het bassin met tijdige bijvulling om te voorkomen dat het bassin leeg raakt. De gegevens zijn gefilterd met een 14-daags voortschrijdend gemiddelde voor betere leesbaarheid.

Tabel 2 toont de jaarlijkse hoeveelheid extra water (in de praktijk grondwater of water uit kanalen of sloten) die nodig is om het watertekort in het bassin aan te vullen in de vijf gebruikte jaren. Het handhaven van het bassin boven een bepaald niveau, in dit geval 8 liter per m², om een minimale warmteopslagcapaciteit te behouden, resulteerde in een toegenomen behoefte aan aanvullend water. Het verschil is echter niet substantieel, aangezien het toestaan dat het bassin volledig leegloopt slechts de noodzaak tot bijvullen met twee of drie dagen uitstelt. Immer, op een gegeven moment in het voorjaar moet het bassin toch worden bijgevuld. De reden dat het handhaven van het waterniveau boven een bepaalde grens toch meer water verbruikt, is dat het bassin in de herfstregens iets eerder begint over te lopen wanneer het vol is (Figuur 15).

Tabel 2 Jaarlijkse hoeveelheid grondwater (liter/m²) die nodig is ter aanvulling voor het benodigde gietwater. In het eerste geval mocht het regenwaterbassin volledig leeg raken, in het tweede geval werd een minimaal waterniveau gehandhaafd.

Jaar	Leeg bassin toestaan	Minimaal 8 L/m ² aanhouden	Vershil
2018	389	495	106
2019	318	396	80
2020	196	241	45
2021	125	177	52
2022	157	211	54

De simulatie-resultaten tonen aan dat het voorkomen dat het regenwaterbassin leeg raakt een duidelijk effect heeft op het resterende gasverbruik van de kas (Tabel 3). Zonder voortijdig bijvullen kan de warmtepomp in de zomer vaak niet draaien, maar door simpelweg te voorkomen dat het bassin leeg raakt, kan de bijdrage van de warmtepomp in de verwarming worden vergroot.

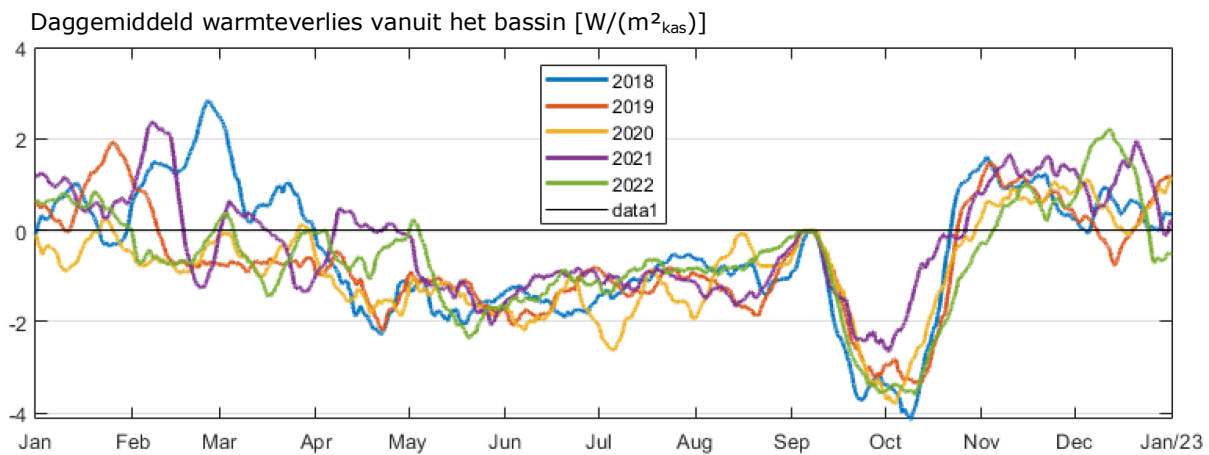
Uiteraard gaat een afname van het resterend gasverbruik samen met een toename van het stroomverbruik.

Tabel 3 Effect van het handhaven van een minimaal waterniveau in het regenwaterbassin op het jaarlijkse elektriciteits- en gasverbruik in vijf jaren. De berekeningen zijn gemaakt met een regenwaterbassin capaciteit van 50 liter/m². Het elektriciteitsverbruik betreft uitsluitend het verbruik voor de warmtepomp en de luchtbehandelingskast (verbruik van de belichting is niet afhankelijk van de isolatie van het regenwaterbassin).

Jaar	Leeg bassin toestaan		Minimaal 8 L/m ² aanhouden		Vershil	
	Elektriciteit	Gas	Elektriciteit	Gas	Elektriciteit [kWh/m ²]	Gas [m ³ ae/m ²]
2018	57.5	8.9	70.5	4.3	13.0	-4.5
2019	63.0	8.4	76.2	4.5	13.2	-4.9
2020	62.0	7.9	71.9	3.9	9.9	-4.0
2021	69.2	6.7	75.4	4.3	6.2	-2.4
2022	67.9	4.3	70.4	3.4	2.5	-1.9

3.4 Effect van warmte-uitwisseling met de omgeving

Het feit dat het regenwaterbassin niet geïsoleerd is, betekent dat het gemakkelijk warmte kan uitwisselen met de omgeving. Als het regenwaterbassin warmer is dan de omgeving zal het warmte verliezen en als het kouder is dan de omgeving zal het warmte opnemen. Figuur 16 toont het berekende warmteverlies van het regenwaterbassin over vijf opeenvolgende jaren. De berekeningen zijn gemaakt voor het geval waarbij het waterniveau in het regenwaterbassin werd gehandhaafd op een minimumniveau van 8 liter/m² (zie par. 3.3).



Figuur 16 Gemiddeld warmteverlies van het regenwaterbassin naar de omgeving. De gegevens zijn gefilterd met een 14-daags voortschrijdend gemiddelde om de leesbaarheid te verbeteren.

Uit de simulatieresultaten blijkt dat er in de winter enig warmteverlies optreedt, maar van het voorjaar tot laat in de herfst er juist sprake is van warmtewinst aan het oppervlak van het bassin. Doordat de buitentemperatuur vaak boven de 12 °C is komt de laagwaardige warmte gemiddeld over het jaar heen dus niet alleen vanuit de ontvochtiger, maar ook een beetje vanuit de buitenomgeving.

Op jaarbasis was het gemiddelde warmteverlies -0,6 W/m², dus in feite een kleine netto warmtewinst. Omgezet naar een jaarlijkse hoeveelheid energie komt 0,6 W/m² overeen met $0,6 \times 86.400 \times 365 / 1.000.000 = 19 \text{ MJ/m}^2$ per jaar.

Het effect van deze gemiddelde warmtewinst door het regenwaterbassin is ook zichtbaar wanneer het jaarlijkse elektriciteits- en resterende gasverbruik wordt vergeleken tussen de praktijksituatie, zonder isolatie, en een theoretisch situatie met een volledig geïsoleerd regenwaterbassin. Het verschil in de berekende gas- en elektriciteitsverbruiken voor de 5 gesimuleerde jaren is weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4 Effect van het isoleren van het regenwaterbassin op het jaarlijkse elektriciteits- en gasverbruik voor de vijf gesimuleerde jaren. De berekeningen zijn uitgevoerd met een bassinhoud van 50 L/m² en een waterniveau-regeling die het minimale waterniveau in het bassin op 8 liter/m² houdt.

Het elektriciteitsverbruik betreft uitsluitend het verbruik voor de warmtepomp en de luchtbehandelingskast (verbruik van de belichting is niet afhankelijk van de isolatie van het regenwaterbassin).

Jaar	Open regenwaterbassin		Geïsoleerd rainwaterbassin		Verschil	
	Elektriciteit	Gas	Elektriciteit	Gas	Elektriciteit [kWh/m ²]	Gas [m ³ ae/m ²]
2018	70.5	4.3	70.5	4.6	0.0	0.3
2019	76.2	3.5	75.7	4.1	-0.5	0.6
2020	71.9	3.9	71.0	4.5	-0.9	0.6
2021	75.4	4.3	75.0	4.7	-0.4	0.4
2022	70.4	3.4	69.8	3.7	-0.6	0.3

Uit bovenstaande tabel blijkt dat het isoleren van het regenwaterbassin het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp verminderde, maar leidde tot een hogere resterende gasbehoefte voor verwarming. Dit komt doordat bij een niet-geïsoleerd bassin gemiddeld 19 MJ aan laagwaardige warmte uit de omgeving wordt gewonnen. Voor de omzetting van 19 MJ aan laagwaardige warmte is $19 / 3,6 / 3 = 1,7$ kWh aan elektriciteit nodig, wat overeenkomt met $19 / 3 \times 4 / 31,65 = 0,8$ m³ aardgasequivalent. In deze berekeningen komt de '3' voort uit COP – 1, de '4' is de aangenomen gemiddelde COP, '3,6' is het aantal MJ in 1 kWh, en 31,65 is de verbrandingswaarde van aardgas in MJ/m³.

De vermindering in elektriciteitsverbruik door de 19 MJ laagwaardige warmte was over het algemeen minder dan 1,7 kWh. Dit komt doordat de 'gratis' energie die normaal door het open regenwaterbassin zou worden opgevangen, nu werd geleverd door het ontvochtigingssysteem, dat elektriciteit verbruikt voor de werking van de luchtcirculatieventilatoren. Deze extra elektriciteit komt in de kas vrij als warmte, wat resulteert in iets minder extra resterend gasverbruik dan op basis van het verlies van 19 MJ/m² verwacht zou worden.

Samenvattend kan worden gesteld dat de warmte-uitwisseling tussen het niet-geïsoleerde regenwaterbassin en de omgeving een klein, maar positief effect heeft op het potentieel van de verwarming met de warmtepomp. Dit lijkt misschien contra-intuïtief, maar komt doordat het bassin gemiddeld kouder is dan de buitenlucht en dus duurzame warmte onttrekt uit de omgeving. Het doel van het gebruik van de warmtepomp is niet de koudeproductie voor de ontvochtiging, maar het verwarmen van de kas met laagwaardige warmte.

Voor kassen waarbij koeling een essentieel onderdeel is van de klimaatregeling (zoals bij Phalaenopsis, Alstroemeria, Freesia), zou isolatie van het regenwaterbassin kunnen worden overwogen, maar gezien de geringe hoeveelheid energie die met deze warmte-uitwisseling gemoeid is, is geen groot effect te verwachten.

3.5 Effect van bassinvolume en warmtepompcapaciteit op het resterend gasverbruik

De met een warmtepomp verwarmde kas is een middel om verwarming op basis van fossiele brandstoffen met gasketels (of WKK, die in dit project buiten beschouwing wordt gelaten) te vervangen door verwarming met elektriciteit. Wanneer deze elektriciteit wordt opgewekt met lage CO₂-uitstoot, leidt de vervanging van aardgasgestookte verwarming door warmtepompverwarming tot een vermindering van de CO₂-voetafdruk. Aangezien een aardgasgestookte ketel 57 gram CO₂ per MJ warmte uitstoot, en een warmtepomp met een COP van 4 slechts 0,07 kWh nodig heeft om 1 MJ warmte te produceren, ligt het omslagpunt waarbij warmtepompverwarming de CO₂-uitstoot verlaagt op $57 / 0,07 = 814$ gram CO₂ per kWh. De gemiddelde CO₂-uitstoot van het elektriciteitsnet in Nederland in de winter is 330 g/kWh, dus ruim onder deze drempel (zie: <https://app.electricitymaps.com/zone/NL>).

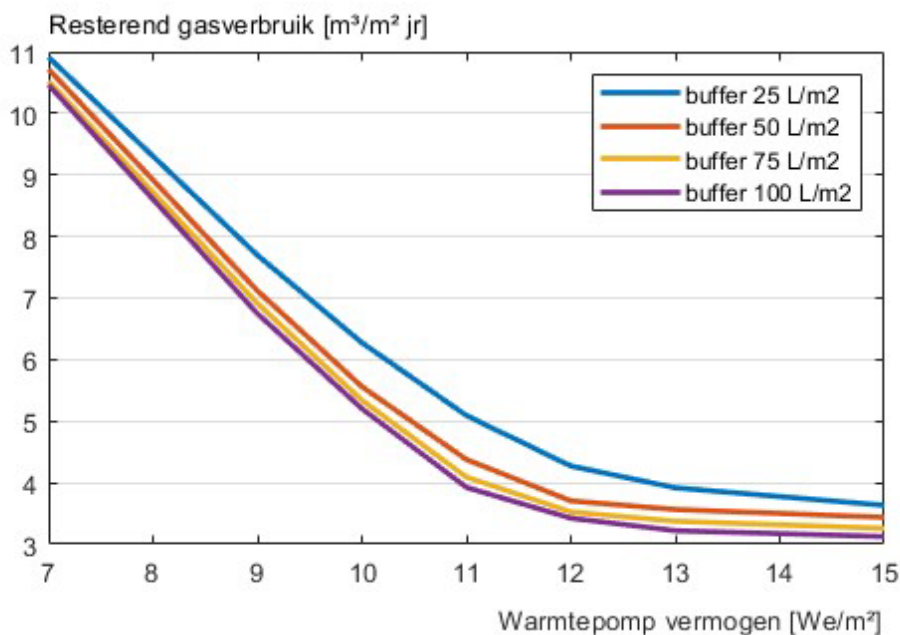
Bij de overstap van verwarming met een ketel naar verwarming met een warmtepomp is het van belang om de warmtepompcapaciteit beperkt te houden vanwege de investeringskosten. Naarmate een warmtepomp een grotere capaciteit heeft zal het aantal vollasturen afnemen waardoor de machine duur wordt in verhouding tot het gebruik. Een kleinere warmtepomp draait meer uren, maar komt in koude perioden warmteproductiecapaciteit tekort, waardoor de ketel vaker zal moeten bijspringen.

Warmte- en koudeopslag maakt het mogelijk dat een warmtepomp met een aanzienlijk kleinere capaciteit dan de maximale warmtevraag van het kassensysteem toch het grootste deel van de warmtevraag kan dekken. Een buffer kan bijvoorbeeld kortstondig 50 m³/(ha uur) aan warm water aan de kas leveren, terwijl een warmtepomp met een elektrisch vermogen van 15 W/m² qua ordegrrootte slechts 25 m³/(ha uur) aan warm water kan leveren (uitgaande van 20 °C temperatuurverschil).

Aan de koude kant, waar de hoeveelheden water die verpompt moeten worden meestal nog groter zijn omdat het temperatuurverschil over een koelblok, levert het regenwaterbassin een soortgelijke functie.

Bij de optimalisatie van de dimensionering van de buffercapaciteit en de warmtepompcapaciteit kan worden gezocht naar de meest bepalende factor.

In Figuur 17 is weergegeven hoe het resterend gasverbruik afneemt naarmate de verwarmingscapaciteit van de warmtepomp toeneemt bij verschillende afmetingen van het regenwaterbassin (oplopend van 250 tot 1000 m³/ha).



Figuur 17 Resterend gasverbruik uit simulaties met verschillende groottes van het regenwaterbassin als buffer voor laagwaardige warmte als functie van warmtepompcapaciteit.

De figuur laat zien dat zelfs wanneer de capaciteit van het regenwaterbassin werd gehalveerd (25 liter/m² in plaats van de standaard 50 liter/m²), de capaciteit van de warmtepomp een veel belangrijkere factor is voor het verminderen van het resterende gasverbruik dan de grootte van het bassin.

Voor alle gesimuleerde groottes van het regenwaterbassin gold dat het verhogen van de warmtepomp-capaciteit tot ongeveer 12 We/m² een duidelijk effect had op het verminderen van het resterend gasverbruik. Boven de 12 We/m² zien we allen bij de grootste afmeting van het regenwaterbassin nog een effect van de warmtepompcapaciteit, maar dat effect is zeer klein.

4 Conclusies

In deze studie is het potentieel onderzocht van het gebruik van een regenwaterbassin als kortetermijn-energiebuffer voor een kas met een warmtepomp als primair verwarmingssysteem.

Er is geen reden om aan te nemen dat het gebruik van het bassin als koudebuffer de primaire functie van het bassin voor de gietwatervoorziening in de weg staat. Wanneer het gietwater uit de bovenste laag van het bassin wordt onttrokken heeft het een zeer constante temperatuur van ongeveer 12 °C en is daarmee in de winter in de regel warmer dan gebruikelijk. Bovendien draagt het opwarmen van gietwater nauwelijks bij aan de warmtevraag van de kas. Als al het gietwater in de winter (zo'n 300 liter per m²) 7 graden zou moeten worden opgewarmd (van 12 naar 19°C) betekent dit 8.8 MJ/m² aan verwarming (ongeveer ¼ m³ aardgas equivalenten).

Gedurende elk jaar zijn er periodes waarin het regenwaterbassin leeg komt te staan, waardoor het niet beschikbaar zou zijn voor de kortdurende opslag van laagwaardige warmte. Dit kan worden voorkomen door het bassin al voordat het helemaal leeg is aan te gaan vullen (bronwater, kraanwater, slootwater). Simulatieresultaten laten zien dat dit op jaarbasis nauwelijks extra wateraanvoer vereist, maar dat dit er merkbaar voor zorgt dat de warmtepomp een groter aandeel in de totale warmtevraag kan verzorgen. Als gevolg hiervan wordt het resterend gasverbruik verminderd.

Wat betreft de warmte-uitwisseling tussen het ongeïsoleerde regenwaterbassin en de omgeving blijkt dat er in de winter enig warmteverlies optreedt, maar dat er van het voorjaar tot laat in de herfst juist warmte vanuit de omgeving wordt betrokken. Netto levert dit een kleine netto toename van de warmtebeschikbaarheid in het regenwaterbassin, wat resulteert in een lichte daling van het resterend gasverbruik. Het feit dat een regenwaterbassin niet geïsoleerd is blijkt dus eerder een voordeel dan een nadeel.

De efficiëntie van gasbesparing bij het gebruik van een warmtepomp in combinatie met een regenwaterbassin als buffer wordt bepaald door de wisselwerking tussen de capaciteit van het bassin om laagwaardige warmte op te slaan – bepaald door de afmetingen en het watervolume – en de capaciteit van de warmtepomp om aan de warmtevraag van de kas te voldoen. Simulaties tonen aan dat bij bassins groter is dan 50 L/m² (500 m³/ha), de bassingrootte geen beperkende factor is voor het potentieel van het gebruik van de warmtepomp als primaire verwarmingsbron. Regenwaterbassins zijn voor Nederlandse kassen al gauw groter, dus bij de optimalisatie van de verwarmingssystemen op basis van een warmtepomp hoeft alleen gekeken te worden naar de relatie tussen capaciteit van de warmtepomp en de resulterende besparing op gasverbruik. In de kasopstelling die in deze studie is gebruikt, bleek dat een grotere warmtepompcapaciteit dan 12 W_e/m² (dat is een elektrisch vermogen van 120 kW/m²) het resterende gasverbruik nauwelijks meer liet dalen. Een grotere capaciteit leidde tot afname van het aantal vollasturen, waardoor de machine relatief duurder wordt extra gasbesparing te realiseren.

Uiteraard gaat in een systeem zoals hier beschreven een afname van het resterend gasverbruik gepaard met een toename van het elektriciteitsverbruik. De CO₂-emissie die met de teelt gemoeid is hangt dus af van de CO₂-emissie die aan het stroomverbruik moet worden toegerekend.

Concluderend kan worden gesteld dat het gebruik van een regenwaterbassin als kortetermijn-energiebuffer voor kassen die met een warmtepomp worden verwarmd goed past en helpt om het resterende gasverbruik vrijwel naar 0 terug te brengen.

Het handhaven van een minimaal waterniveau in het bassin laat het resterend gasverbruik duidelijk extra dalen (met gemiddeld 3 m³/m² jaar) met slechts een geringe hoeveelheid extra aanvullend water (gemiddeld 70 liter/m²).

De warmte-uitwisseling met de omgeving doordat het regenwaterbassin niet geïsoleerd is werkt op jaarbasis positief in plaats van negatief, maar het voordeel is met 0.5 m³/(m² jr) extra aardgasbesparing slechts klein. Het optimaliseren van de warmtepompcapaciteit, en niet het vergroten van het bassin, is het meest bepalend in het ontwerp van een op een warmtepomp gebaseerd verwarmingssysteem voor een fossielvrije teelt.

Literatuur

- Boulard, T., Baille, A., Lagier, J., Mermier, M., & Vanderschmitt, E. (1989). Water vapour transfer in a plastic house equipped with a dehumidification heat pump. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 44, 191–204. [https://doi.org/10.1016/S0021-8634\(89\)80081-2](https://doi.org/10.1016/S0021-8634(89)80081-2).
- De Zwart, H. F. (1996). Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model [Landbouwniversiteit Wageningen]. <https://doi.org/10.18174/195238>.
- De Zwart, H. F. (2014). Energy Conserving Dehumidification of Greenhouses. *Acta Horticulturae*, 1037, 203–210. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1037.21>.
- De Zwart, H. F. (2025). Energiezuinige ontvochtigingstechnieken, WPR-1436, Wageningen University & Research. <https://doi.org/10.18174/691983>.
- Helmus-Schuddebeurs, L., Jochems, S., Kalkman, H., Kaarsemaker, R., & Raaphorst, M. (2023). Tomaat fossielvrij met LED Meer is niet altijd beter. Delphy Improvement Centre, Groen Agro Contro, Wageningen University & Research. <https://www.kasalsenergiebron.nl/onderzoeken/20184-tomaat-fossielvrij-met-led-meer-is-niet-altijd-beter/>.
- Li, H., Yang, Q., Xu, Z., Shao, S., Wang, Z., Sun, X., Wang, Y., Xu, C., & Zhao, W. (2021). Impact of water volume on the energy saving potential of air source heat pump systems. *International Journal of Refrigeration*, 130, 128–139. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.06.025>.
- Remund, J., Müller, S., Schmutz, M., & Graf, P. (2020). METEONORM VERSION 8. EUPVSEC. https://meteonorm.com/assets/publications/5BV.3.8_pvsec_2020_mn8.pdf.
- Saye, A., Van Loon, W. K. P., Bot, G. P. A., & De Zwart, H. F. (2000). THE SOLAR GREENHOUSE: A SURVEY OF ENERGY SAVING METHODS. *Acta Horticulturae*, 534, 131–138. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.534.14>.
- Seginer, I., van Straten, G., & van Beveren, P. J. M. (2017). Day-to-night heat storage in greenhouses: 2 Sub-optimal solution for realistic weather. *Biosystems Engineering*, 161, 188–199. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.06.023>.
- Sijm, J., Beurskens, L., Marsidi, M., Niessink, R., Scheepers, M., Smekens, K., van der Welle, A., & de Wilde, H. (2020, February 12). Review of energy transition scenario studies of the Netherlands up to 2050. <https://www.newenergycoalition.org/custom/uploads/2020/05/Sijm-et-al.-2020-TNO-2019-P12095-Review-of-NL-energy-scenario-studies-Final-12-02-2020.pdf>.
- van Beveren, P. J. M., Bontsema, J., van 't Ooster, A., van Straten, G., & van Henten, E. J. (2020). Optimal utilization of energy equipment in a semi-closed greenhouse. *Computers and Electronics in Agriculture*, 179, 105800. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105800>.
- Voogt, W., Beerling, E., & Blok, C. (2013). The Road to Sustainable Water and Nutrient Management in Soil-Less Culture in Dutch Greenhouse Horticulture.
- Voogt, W., Swinkels, G.-J., & Van Os, E. (2012). 'Waterstreams': A Model for Estimation of Crop Water Demand, Water Supply, Salt Accumulation and Discharge for Soilless Crops. *Acta Horticulturae*, 957, 123–130. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.957.13>.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research
BU Glastuinbouw
Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
E glastuinbouw@wur.nl
wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1448



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 7.700 medewerkers (7.000 fte), 2.500 PhD- en EngD-kandidaten, 13.100 studenten en ruim 150.000 Leven Lang Leren-deelnemers behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
