



# Waterefficiënte teelt op substraat

Een scenariostudie om het gebruik van aanvullend water te minimaliseren

E. van Os, J. van Ruijven, F. de Zwart, M. Raaphorst

Rapport WPR-1158

## Referaat

De beschikbaarheid van hemelwater is voor een aantal gewassen minder dan de totale waterbehoefte van het gewas, terwijl er druk ligt op het gebruik van grondwater. Hierdoor moet men op zoek naar alternatieve waterbronnen, of de watervraag moet verlaagd worden. In dit project is met behulp van modelberekeningen onderzocht of het mogelijk is jaarrond tomaten te telen zonder gebruik te maken van aanvullend water, door het beperken van verdamping, het terugwinnen van verdampingswater of gebruik van water afkomstig van de productie van energie via waterstof. Een groter hemelwaterbassin tot 3000 m<sup>3</sup>/ha verlaagt de behoefte aan aanvullend water sterk. Schermen vanaf een instraling van 600 W/m<sup>2</sup> en aanhouden van hogere RV (maatregelen uit Het Nieuwe Telen) beperken de vraag naar water. Maatregelen om verdampingswater terug te winnen (balansventilatie, actieve ontvochtiging en gesloten kas) leiden ook tot een verlaging van het gebruik van aanvullend water. Bij een volledig gesloten kas is geen aanvullend water nodig, maar neemt het energiegebruik voor ontvochtiging fors toe. Investerings hierin zijn financieel alleen interessant als ook het plaatje voor energie klopt. Waterstof als brandstof heeft potentie, maar de productie van water hieruit moet worden gezien als bijvangst en niet als hoofdreden voor toepassing van deze technologie.

## Abstract

Availability of rain water is lower than the total water requirement for several crops, while the use of ground water is under discussion. This creates the need to either find alternative water sources, or decrease the required amount of water. This project investigated with model calculations the options to produce year-round tomatoes without the use of additional water, by decreasing transpiration, regain of transpiration water, or by using water collected by energy production via hydrogen. An increased size rain water basin up to 3000 m<sup>3</sup>/ha strongly decreases the required amount of additional water. Reflection of sun-light at higher irradiation strength than 600 W/m<sup>2</sup> and increasing relative humidity (measures from Het Nieuwe Telen) decrease the water requirement. Measures to regain transpired water (balanced ventilation, active dehumidification and closed greenhouse) also lead to a decreased requirement for additional water. A completely closed greenhouse does not require additional water, but the energy demand for dehumidification increases. Investments in these technologies are only financially interesting when also the picture for energy is right. Hydrogen as fuel has potential, but production of water from this energy source is a by-catch and should not be the main reason for investment.

## Rapportgegevens

Rapport WPR-1158

Projectnummer: 3742288600

DOI: <https://doi.org/10.18174/633576>

Dit project / onderzoek is mede tot stand gekomen door de bijdrage van TKI Tuinbouw & Uitgangsmaterialen, Greenport West-Holland, Stimuleringsbudget emissiebeperking glastuinbouw (STOWA) en Stichting Kennis in je Kas.



## Disclaimer

© 2023 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, [www.wur.nl/plant-research](http://www.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 Business Unit Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

---

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1 Achtergrond	7
1.2 Probleemstelling en oplossingsrichtingen	8
1.3 Projectinrichting	9
1.4 Doelen	9
1.5 Financiers en partners	10
<b>2 Materiaal en methoden</b>	<b>11</b>
2.1 Beschrijving van scenario's	11
2.1.1 Basisgegevens	11
2.1.2 Referentiescenario	12
2.1.3 Gevoeligheidsanalyses	12
2.1.4 Scenario's	13
2.2 Modellen	14
2.2.1 Model Waterstromen	14
2.2.2 Kaspro/Intkam	14
<b>3 Resultaten</b>	<b>16</b>
3.1 Gevoeligheidsanalyses	16
3.2 Scenarioberekeningen, water, energie en productie	18
3.3 Water efficiëntie per scenario	22
3.4 De economie van de verschillende scenario's	23
3.5 Metingen terugwinnen verdampingswater	25
<b>4 Discussie</b>	<b>26</b>
<b>5 Conclusies</b>	<b>29</b>
<b>Literatuur</b>	<b>30</b>



---

# Samenvatting

De beschikbaarheid van hemelwater is voor een aantal gewassen minder dan de totale waterbehoefte van het gewas. Er is daarom voor deze teelten altijd aanvullend water nodig. Het gebruik van grondwater staat onder druk (brijnlozingen), terwijl andere bronnen duur (leidingwater) of van mindere kwaliteit (oppervlaktewater) zijn. In dit project is onderzocht of het mogelijk is jaarrond te telen zonder gebruik te maken van aanvullend water of hiervan minder te gaan gebruiken, door het beperken van de verdamping, het terugwinnen van verdampingswater, of gebruik van water afkomstig bij de productie van waterstof als brandstof. Via modelberekeningen zijn waterverbruik, productie, energie, CO<sub>2</sub>-vraag en de kosten aan elkaar gerelateerd.

Op basis van een jaarrondteelt tomaat is een referentiescenario gedefinieerd en zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op door telers niet beïnvloedbare aspecten van het waterverbruik (hoeveelheid natrium in gietwater, droog en nat weerjaar). Tevens zijn scenario's beschreven met wel beïnvloedbare aspecten (groter bassin, verhogen natrium grenswaarde, toepassen van het Nieuwe Telen, terugwinnen verdampingswater, geen gebruik van aanvullend water en waterstof als brandstof) en vergeleken met het referentiescenario. Gekozen is voor een droog weerjaar (885 mm/jaar, 2019; geen lage totale hoeveelheid, wel heel slechte spreiding met van januari tot juni nauwelijks neerslag) om extreme situaties eerder te ontdekken. Daarnaast is een scenario omschreven met een belichte teelt van september tot juli zodat deze ook als referentie is te gebruiken.

Lozing blijkt bij tomaat pas nodig als het natriumgehalte in het gietwater meer dan 1,5 mmol/L is, bij lagere concentraties natrium is een nullozing goed haalbaar. Oplopende natriumgehalten in het hemelwater, zoals langs de kust, hebben geen invloed op waterverbruik en productie bij tomaat. Aangezien er geen lozing is bij natriumgehalten lager dan 1,5 mmol/L heeft het verhogen van de grenswaarde om te lozen van 8 naar 12 of 16 mmol/L geen effect. De combinatie van slecht gietwater (>1,5 mmol/L Na) en verhogen van grenswaarde heeft wel een sterk lozingsreducerend effect maar is in dit kader niet nader onderzocht.

In droge jaren is bij een bassin van 500 m<sup>3</sup>/ha de hemelwaterbenutting 42-54% en voorziet dit voor 43% in de totale waterbehoefte. In nattere jaren loopt de regenwaterbenutting op naar 61% en kan dan tot 77% in de totale waterbehoefte voorzien. In het gekozen extreem droge jaar (720 mm/jr, 2018) is de totale waterbehoefte gemiddeld 8% hoger dan in het droge jaar 2019 (885 mm/jr). Een groter bassin (1500 of 3000 m<sup>3</sup>/ha) verhoogt de hemelwaterbenutting naar 55 - 74%, waardoor hemelwater voor 53 - 70% in de totale waterbehoefte kan voorzien in een droog jaar.

Toepassing van maatregelen uit het Nieuwe Telen (schermen vanaf 600 W/m<sup>2</sup>) en het beperken van de verdamping door een hogere RV aan te houden (> 88%) hebben invloed op de groei en daardoor op het aanvullend watergebruik (schermen geeft minder productie en een lager waterverbruik; hogere RV geeft een hogere productie door meer CO<sub>2</sub> bij een lager waterverbruik en minder energie-input).

Maatregelen om verdampingswater terug te winnen (balansventilatie, actieve ontvochtiging en gesloten kas) leiden tot een hogere productie en een reductie in waterverbruik. Bij de gesloten kas is geen aanvullend water meer nodig, wel moet er gezorgd worden voor een groter bassin, anders is er onvoldoende ruimte om het teruggewonnen water op te slaan. Het gebruik van gas voor verwarming wordt vervangen door elektriciteit voor met name de koelers. Het speciale scenario om te telen zonder gebruik te maken van aanvullend water is niet gelukt. In de zomer is er verdamping door de open ramen maar is er geen waterterugwinning en geen neerslag.

---

Waterstof als brandstof heeft zeker potentie, maar om het toe te passen vanwege een grote waterproductie van excellente kwaliteit gaat te ver. De teruggewonnen waterdamp moet namelijk condenseren tegen een groot koud oppervlak (twee 51 mm buizen per m<sup>2</sup>). Er kan dan met een brandstofcel van 850 kWe ca. 1,7 L/m<sup>2</sup>/dag worden aangemaakt, waardoor het bassin niet leeg raakt. Investerings zijn nog ongewis zowel voor de levering van waterstof als voor de inrichting in de kas. Wel lijkt duidelijk dat de investering in waterstof alleen gedaan moet worden als het voor de energie-component interessant is. Productie van schoon water is in dat geval een zeer welkom bijproduct.

De water use efficiency (WUE) ofwel het aantal liters water dat nodig is om 1 kg product te produceren wordt met alle scenario's verbeterd. In de referentie wordt 13,6 L/kg tomaat verbruikt, in een gesloten kas 5,1 L/kg. Interessant is om te kijken naar de WUE op aanvullend water: een groter bassin (3000 m<sup>3</sup>/ha), een gesloten kas en waterstof zijn vanuit dit oogpunt het meest effectief. Hierbij is een groter hemelwaterbassin veruit het goedkoopst, terwijl de andere twee alternatieven onzeker en duur zijn.

Marktprijzen voor het product en kostprijzen voor gas, elektriciteit en meststoffen lijken nu de economische haalbaarheid te gaan bepalen. Berekeningen zijn gedaan voor de sterke verhoging van energieprijzen (2022) zodat nog enigszins sprake is van een stabiele situatie. Waar het heen gaat is niet te voorspellen en daarom niet opgenomen. Het grotere hemelwaterbassin (tot 3000 m<sup>3</sup>/ha) biedt de meeste voordelen in vergelijking met de referentie. Het beperken van de verdamping door een hogere RV aan te houden is een tweede alternatief dat een positief saldo oplevert. Actieve ontvochtiging is economisch een goede investering, maar levert geen lager waterverbruik op.

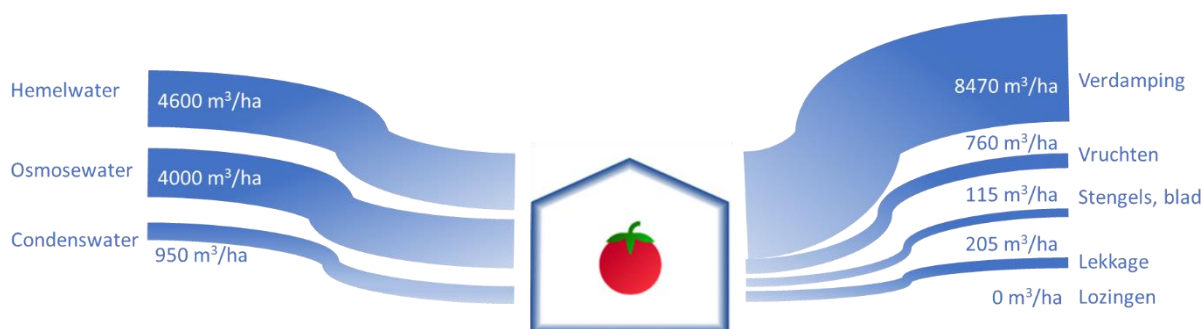
# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

In Figuur 1 zijn de waterstromen in een kas weergegeven in een Sankey-diagram voor de teelt van tomaat. Dit diagram laat zien hoe ingaande en uitgaande waterstromen in een kas zich tot elkaar verhouden. Het grootste deel van het inkomende water bestaat uit hemelwater. Doordat er (in sommige periodes) te weinig regenwater beschikbaar is, is water uit externe bronnen nodig om het gewas te kunnen irrigeren. Vaak wordt dit gedaan door het oppompen van grondwater, al dan niet na ontijzering of behandeling met omgekeerde osmose. Bij deze laatste optie wordt het terugbrengen van de geconcentreerde reststroom in de ondergrond nu nog als maatwerkoplossing toegestaan, maar dit is vanaf 1 juli 2022 niet meer toegestaan (Infomil, 2021). Gebruik van leidingwater is minder gewenst; voor de teler omdat hiermee veel natrium in het teeltsysteem wordt ingebracht, voor de maatschappij omdat er druk wordt gelegd op de beschikbaarheid van drinkwater. Oppervlaktewater kan nog als alternatief gebruikt worden, maar bevat naast natrium ook veel organische stof met mogelijk risicovolle pathogenen.

De totale hoeveelheid regenwater lijkt in ieder geval langs de kust langzaam toe te nemen (Compendium voor de leefomgeving, 2018a), maar desondanks neemt de beschikbare hoeveelheid regenwater voor telers af. Neerslag valt in steeds extremere buien (Compendium voor de leefomgeving, 2018b), waardoor de afvoercapaciteit van regenwatergoten niet voldoende is en daardoor niet al het water kan worden opgevangen. Ook de opslagcapaciteit voor regenwater is in veel gevallen beperkt, zodat het hemelwater dat in de natte seizoenen valt, niet volledig kan worden opgeslagen voor gebruik in het droge seizoen. Voor dit laatste probleem wordt in het project Coastar (KWR, 2017) een concept uitgewerkt voor ondergrondse opslag van (regen)water. Het water dat telers in de natte periode niet kwijt kunnen in hun eigen buffers, wordt geleverd aan een regionale, ondergrondse seizoensbuffer, waarmee tegelijkertijd verzilting van het grondwater wordt tegengegaan. In droge periodes kan dit water weer worden opgepompt en worden teruggeleverd aan de telers. Dit concept wordt een regionale waterbank genoemd. Een groter deel van het hemelwater kan hierdoor gebruikt worden voor irrigatie in kassen en minder aanvullend water is nodig. Kosten voor infrastructuur zijn echter hoog.

Een andere oplossing is het opwerken van afvalwaterstromen uit andere industrieën. In Dinteloord wordt na opwerking en seizoensbuffering in de ondergrond gebruik gemaakt van restwater uit een suikerfabriek (Glastuinbouw Waterproof, 2018). In de regio Westland is eerder onderzoek uitgevoerd naar het verder zuiveren van effluent van een rioolwaterzuiveringsinstallatie (Harnaschpolder), waarbij het water via oppervlaktewater naar de telers getransporteerd werd en na opnieuw zuivering op locatie geschikt was voor gebruik als gietwater (Kaarsemaker & Sanders, 2013). Deze laatste optie is vanwege de hoge kosten uiteindelijk niet geïmplementeerd. Zuiveren en gebruiken van afvalwater zorgt ervoor dat er minder grond- of kraanwater gebruikt hoeft te worden in de tuinbouw. Dit concept is echter maar voor een beperkt aantal glastuinbouwlocaties een optie, omdat een bron met voldoende volume en met de juiste kwaliteit (eventueel na behandeling) in de buurt beschikbaar moet zijn.



**Figuur 1** Sankey-diagram van de waterstromen in een kas voor de referentie tomatenteelt.

---

Aan de uitgaande zijde verlaat het grootste deel van het water de kas via verdamping en ventilatie via de luchtramen. Het product en de gewasresten bevatten maar een klein deel van de aangevoerde hoeveelheid water (ca. 10%), evenals het lozingswater en verliezen via lekkage in het irrigatiesysteem.

Het lozingswater en de lekkages leveren problemen op voor de kwaliteit van het oppervlaktewater, door de emissie van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. In verschillende projecten is al gewerkt aan oplossingen voor bovenstaande uitdagingen voor beperking van emissies van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen via een emissieloze teelt. De mogelijkheden van emissieloos telen zijn in het project Emissieloos telen (Van Os *et al.*, 2016; 2017) voor groentegewassen op substraat aangetoond en ook in de praktijk is al te zien dat een aantal substraattelers inmiddels heeft aangetoond emissieloos te telen om te voldoen aan de zuiveringsplicht. Oplopen van de concentratie natrium in de recirculatie is de voornaamste bottleneck voor een volledig gesloten teelt, als telers meer natrium in het teeltsysteem inbrengen dan er opgenomen kan worden door het gewas. Dit stelt eisen aan de kwaliteit van het ingebrachte gietwater of de ingebrachte hoeveelheid van gietwater van minder goede kwaliteit (meer natrium). Er wordt onderzoek gedaan naar omgang met hogere concentraties natrium in het wortelmilieu om lozing van water te voorkomen (Voogt en Leyh, 2020; Voogt *et al.*, 2022), extra opname door het gewas met behulp van een restgootmethode (Gonzalez en Voogt, 2020) en naar selectieve verwijdering van natrium (bijvoorbeeld Glastuinbouw Waterproof, 2017). Een emissieloze teelt zorgt voor vermindering van de vervuiling van oppervlaktewater met nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen. Het zorgt echter maar voor een klein deel van de oplossing voor de beschikbaarheid van voldoende goed gietwater (0 - 10% lozingen, Van der Salm *et al.*, 2020).

## 1.2 Probleemstelling en oplossingsrichtingen

Het probleem ontstaat doordat de beschikbaarheid van hemelwater (in bepaalde periodes van het jaar) minder is dan de behoefte van een gewas (en zeker tomaat). Aanvullend water is vereist, ook in een emissieloze teelt: gebruik van grondwater staat onder druk door uitputting van bronnen in bepaalde regio's en terugbrengen van zout in de ondergrond na ontzouting met omgekeerde osmose (brijn), leidingwater is te duur en van mindere kwaliteit en oppervlaktewater is goedkoop maar vaak van slechte kwaliteit. Oplossingen om hemelwater beter beschikbaar te maken of andere bronnen geschikt te maken voor gebruik zijn beperkt toepasbaar of duur. Welke bronnen bestaan er en zijn die in staat voldoende aanvullend water te leveren?

Verdampingswater van het gewas is mogelijk een interessante bron van gietwater, omdat dit een bron is die geen natrium bevat en al op de locatie van de teler aanwezig is. Een deel van het verdampte water wordt al als condenswater van de binnenzijde van het kasdek opgevangen en (verplicht) hergebruikt in de teelt. Het meeste verdampingswater wordt echter door ventilatie uit de kas afgevoerd, samen met een deel van de ingebrachte CO<sub>2</sub> en (voelbare en latente) warmte. In meer gesloten kassen wordt meer verdampingswater binnengehouden, dat via actieve ontvochtiging en koeling met luchtbehandelingskasten wordt teruggewonnen voor hergebruik in de kas. Over het algemeen is dit water van hoge kwaliteit, omdat het vrij is van zouten. Bij hergebruik in de kas wordt geen extra natrium in het teeltsysteem ingebracht, waardoor emissieloos telen ook beter bereikbaar wordt. Voordeel van deze waterbron is dat hij beschikbaar is als het meeste water nodig is en er weinig hemelwater beschikbaar is. De kringloop in de kas kan hiermee nog verder gesloten worden. In het Midden-Oosten is hier in onderzoek inmiddels verder mee geëxperimenteerd en is geteeld in volledig gesloten kassen met actieve koeling en ontvochtiging, waardoor nog maar 2-3 L water per kilogram tomaten nodig was (Campen *et al.*, 2020).

De techniek voor actief ontvochtigen en koelen wordt in Nederland echter nog maar weinig toegepast in de praktijk, omdat deze techniek relatief veel energie gebruikt. Dit is in Nederland een probleem door de eisen aan energiebesparing die bij de sector liggen, terwijl bijvoorbeeld in het Midden-Oosten het gebruik van water een meer beperkende factor is. De situatie begint in Nederland echter te veranderen ten opzichte van begin jaren 2000. In een gesloten kas kan 65% bespaard worden op CO<sub>2</sub> t.o.v. een 'open' kas (Raaphorst, 2005). Dit is een belangrijk voordeel voor telers die overgaan op alternatieve bronnen als geothermie, omdat daarbij op het bedrijf zelf geen CO<sub>2</sub> wordt geproduceerd. Het concept van de (semi-)gesloten kas is eerder economisch niet rendabel bevonden voor energiebesparing alleen (De Zwart en Speetjens, 2013), maar hieruit is wel de strategie van Het Nieuwe Telen ontstaan. Nu CO<sub>2</sub> en water minder goed beschikbaar zijn, zijn er naast energiebesparing nog twee redenen bijgekomen om meer gesloten te telen.



---

Verlaging van de verdamping van het gewas kan zorgen voor een verdere energiebesparing en een besparing in de benodigde hoeveelheid water (De Gelder, 2016). In Het Nieuwe Telen wordt bij een hogere luchtvochtigheid geteeld, waardoor het gewas minder verdampt en minder gietwater nodig is. Het verminderen van de verdamping kan bereikt worden door het sturen van het kasklimaat door ontvochtiging, verwarming of bevochtiging (regeling op dauwpunt) en hoeft geen gevolgen te hebben voor de productiviteit van het gewas (Stanghellini, 2009). Deze maatregelen zijn in eerdere instantie met name onderzocht in het kader van energiebesparing, maar kunnen ook een besparing op watergebruik opleveren. Een andere optie kan zijn het beperken van de instraling, waardoor het gewas minder hoeft te verdampen om zichzelf te koelen (De Gelder, 2016).

Een laatste optie is het zelf produceren van water tijdens de productie van warmte en elektriciteit, bijvoorbeeld door toepassing van waterstof als alternatieve energie- en waterbron. Waterstof kan geproduceerd worden uit hernieuwbare energiebronnen en kan bij de eindgebruiker ingezet worden om elektriciteit (brandstofcel, WKK) of warmte (ketel, WKK) te produceren. Tijdens dit omzettingsproces komt in theorie zeer zuiver water vrij, wat ingezet kan worden voor irrigatie van het gewas. Van waterstofauto's is bekend dat het water dat vrijkomt sporen van fluoride kan bevatten, een iets lagere pH en een iets hogere EC heeft dan demiwater. De verbranding van 1 kg waterstof levert ongeveer 9 L water op (TU Delft, 2018).

### 1.3 Projectinrichting

In het project 'Watefficiënte teelt op substraat' wordt gewerkt aan twee doelstellingen: 1. Het bereiken van een hoge implementatiegraad van emissieloos telen; en 2. het verlagen van de hoeveelheid extern gietwater dat nodig is voor de teelt naast de beschikbare hoeveelheid regenwater. Het project is hiervoor opgedeeld in drie werkpakketten:

- WP1: In een emissieloze teelt wordt geen water weggegooid, waardoor tegelijkertijd de benodigde hoeveelheid gietwater wordt verlaagd. In dit werkpakket worden bedrijven gemonitord die de stap maken naar een emissieloze teelt en worden knelpunten opgespoord die een emissieloze teelt nog in de weg staan. Hierbij worden verschillende typen teelten gevolgd, die met verschillende knelpunten te maken kunnen krijgen. Dit werkpakket loopt 5 jaar (2020 – 2024).
- WP2: Er zijn een aantal knelpunten bekend die een emissieloze teelt in de weg kunnen staan. Voor de teelt van amaryllis is met name de teeltwisseling een probleem, waar 100 L/m<sup>2</sup> wordt gebruikt om het substraat te spoelen. In de teelt van potorchidee en gerbera ontstaan mogelijk problemen bij recirculatie door het ophopen van zink. In WP2 wordt gewerkt aan oplossingen voor deze problemen en worden ook opkomende problemen uit WP1 opgepakt. Dit werkpakket loopt 5 jaar (2020 – 2024).
- WP3: Slechts een klein deel van het water gaat verloren door eventuele lozingen, het overgrote deel van het water verlaat de kas via verdamping en ventilatie via de luchtramen. In dit werkpakket wordt gewerkt aan het verminderen van de benodigde hoeveelheid gietwater door het beperken van de verdamping van het gewas, het terugwinnen van verdampingswater via actieve ontvochtiging en koeling en het produceren van water uit (alternatieve) energiebronnen.

Het voorliggende rapport is een rapportage van de resultaten van WP3. Voor de werkpakketten 1 en 2 worden aparte rapportages opgeleverd.

### 1.4 Doelen

De doelen van WP3 van het project Watefficiënte teelt op substraat:

- Ontwikkelen van teeltconcepten voor tomaat waarin alleen hemelwater wordt gebruikt als bron van gietwater, door:
  - Beperken van de gewasverdamping door beperken van instraling, actief bevochtigen/ontvochtigen en verwarmen en koelen bij een hogere luchtvochtigheid;
  - Terugwinnen van verdampingswater bij actief ontvochtigen en koelen;
  - Produceren van water bij de productie van warmte en elektriciteit uit waterstof.
- Zorgen voor een goed afwegingskader voor telers om de hoeveelheid benodigd gietwater uit externe bronnen te beperken:
  - Berekenen van het verbruik van water, energie en CO<sub>2</sub> van de verschillende technische scenario's;
  - Inschatten van de kosten/opbrengsten van de verschillende scenario's, zodat de teler een goede afweging kan maken.

---

## 1.5 Financiers en partners

Het project wordt financieel mogelijk gemaakt door bijdragen vanuit de Topsector Tuinbouw & Uitgangsmateriaal, Greenport West-Holland, het Stimuleringsbudget emissiebeperking Glastuinbouw (Stowa) en Stichting Kennis in je Kas (Kijk). Vanuit de toeleverende industrie zijn Bom Group, Bruine de Bruin en Royal Brinkman de betrokken partners.

---

## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Beschrijving van scenario's

Om het effect van verschillende teeltmaatregelen en toepassing van technieken op watergebruik in beeld te brengen, zijn scenario's ontwikkeld waarin de nadruk ligt op het beperken van het gebruik van gietwater uit andere bronnen dan hemelwater. Deze scenario's zijn doorgerekend met de modellen voor kasklimaat (Kaspro/Intkam) en watergebruik (Model Waterstromen). Er zijn verschillende opties om de afhankelijkheid van externe bronnen van gietwater (naast regenwater) te beperken:

- Vergroten beschikbaarheid hemelwater;
- Verlagen benodigde hoeveelheid gietwater;
- Terugwinnen van verdampingswater van het gewas.

Voor bovengenoemde opties kunnen verschillende technische oplossingen toegepast worden, elk met hun eigen voor- en nadelen, kostenplaatje en verdienmodel. Door het uitvoeren van scenario-berekeningen naar het effect van een groot aantal technische oplossingen, kunnen telers een afgewogen keuze maken voor een (combinatie van) techniek. In de scenarioberekeningen is doorgerekend hoeveel water er nodig is voor het irrigeren van het gewas, hoeveel water uit externe bronnen hiervoor nodig is bij een tekort aan hemelwater en wat het effect is op gebruik van energie en CO<sub>2</sub>. Deze laatste twee factoren zijn ook belangrijk, omdat de sector belangrijke doelen heeft voor het terugdringen van het gebruik van energie en CO<sub>2</sub>, en omdat ze een belangrijke bijdrage hebben aan de kosten van de bedrijfsvoering. Hiermee zijn deze twee factoren ook sterk van invloed op de praktische haalbaarheid van de teeltconcepten voor waterbesparing.

#### 2.1.1 Basisgegevens

In alle scenario's is gerekend aan het effect op het watergebruik van tomaat geteeld op steenwol, een grote teelt met een grote watervraag. De volgende basisvoorzieningen zijn aanwezig in een Venlokas met een teeltoppervlak van 1 hectare:

- Een gebruikelijk verwarmingssysteem (1.25 meter buis van 51 mm diameter per m<sup>2</sup> kas als buisrail systeem en een groeibuis van 32 mm per teeltrij), met de volgende instellingen voor verwarming (stooklijn):
  - Planten: 15 december; einddatum 20 november;
  - de eerste 2 weken na planten 18 °C dag en nacht;
  - begin januari, blijft de dag op 18 °C maar gaat de nacht naar 16 °C;
  - Vanaf half januari gaan de dag en nacht temperatuur een graad omhoog;
  - Op 1 februari gaat de dag-temperatuur naar 19 °C;
  - Vanaf 1 maart wordt 18 °C nacht, 20 °C dag, 16 °C voornacht aangehouden;
  - Vanaf september 17 °C nacht, 19 °C dag, 16 °C voornacht (zon-onder – 23:00);
  - Vanaf 1 oktober 18 °C nacht, 20 °C dag, geen voornacht;
  - De stooklijn wordt op buitenstraling met 2 °C verhoogd in het traject van 200 tot 400 W/m<sup>2</sup> globale straling.
- Het buisrailnet heeft een maximum buistemperatuur van 65 °C. De groeibuis wordt begrensd op 55 °C. Er wordt geen minimumbuis temperatuur gebruikt.
- Drieruits halve luchting om en om in een 4.5 meter vakmaat. Ventilatielijn: Overdag 2 °C boven de stooklijn, na zon-onder 1 °C boven stooklijn.
- Schermsturing:
  - 1<sup>e</sup> doek: Doek open houden als T<sub>buiten</sub> > 15 °C;
  - Als het kouder is dan 15 °C gaat het doek dicht als de hoeveelheid licht onder het sluit-criterium ligt. Bij temperaturen tussen 15 en 8 °C ligt dat criterium op 10 W/m<sup>2</sup> (dus wordt het scherm alleen 's nachts gebruikt). Bij temperaturen onder de 0 °C gaat het scherm dicht als er minder dan 150 W/m<sup>2</sup> straling is. Tussen 0 en 8 °C wordt het sluit-criterium bepaald door interpolatie;
  - 2<sup>e</sup> doek: Wordt alleen gebruikt als het donker is en T<sub>buiten</sub> < 13 °C.

- Schermkieren:
  - Op temperatuur: Kier 5% als kasluchttemperatuur 1 °C hoger dan de ventilatielijn;
  - Op vocht: de klimaatregeling grijpt in als luchtvochtigheid >85%, proportioneel meer schermkier en raamopening met maximaal ventileren als RV >88%.
- Er wordt geen luchtbehandeling toegepast.
- De watergift is 200 mL/m<sup>2</sup> per mol licht/m<sup>2</sup>, waarbij 30% drain wordt aangehouden.
- Als aanvullend water wordt grondwater toegepast na behandeling met omgekeerde osmose, met een natriumgehalte van 0.5 mmol/l.
- De voedingsoplossing wordt aangemaakt met vloeibare, natriumarme meststoffen.
- Filters voor het behandelen van het recirculerende water worden gespoeld met schoon water.
- Het condenswater van de kas wordt volgens de wettelijke verplichting hergebruikt.

### 2.1.2 Referentiescenario

In het referentiescenario is gerekend met een hemelwaterbassin met een omvang van 500 m<sup>3</sup>/ha, het wettelijk minimum als er geen betere of vergelijkbare kwaliteit gietwater beschikbaar is. Over het algemeen bevat hemelwater een gehalte van <0.1 mmol/L natrium, alleen dicht bij de kust kan het door depositie op het kasdek van relatief zout regenwater een hogere concentratie bevatten. In de teelt van tomaat wordt door de meeste telers gewerkt met een grenswaarde van 8 mmol/L natrium in de voedingsoplossing (inmiddels is aangetoond dat ook bij 20 mmol/L natrium geteeld kan worden; Voogt en Leyh, 2021). Er is gerekend aan het watergebruik in een teelt zonder assimilatiebelichting, met een plantdatum van 15 december en een einddatum van 20 november. Samengevat referentiescenario:

- Beschrijving kasinrichting (Sectie 2.1.1);
- Regenwaterbassin: 500 m<sup>3</sup>/ha;
- Natriumgehalte regenwater: 0,5 mmol/l;
- Grenswaarde natrium om te lozen: 8 mmol/l.

### 2.1.3 Gevoeligheidsanalyses

Er wordt onderscheid gemaakt tussen gevoeligheidsanalyses (Sectie 2.1.3) en scenario studies (Sectie 2.1.4). In de gevoeligheidsanalyses wordt het effect op het waterverbruik beoordeeld van factoren die de teler niet actief kan beïnvloeden (natrium in het gietwater, droog of nat weerjaar). Bij de scenarioberekeningen worden varianten beoordeeld waar de teler actief in kan sturen (groter bassin aanleggen, belichting gebruiken, ander setpoint voor RV).

In de gevoeligheidsanalyses is onderzocht wat het effect is van de natriumconcentratie in het gietwater en het neerslagpatroon in vergelijking tot de referentie. Op deze manier kan er een inschatting worden gemaakt van de verschillen tussen telers op verschillende locaties en wat het effect is van het weer op het waterverbruik. De volgende varianten zijn geanalyseerd en vergeleken met de Referentie:

- Langs de kust: extra natrium (0,5 mmol/L) in het regenwater;
- Extreem veel natrium in het regenwater (0,7 mmol/L);
- Veel natrium in het aanvullende water (1,5 mmol/L);
- Extra veel natrium in het aanvullende water (2,5 mmol/L);
- Bovengenoemde varianten zijn doorgerekend voor het droge jaar 2019 (totale hoeveelheid hemelwater niet laag (885 mm), maar van eind januari tot begin juni nauwelijks regen), extreem droog was het jaar 2018 (720 mm), een normaal regenjaar was 2011 (921 mm, mooie spreiding over het jaar) en een nat jaar was 2012 (995 mm). Het verschil tussen normaal, droog en nat jaar laat zich niet zozeer zien in de totale hoeveelheid neerslag, maar zit vooral in de verdeling over het jaar.

Het geheel van uitgangspunten is vastgelegd in Tabel 1.

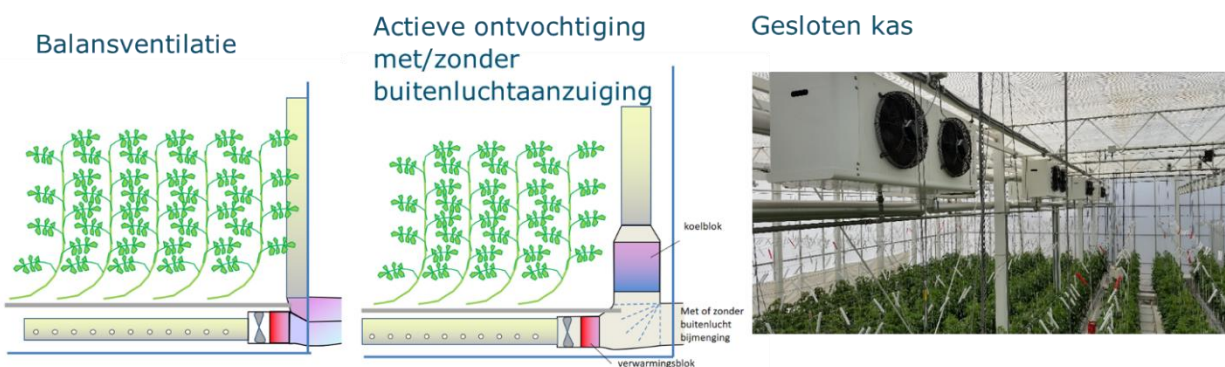
**Tabel 1** Scenario's voor de gevoeligheidsanalyses, vergeleken met de referentie.

Gevoeligheidsanalyses		REF	1	2	3	4	5	6	7
Natrium in hemelwater	mmol/L	0.1	0.5	0.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Natrium in aanvullend water	mmol/L	0.5	0.5	0.5	1.5	2.5	0.5	0.5	0.5
Meteorologisch jaar	jaar	2019	2019	2019	2019	2019	2018	2011	2012
Neerslag in betreffend jaar weerstation Rotterdam	mm/jaar	885	885	885	885	885	720	921	995
Karakterisering weerjaar		droog	droog	droog	droog	droog	extreem droog	normaal	nat

### 2.1.4 Scenario's

In een vervolgstudie zijn afwijkende scenario's beschreven en geanalyseerd op (aanvullend) waterverbruik. De volgende scenario's zijn onderscheiden (samengevat in Tabel 2):

- Referentie gaat uit van een onbelichte teelt met planten op 15 december, in scenario 1 wordt een belichte teelt toegepast met planten op 15 september;
- Referentie gaat uit van een regenwaterbassin van 500 m<sup>3</sup>/ha in scenario 2 is het bassin 1500 m<sup>3</sup>/ha en in scenario 3 3000 m<sup>3</sup>/ha;
- Referentie gaat uit van een grenswaarde om te lozen bij 8 mmol/L; in scenario 4 is deze grens opgetrokken naar 12 mmol/L en in scenario 5 naar 16 mmol/L natrium als grens om te gaan lozen;
- De twee volgende scenario's volgen de richtlijnen van Het Nieuwe Telen:
  - Referentie gebruikt geen schaduw scherm. In scenario 6 sluit het scherm als het lichtniveau boven de 600 W/m<sup>2</sup> komt;
  - Referentie gaat uit van een setpoint voor RV van 85%, in scenario 7 is gekozen voor een setpoint op 88%.
- Terugwinnen van verdampingswater via verschillende technieken (Figuur 2) waarbij de nadruk ligt op het terugwinnen van water dat als aanvullend gietwater kan worden gebruikt:
  - In scenario 8 wordt balansventilatie toegepast: warme lucht wordt uit de kas gehaald en vervangen door buitenlucht zodanig dat de uitstromende lucht de setpoint temperatuur heeft;
  - In scenario 9 wordt de next generation semi-gesloten kas toegepast: warme kaslucht passeert een koelblok en zo nodig wordt hier buitenlucht bijgemengd, waarna het op setpoint temperatuur komt;
  - In scenario 10 wordt de volledig gesloten kas toegepast: alle lucht wordt rondgepompt via een luchtbehandelingskast en gekoeld tot de setpoint temperatuur.



**Figuur 2** Schematisch overzicht scenario's 8, 9 en 10, respectievelijk balansventilatie, actieve ontvochtiging en een gesloten kas.

- 
- In scenario's 11 en 12 wordt geteeld in een gesloten kas waar geen aanvullend water nodig is, waarbij scenario 1 wordt vergeleken met de onbelichte teelt (Referentie) en scenario 12 met scenario 1, de belichte teelt. Technisch is het verschil dat in een gesloten kas (scenario 10) geen luchttingsramen nodig zijn, maar in scenario 11 wel omdat in de winterperiode geen verdampingswater wordt teruggewonnen terwijl dan wel vocht moet worden afgevoerd. Scenario 12 was bedoeld voor een belichte teelt, maar in de zomer is er geen belichting actief en gedraagt de kas zich als de kas in scenario 11 en daarom is scenario 12 niet verder beoordeeld;
  - In scenario 13 wordt fossielvrij geteeld. Een ontvochtigingsunit wordt in een belichte teelt gebruikt om warmte te verzamelen voor een warmtepomp. Het vrijkomende water wordt opgeslagen in een aquifer, wat het hele jaar kan, zowel tijdens ontvochtiging als tijdens koelbehoefte;
  - Waterstof is de brandstof in scenario 14 en 15 waarbij veel water vrijkomt dat als aanvullend water kan worden ingezet. Hier wordt vergeleken met een onbelichte (Referentie) en een belichte (scenario 1) teelt.

In Tabel 2 is een samenvatting van alle scenario's gegeven.

## 2.2 Modellen

De gevoeligheidsanalyses (Tabel 1) en de scenario's (Tabel 2) zijn vervolgens met het gecombineerde model Waterstromen/Kaspro/Intkam doorgerekend op effect op waterverbruik, productie, gas, elektriciteitsverbruik en CO<sub>2</sub> verbruik. Aan de hand van de uitkomsten zijn voor de scenario's de economische effecten berekend.

### 2.2.1 Model Waterstromen

In het model Waterstromen wordt op basis van een gekozen meteorologisch jaar berekend wat het regenwaterverbruik is, hoeveel aanvullend water nodig is en hoeveel water er moet worden geloosd vanwege het bereiken van de (ingestelde) natrium grenswaarde. Het WS model gaat uit van een eenvoudig verdampingsmodel dat recentelijk is geïntegreerd met het al bestaande model Kaspro.

### 2.2.2 Kaspro/Intkam

De simulaties zijn gemaakt met het simulatiemodel Kaspro/Intkam (De Zwart, 1996, Elings *et al.*, 2020). Dit model beschrijft het verdampingsproces vanuit het gewas als functie van het kasklimaat, en natuurlijk de lichtomstandigheden. In het model wordt het gewas gezien als een verdampend oppervlak dat de warmte die nodig is voor de verdamping onttrekt aan de omgeving, of aangevoerd krijgt vanuit het (zon)licht. In lichte omstandigheden is het gewas daarmee in de regel iets warmer dan de kasluchttemperatuur en in donkere omstandigheden is het gewas iets kouder dan de kasluchttemperatuur. Het simulatiemodel heeft een irrigatie-regelaar die op grond van gecumuleerd licht een irrigatie-beurt geeft. Op dagen met weinig licht krijgt het gewas dan twee of drie beurten, maar op zonnige dagen kan dit 20 tot 30 beurten opleveren. Met deze instellingen ligt het gemiddelde drainpercentage over een dag rond de 30%. Watergift en drain worden bijgehouden, evenals de gift- en opnameconcentratie van de meststoffen zodat de accumulatie van natrium (en eventueel chloor) kan worden bijgehouden en er dus uitgerekend kan worden wanneer drain water geloosd moet worden. Zolang de natrium-concentratie onder de grenswaarde blijft, wordt uitgegaan van recirculatie (Voogt *et al.*, 2012).

**Tabel 2** Scenario's, vergeleken met de referentie.

Scenario's:	REF	1	2	3	4	5	6
<b>Naam</b>	<b>Referentie</b>	<b>Belichting</b>	<b>HWB 1500</b>	<b>HWB 3000</b>	<b>Natrium 12</b>	<b>Natrium 16</b>	<b>Beperking instraling (scherm &gt;600 J)</b>
Weerjaar	droog	droog	droog	droog	droog	droog	droog
Natrium in hemelwater	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Natrium in aanvullend water	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Belichting	uit	aan	uit	uit	uit	uit	uit
Hemelwaterbassin (m <sup>3</sup> /ha)	500	500	1500	3000	500	500	500
Grens Na (mmol/L)	8	8	8	8	12	16	8
Beperken instraling volgens HNT	nee	nee	nee	nee	nee	nee	ja
Beperken verdamping volgens HNT	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee
	9	10	11	12	13	14	15
<b>Naam</b>	<b>Actieve ontvochtiging</b>	<b>Gesloten kas</b>	<b>Voldoende gesloten - onbelicht</b>	<b>Voldoende gesloten - belicht</b>	<b>Fossielloos telen - belicht</b>	<b>H<sub>2</sub> onbelicht</b>	<b>Waterstof, belicht</b>
Weerjaar	droog	droog	droog	droog	droog	droog	droog
[Na] in hemelwater	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
[Na] in aanvullend water	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Belichting	uit	uit	uit	aan	aan	uit	aan
HWB (m <sup>3</sup> /ha)	500	1000	1000	1000	500	1500	1500
Grens Na (mmol/L)	8	8	12	12	12	12	12
Beperken instraling HNT	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee
Beperken verdamping HNT	nee	nee	nee	nee	nee	nee	nee

# 3 Resultaten

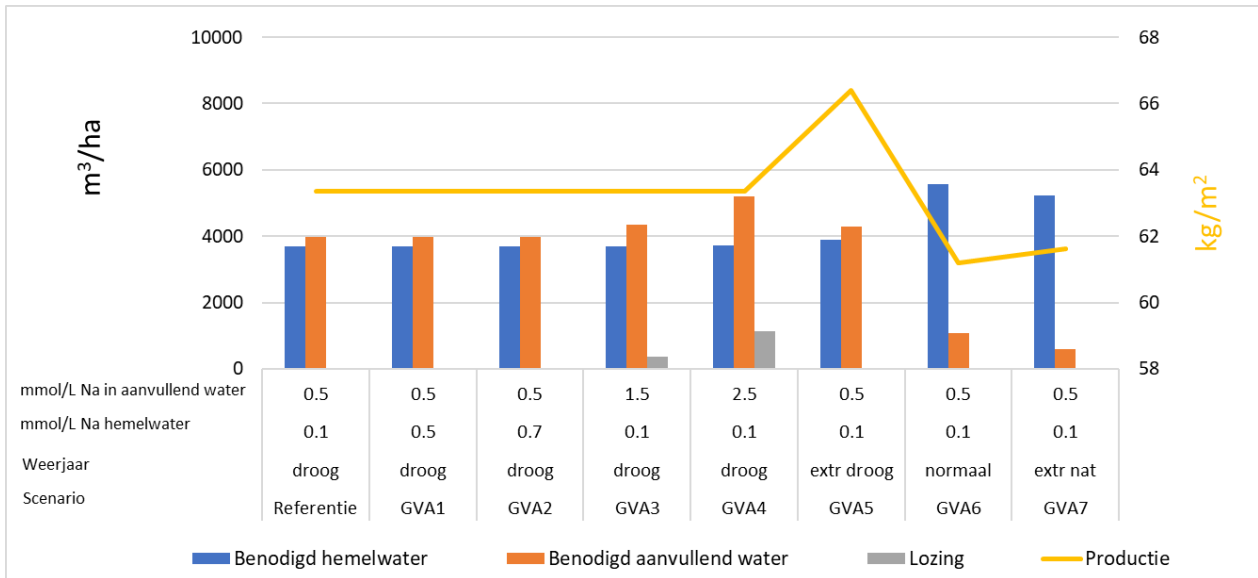
## 3.1 Gevoeligheidsanalyses

Op basis van Tabel 1 is de gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op het waterverbruik voor verschillende varianten in vergelijking met de beschreven referentie (Tabel 3). In de referentie is 8614 m<sup>3</sup>/ha aan water nodig, hoeft er niet te worden geloosd, bedraagt het gasverbruik 31 m<sup>3</sup>/ha gas en is er 33 kg/ha CO<sub>2</sub> nodig wat gezamenlijk resulteert in een groei van 63,4 kg tomaat per m<sup>2</sup>. Het hemelwaterbassin van 500 m<sup>3</sup>/ha voorziet dan in een droog jaar (2019) voor 43% in de waterbehoefte van het gewas, 11% wordt geleverd via condenswater en 46% is nodig via aanvullend water. In de varianten is onderzocht hoe de hoeveelheid aanvullend water kan worden verminderd. In Figuur 3 zijn waterbehoefte en productie weergegeven voor genoemde varianten.

**Tabel 3** Gevoeligheidsanalyses op het waterverbruik bij diverse varianten in vergelijking met de referentie op jaarbasis.

Weerjaar	Na in hemelwater	Na in aanvullend water	Benodigd hemelwater	Benodigd aanvullend water	Geleverd condenswater	Totaal benodigd water	Lozing	Warmte	Elektriciteit	CO <sub>2</sub>	Groei
	mmol/L	mmol/L	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha gas	kWh/ha	Kg/ha	Kg/m <sup>2</sup>
Referentie droog	0.1	0.5	3693	3971	941	8614	0	31	0	33	63.4
GVA1 droog	0.5	0.5	3693	3971	941	8614	0	31	0	33	63.4
GVA2 droog	0.7	0.5	3693	3971	941	8614	0	31	0	33	63.4
GVA3 droog	0.1	1.5	3693	4342	941	9339	354	31	0	33	63.4
GVA4 droog	0.1	2.5	3716	5196	941	11000	1137	31	0	33	63.4
GVA5 extr droog	0.1	0.5	3878	4277	938	9151	0	29	0	33	66.4
GVA6 normaal	0.1	0.5	5577	1074	979	7569	0	33	0	31	61.2
GVA7 extr nat	0.1	0.5	5228	597	1277	6750	0	32	0	28	61.6





**Figuur 3** Grafisch overzicht van waterverbruik (Y1-as) en productie (Y2-as) in de gevoeligheidsanalyses.

In de eerste varianten (GVA1 en GVA2) is gebruik van zouter hemelwater (b.v. aan de kust) nagebootst (respectievelijk 0,5 en 0,7 mmol/L natrium). Dit heeft geen effect op de groei of de hoeveelheid te lozen water. Wordt echter het natriumgehalte in het aanvullend water verhoogd naar 1,5 mmol/L natrium (GVA3) dan is bij een natrium grenswaarde van 8 mmol/l 354 m<sup>3</sup>/ha lozing nodig. Bij een verhoging naar 2,5 mmol/L natrium zelfs 1137 m<sup>3</sup>/ha (GVA4). De groei blijft hetzelfde maar het waterverbruik neemt toe. Dit betekent dat respectievelijk 3.6 en 10.5% van het water moet worden geloosd. Het condenswater is in deze berekeningen niet meegeteld bij het regenwater maar als aparte gietwaterbron (opvang verdampingswater).

In een extreem droog jaar (2018, GVA5) wordt het totale waterverbruik hoger (ca. 6%) door meer licht (zon) en verdamping, maar de benutte absolute hoeveelheid hemelwater neemt ook toe (3878 m<sup>3</sup>/ha) terwijl de neerslag juist afneemt (van 885 naar 720 mm). Door het kleine bassin (500 m<sup>3</sup>/ha) kan niet alle neerslag worden benut (slechts 42% in een droog jaar, maar 54% in een extreem droog jaar), in natte tijden loopt het bassin over, in droge tijden is er snel een tekort. In een normaal neerslag jaar (2011, GVA6) is de neerslagbenutting 61%, maar in een nat jaar (2012, GVA7) ook maar 52%.

In een droog en een extreem droog jaar voorziet hemelwater voor ca. 43% in de gietwaterbehoefte, in een normaal of in een nat jaar loopt de hemelwaterbenutting op naar respectievelijk 74 en 77%. In een normaal neerslag jaar neemt het hemelwater gebruik fors toe en het aanvullend waterverbruik daalt drastisch (naar 14% van het totaal). In een extreem nat jaar (GVA7) wordt het hemelwater nog beter benut (voor bijna 77%) en is maar 9% aanvullend water nodig. Door het natte weer is het glas vaker nat wat meer condenswater oplevert (19% van de waterbehoefte). De groei is in extreem droge jaren wat meer (waarschijnlijk extra licht) en het gasverbruik wat minder, terwijl in een nat jaar de groei wat minder is en het gasverbruik wat stijgt.

Uit de gevoeligheidsanalyses blijkt dat een nullozing goed haalbaar is in de teelt van tomaat (zonder meerekenen van teeltwisseling) en lozing pas nodig is als de natriumconcentratie in het aanvullende gietwater boven de 1,5 mmol/L komt (bij een grenswaarde van 8 mmol/L natrium). De invloed van het weerjaar is groot, maar met goed gietwater is ook hier een nullozing makkelijk haalbaar in zowel droge als natte jaren (op basis van de natriumconcentratie). In een normaal of nat weerjaar is veel minder aanvullend water nodig, bij deze grootte van het hemelwater bassin, 500 m<sup>3</sup>/ha). Het gasverbruik vermindert alleen in het extreem droge jaar, hier zal het duidelijk warmer zijn geweest, terwijl de groei toeneemt door waarschijnlijk meer licht. Daartegenover staat een nat weerjaar met minder licht waardoor ook meer gas voor verwarming nodig is. Het blijkt ook dat met een klein opvangbassin van 500 m<sup>3</sup>/ha in droge jaren maar weinig regenwater wordt benut (42-54%), in een normaal neerslagjaar loopt dit op naar 61%, maar daalt weer als er nog meer regen valt. Er is dan veel overloop naar het oppervlaktewater. Hemelwater voorziet voor ca 43% in de totale waterbehoefte in een droog jaar en in nattere jaren kan dit oplopen naar 77%.

## 3.2 Scenarioberekeningen, water, energie en productie

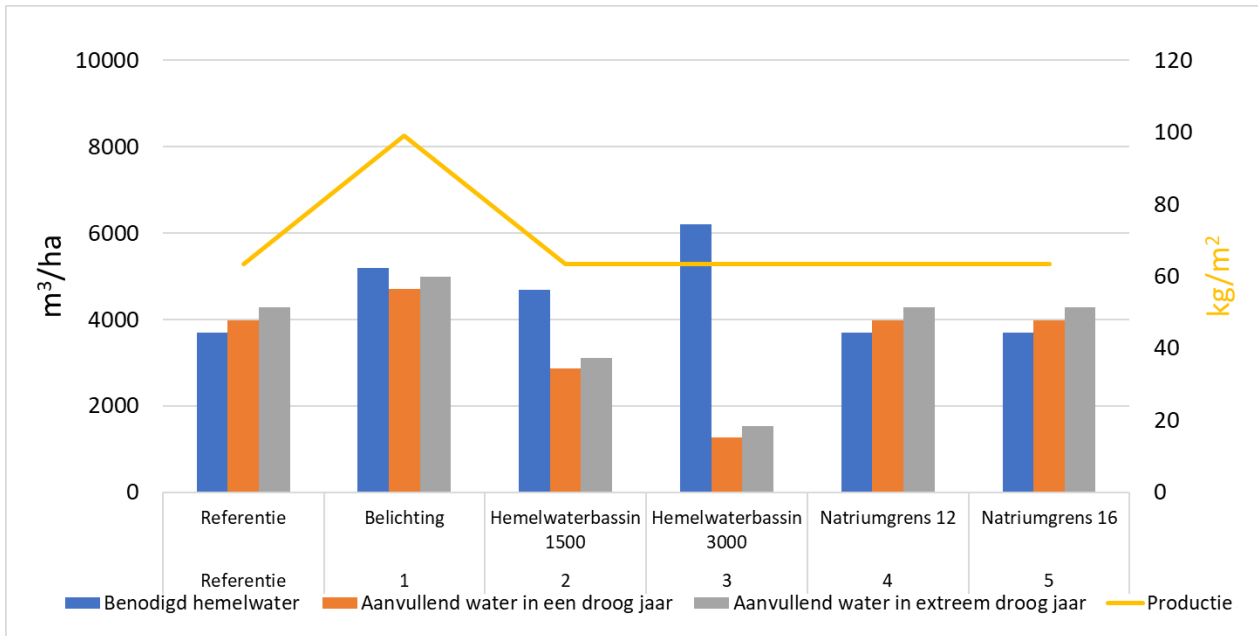
De beschreven scenario's in Sectie 2.1.4 en in Tabel 2 zijn vervolgens doorgerekend en worden hieronder besproken en vergeleken met de Referentie (Sectie 2.1.2). In Tabel 4 is een overzicht gegeven.

**Tabel 4** Scenarioberekeningen, vergeleken met de referentie op jaarbasis.

Scenario's	Naam	Benodigd hemelwater	Aanvullend water in een droog jaar	Aanvullend water in extreem droog jaar	Condens water	water behoefte
		m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha
Referentie	Referentie	3693	3971	4277	941	8614
1	Belichting	5181	4698	4991	1088	11365
2	Hemelwaterbassin 1500	4693	2873	3100	941	8517
3	Hemelwaterbassin 3000	6193	1271	1540	941	8414
4	Natriumgrens 12	3693	3971	4277	941	8614
5	Natriumgrens 16	3693	3971	4277	941	8614
6	Beperking instraling (scherm >600 W/m <sup>2</sup> )	3693	3330	3500	841	7958
7	Beperking verdamping (RV 88%)	3648	3573	3985	1038	8195
8	Balans ventilatie	3526	3070	3787	2094	7559
9	Actieve ontvochtiging	3536	3873	3874	1885	8421
10	Gesloten kas	2599	0	0	5045	3671
11	Voldoende gesloten - onbelicht	4000	825	1576	3580	5844
12	Voldoende gesloten - belicht	--	--	--	--	--
13	Fossilloos telen - belicht	4764	3573	4142	2603	9848
14	Waterstof, onbelicht	6665	0	38	941	7615
15	Waterstof, belicht	9445	1306	8	1088	12237

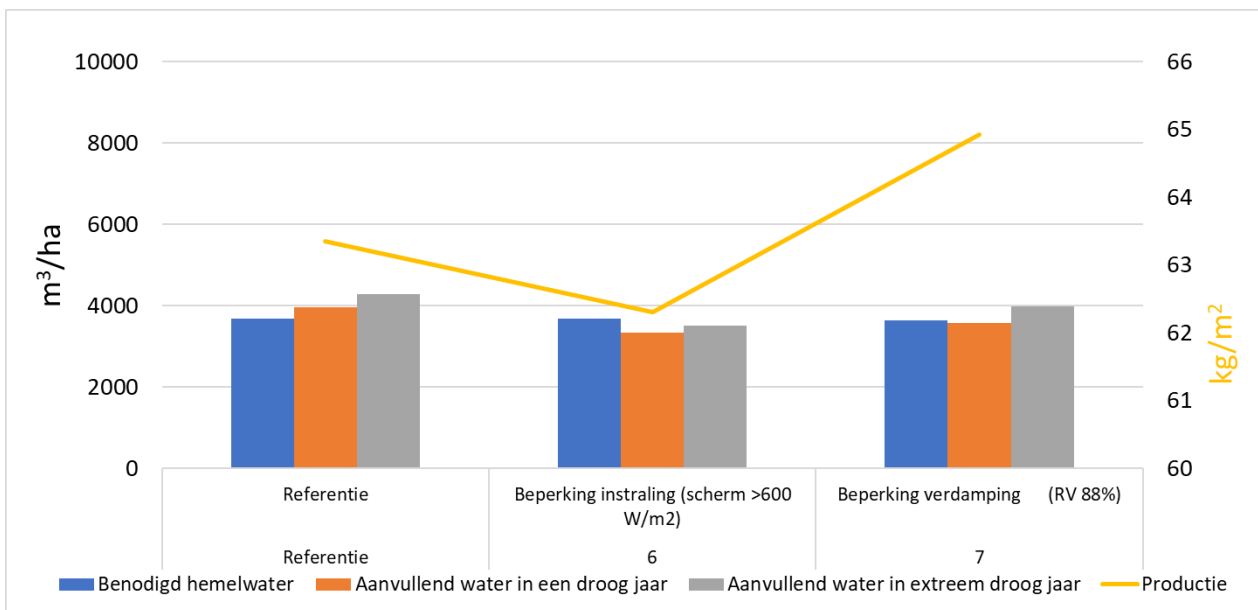
\*) waterbehoefte = hemelwater + additioneel water + 15% groei.

In Tabel 4 is ook gerekend met een extreem droog jaar (2018) in vergelijking met een droog jaar (2019; zie ook Tabel 1). Het blijkt dat gemiddeld over de scenario's 8% extra aanvullend water nodig is. De scenario's 1 t/m 5 zijn grafisch weergegeven in Figuur 4. Scenario's 6 en 7 in Figuur 5, scenario's 8 t/m 13 in Figuur 6 en scenario's 14 en 15 in Figuur 7.



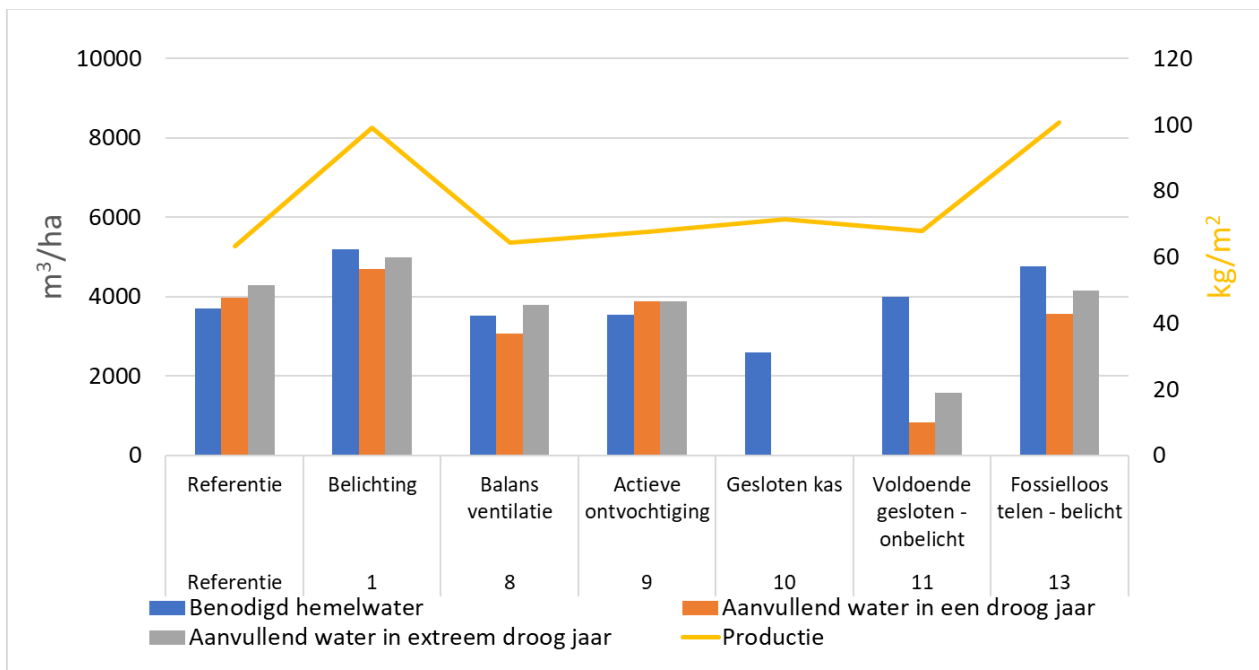
**Figuur 4** Grafische weergave van waterverbruik en productie bij de scenario's 1 t/m 5 in vergelijking met de Referentie.

- Belichting (scenario 1): Teelt tussen september en juli vraagt fors meer elektriciteit en CO<sub>2</sub> wat resulteert in een fors hogere productie en logischerwijs waterverbruik (27% extra). Van het waterverbruik is het aandeel regenwater groter omdat het water gelijk gebruik wordt in de winter.
- Een groter hemelwaterbassin (geen 500 maar 1500 of 3000 m<sup>3</sup>/ha; scenario 2 en 3) zorgt voor een betere regenwaterbenutting en een afnemend aanvullend waterverbruik (max 30% in scenario 2 en 14% in scenario 3) bij gelijkblijvende productie en geen lozing.
- Verleggen van de natrium grenswaarden voor lozing van 8 mmol/L naar 12 of 16 mmol/L natrium (scenario 4 en 5) heeft geen effect op productie of waterverbruik aangezien er geen lozing is. In Sectie 3.1 was al aangegeven dat lozing pas optreedt boven de 1,5 mmol/L natrium in aanvullend gietwater.



**Figuur 5** Grafische weergave van waterverbruik en productie bij de scenario's 6 en 7 in vergelijking met de Referentie.

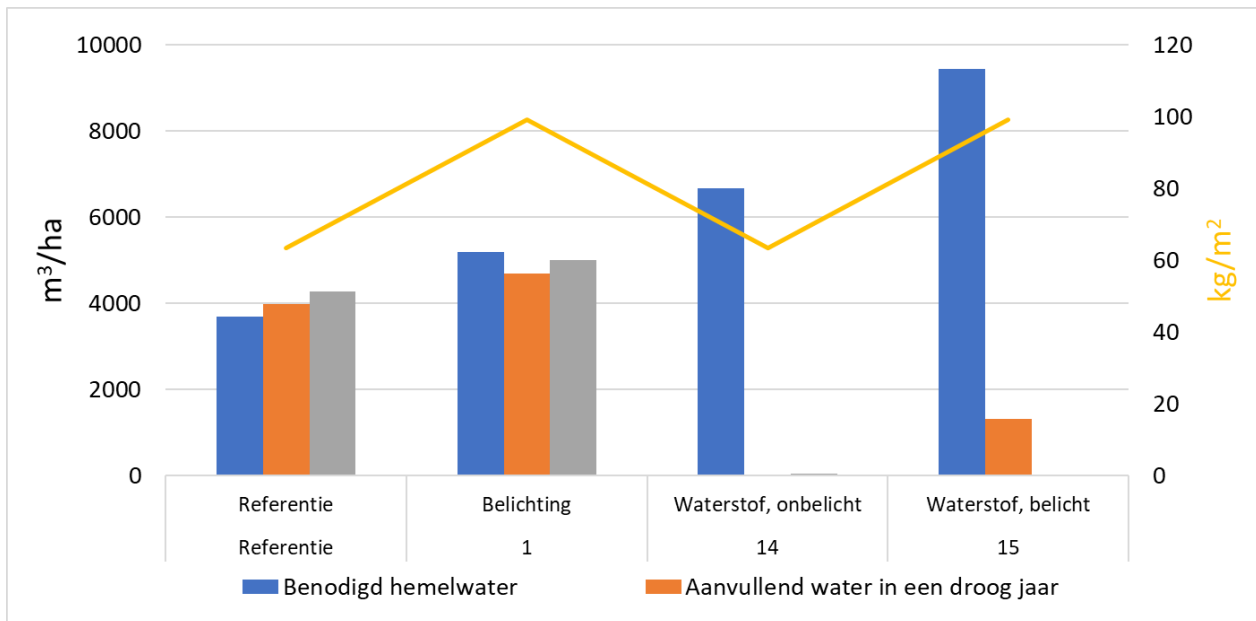
- Eerder gaan schermen (80% sluiting bij >600 W/m<sup>2</sup> buitenstraling; scenario 6) leidt tot een 9% lager waterverbruik maar ook een 2% lagere productie.
- Het aanhouden van een hogere RV (88% i.p.v. 85%; scenario 7) leidt tot een 2% hogere productie bij een 2% kleiner waterverbruik en een 13% kleiner gasverbruik. Ook wordt meer condenswater teruggewonnen. Een hogere RV kan wel zorgen voor een hogere ziektedruk door eerder natslaan van het gewas.



**Figuur 6** Grafische weergave van waterverbruik en productie bij de scenario's 8 t/m 13 in vergelijking met de Referentie.

- Het toepassen van balansventilatie met terugwinning van (condens)water (scenario 8) leidt tot een 2% hogere productie bij een lager totaal waterverbruik (13%) door verdubbeling van teruggewonnen condenswater, betere benutting van hemelwater en een 23% lager aanvullend waterverbruik. Het energieverbruik neemt duidelijk af door de (gedeeltelijk) teruggewonnen voelbare warmte.
- Toepassing van actieve ontvochtiging (next generation semi gesloten kas; scenario 9) leidt tot een 6% hogere productie, 16% minder gas en iets minder watergebruik door veel waterterugwinning en daardoor efficiënter hemelwatergebruik en een gelijkblijvend additioneel waterverbruik. Dit komt omdat er is aangenomen dat er alleen een etmaalbuffer is waarin geogste warmte kan worden opgeslagen. Deze staat in de zomer nauwelijks aan want de warmtevraag is klein en daardoor kan de ontvochtiger de geogste warmte dus nauwelijks gebruiken.
- In de gesloten kas (scenario 10) is allereerst het hemelwaterbassin vergroot naar 1000 m<sup>3</sup>/ha om voldoende wateropvang te hebben. Het gewas legt water vast, er is waterverlies in het watersysteem (1,5%) en ook de kas lekt een beetje. Als er dan een klein bassin is, dat veel overloopt, ontstaat er in droge perioden alsnog een watertekort. De productie gaat in de gesloten kas omhoog (13%), de warmtevraag via gas staat op 0, maar de elektriciteitsbehoefte voor verdampers en koeling is groot (224 kWh/jr). De watervraag is fors afgenomen door opvang van het condenswater en het vergrootte hemelwaterbassin (33%) maar kan uit het hemelwaterbassin en de fors toegenomen condenswaterproductie worden gedekt. Aangezien er dagelijks water(damp) wordt teruggewonnen (zichtbaar in de post "condenswater") moet dit ergens worden opgeslagen, daarvoor is het naar 1000 m<sup>3</sup>/ha vergrootte regenwaterbassin gebruikt.
- In scenario 11 is een gesloten kas bedoeld die geen extra aanvullend water nodig heeft. In de gesloten kas zijn er echter geen ramen, hier is dat wel nodig omdat die nodig zijn als er geen water wordt verzameld. Daardoor ontstaat een koelcapaciteit in de zomer die vergelijkbaar is met de gesloten kas. In de periode tussen 1 sept en half april hoeven de koelers niet te worden gebruikt, er is dan al (hemel)water in het bassin. Het elektriciteitsverbruik is daarom iets lager dan bij scenario 10 (190 om 224 kWh). Het bleek toch niet mogelijk om aanvullend watergebruik tot nul te reduceren. In de zomer moet er door verdamping met de ramen open en de afwezigheid van waterterugwinning en gebrek aan hemelwater water van elders worden gehaald.

- Scenario 11 was bedoeld voor een onbelichte kas, in scenario 12 wordt een belichte kas bedoeld. Echter, de belichte teelt is in de zomer vergelijkbaar met een onbelichte teelt en is daarom niet opgenomen, scenario 12 wordt daarmee gelijk aan scenario 11.
- In scenario 13 wordt bij een belichte teelt een ontvochtigingsunit gebruikt om warmte te verzamelen voor een warmtepomp. Het water met warmte wordt opgeslagen in een aquifer, wat het hele jaar kan, zowel tijdens ontvochtiging als tijdens koelbehoefte. Daarvoor is een luchtbehandelingskast van 10 m<sup>3</sup>/uur voldoende. Het resultaat is een verlaging van het additioneel water met ca. 24% t.o.v. de belichte teelt in scenario 1. Het totale waterverbruik neemt met 13% af, terwijl productie met 2% toeneemt. De teelt is gasloos maar het stroomverbruik is ruwweg 470 kWh/(m<sup>2</sup> jaar), hiervan is het grootste deel voor de lampen (340 kWh) en maar een klein deel voor verwarming/koeling.



**Figuur 7** Grafische weergave van waterverbruik en productie bij de scenario's 14 en 15 (waterstof) in vergelijking met de Referentie.

- De verbranding van waterstof levert water ( $1 \text{ mol H}_2 + \frac{1}{2} \text{ mol O}_2 \rightarrow 1 \text{ mol H}_2\text{O}$ ; 1 kg waterstof levert dan 9 kg water). Zou dat water kunnen dienen als gietwater en is dat in voldoende mate aanwezig? KWR (Van Wijk, 2015, De vraag naar water in een waterstofeconomie) geeft een onderste verbrandingswarmte van waterstof van 33.3 MJ per kg en een bovenste verbrandingswarmte van 39.4 MJ/kg. 6.1 MJ verschil is precies de latente warmte van 9 liter water. Omdat in de glastuinbouw WKK's in gebruik zijn moeten we naar de onderste verbrandingswaarde kijken en kan gesteld worden dat waterstof verbranding 0.27 liter water per MJ energie input oplevert. Ter vergelijking: de verbranding van aardgas levert 1.35 liter water per m<sup>3</sup> verbrand aardgas, dus dat komt op 0.04 liter water per MJ. De 'rook'gassen van een brandstofcel bevatten per eenheid input energie dus 7x zoveel water als de rookgassen van een 'gewone' aardgas verbrandingsmotor. Maar dit water is nog niet vloeibaar. Het is waterdamp die je zal moeten condenseren tegen een koud gemaakt oppervlak (de 'rook'gas condensor). De gebruikelijke rookgascondensoren halen ongeveer de helft van het water uit de rookgassen. Dit betekent dat er uit de rookgascondensor van een WKK van 500 kWe zo'n 100 liter water per uur loopt. Om 100 liter water per uur te condenseren is er ongeveer 80 kW koelvermogen nodig, dus als we uitgaan van een 500 kWe WKK op een hectare (wat zo'n beetje de standaard is) dan moet het condensornet 8 W/m<sup>2</sup> kas afgeven om deze 100 liter per uur te laten condenseren. Een gemiddelde WKK draait zo'n 14 uur per dag en levert dan dus 0.14 liter water/(m<sup>2</sup> dag) (uitgaand van die 500 kWe per ha). Wat verandert er als i.p.v. een 500 kWe gasmotor WKK een 500 kWe brandstofcel wordt gebruikt? Door het hogere elektrisch rendement van de brandstofcel is de energie-input (de gas-input) geen 1250 kW, maar 900 kW. De energie-input is dan kleiner, maar de water-output is hoger. Wordt weer uitgegaan van de terugwinning van de helft van de waterdamp uit de rookgassen en de 0.27 liter waterdamp productie per MJ bij de verbranding van waterstof dan levert zo'n 500 kWe brandstofcel 440 liter water per uur. Ruim 4 keer zoveel dus als een gasmotor WKK. Zou de 500 kWe brandstofcel op een bedrijf van 1 ha 24 uur draaien dan

levert dat 1 liter water per m<sup>2</sup> per dag op. Om die 440 liter water per uur te kunnen laten condenseren moet er zo'n 300 kW aan laagwaardige warmte worden afgezet. Het is een uitdaging om deze 30 W/m<sup>2</sup> te kunnen afzetten op deze lage temperatuur, omdat er een groot verwarmingsoppervlak nodig is (ordegrootte 2 meter van een 51 mm buis per m<sup>2</sup> kasoppervlak).

- Voor de berekeningen aan scenario 14 en 15 is de bijdrage van een Brandstofcel gemodelleerd door een constante waterstroom naar het bassin te laten lopen (gemaakt door het als het ware altijd te laten regenen). Op een heleboel dagen zal dat teveel zijn, maar omdat de vraag was hoe groot zo'n brandstofcel moet zijn om aanvullend water te voorkomen is dat voor de berekening geen probleem. Het bassin loopt dan gewoon over. Om het realistisch te houden is de bassingrootte groter gemaakt, 1500 m<sup>3</sup> per ha (zie scenario 2). Bij de onbelichte teelt moet dan 1.7 liter per m<sup>2</sup> per dag worden gemaakt om het bassin nooit leeg te hebben in een droge zomer en voor de belichte teelt was dat 1.8 liter/m<sup>2</sup> per dag. In een extreem droge zomer moet bij de onbelichte teelt 2.7 liter per m<sup>2</sup> per dag worden gemaakt om het bassin nooit leeg te hebben en voor de belichte teelt 2.8 liter/m<sup>2</sup> per dag. Gecombineerd met de bovenstaande berekeningen betekent dit dat een Brandstofcel WKK van ongeveer 850 kWe per ha zou moeten worden neergezet. Bekabeling en waterstof-aanvoer zijn dan natuurlijk een issue, maar meer nog is de 51 W/m<sup>2</sup> die je dan aan laagwaardige warmte kwijt moet zien te raken om de waterdamp te laten condenseren. Waterstof zou dus kunnen helpen, maar als bron van water om ook in een droge zomer zonder additioneel water te kunnen lijkt het geen begaanbare weg. Indien een brandstofcel van 500 kWe wordt gebruikt die 1 liter/m<sup>2</sup> dag water-aanbod heeft neemt het additioneel water af van 2873 m<sup>3</sup>/ha (Scenario 2) naar 906 m<sup>3</sup>/ha, een behoorlijke reductie dus, maar daarvoor moet dan een condensornet ruim 180 dagen 30 W/m<sup>2</sup> kunnen afzetten.

### 3.3 Water efficiëntie per scenario

Per scenario verschillen producties en waterverbruik. De efficiëntie van het waterverbruik wordt uitgedrukt in de water use efficiency (WUE), de hoeveelheid water dat nodig is om 1 kg vruchten (of versgewicht) te produceren. Hiervoor is Tabel 4 samengevat en uitgebreid in Tabel 5. In de Referentie is 13,6 liter water nodig om 1 kg tomaten te produceren. In een belichte teelt gaat de productie fors omhoog en het waterverbruik slechts beperkt. Hierdoor neemt de WUE toe en daalt naar 11,5 L/kg tomaten.

**Tabel 5** Water use efficiency (L water per kg vrucht per m<sup>2</sup>) per scenario.

Scenario's	Naam	Benodigd	Aanvullend	Totale water	Groei	WUE
		hemelwater	water in een	behoefte	tomaat	
		m <sup>3</sup> /ha	droog jaar	m <sup>3</sup> /ha	kg/m <sup>2</sup>	L/kg/m <sup>2</sup>
Referentie	Referentie	3693	3971	8614	63.4	13.6
1	Belichting	5181	4698	11365	99.1	11.5
2	Hemelwaterbassin 1500	4693	2873	8517	63.4	13.4
3	Hemelwaterbassin 3000	6193	1271	8414	63.4	13.3
4	Natriumgrens 12	3693	3971	8614	63.4	13.6
5	Natriumgrens 16	3693	3971	8614	63.4	13.6
6	Beperking instraling (scherm >600 W/m <sup>2</sup> )	3693	3330	7958	62.3	12.8
7	Beperking verdamping (RV 88%)	3648	3573	8195	64.9	12.6
8	Balans ventilatie	3526	3070	7559	64.2	11.8
9	Actieve ontvochtiging	3536	3873	8421	67.5	12.5
10	Gesloten kas	2599	0	3671	71.5	5.1
11	Voldoende gesloten - onbelicht	4000	825	5844	67.9	8.6
12	Voldoende gesloten - belicht	--	--	--	--	--
13	Fossilloos telen - belicht	4764	3573	9848	100.7	9.8
14	Waterstof, onbelicht	6665	0	7615	63.4	12.0
15	Waterstof, belicht	9445	1306	12237	99.1	12.4

- Een groter hemelwaterbassin verhoogt de WUE, er kan meer regenwater worden benut en er is minder aanvullend water nodig (scenario 2 en 3).
- Er is geen effect op de WUE van het verhogen van de natrium grenswaarde aangezien er niet wordt geloosd bij tomaat bij de aangenomen natriumgehalten.
- Maatregelen uit het Nieuwe Telen (scenario's 6 en 7) verhogen de WUE.
- Waterterugwinning uit verdampingswarmte heeft bij een gesloten kas (scenario 10) het meeste effect, bij balansventilatie en actieve ontvochtiging is de WUE maar beperkt.
- Het scenario met fossielloos telen (nr 13) vergroot de WUE aanzienlijk, 9,8 L/kg tomaat.
- De scenario's met gebruik van waterstof (Nrs 14 en 15) verhogen de WUE beperkt.
- Indien de WUE gerelateerd wordt op alleen het moeten betrekken van aanvullend water, dus als regenwater niet meer voldoende is, komt naar voren dat een groter bassin een sterk WUE verbeterend karakter heeft. Ook de andere scenario's verbeteren de WUE sterk.

### 3.4 De economie van de verschillende scenario's

Van de scenario's uit Sectie 3.2 zijn de kosten en opbrengsten berekend. Hiervoor zijn allereerst een aantal aannames gedaan:

- De opbrengst van tomaat is gesteld op € 0,50 per kg. Dat is een schatting van de verkoopprijs minus de kosten voor arbeid, verpakking en verkoop. Voor belichte teelten is € 0,60 per kg gebruikt, omdat de verkoopprijs in de winter hoger is dan in de zomer. Dit zijn grove schattingen en het bedrijfsresultaat is hier zeer gevoelig voor.
- De kosten voor een m<sup>3</sup> aardgas zijn met €0,25/m<sup>3</sup> gelijk gesteld aan de kosten voor dezelfde energiehoeveelheid uit waterstof.
- Kosten elektriciteit zijn €0.07/kWh; CO<sub>2</sub> €0.08/kg.
- De kosten voor een brandstofcel zijn onbekend en daarom gelijkgesteld aan de kosten van een WKK.
- Kosten van opslag van water zijn recent nagetrokken en apart opgenomen volgens de gehanteerde bassingroottes. Er is uitgegaan van een bedrijf van 10 hectare. Grondprijs is hierin meegenomen. Gederfde inkomsten door gebruik van grond voor opslag van water in plaats van voor teelt van gewas is niet meegenomen.
- De kostprijs van aanvullend water is gesteld op € 1,- per m<sup>3</sup>.
- De stijging van de energieprijzen in 2022 is meegenomen door een ruime verdubbeling ten opzichte van de gasprijs in het referentiescenario (€0.60/m<sup>3</sup>). De elektriciteitsprijs is ongeveer een kwart van de gasprijs (0.15 €/kWh).

**Tabel 6** Economische aspecten scenario's, vergeleken met de referentie op jaarbasis.

Scenario's	Naam	Bassin grootte	Aanvullend water in een droog jaar	Warmte	Elektriciteit	CO <sub>2</sub>	Groei toemaat	Belichting	Bassin	Lucht behandeling	Saldo t.o.v. referentie gasprijs 2021	Saldo t.o.v. referentie gasprijs 2022
		m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha gas	kWh/ha	kg/ha	kg/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup> jaar	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>	€/m <sup>2</sup>
Referentie	Referentie	500	3971	31	0	32.7	63.4		0.057		0	0
1	Belichting	500	4698	26	340	43.9	99.1	6.7	0.057		-2.34	-27.63
2	Hemel-waterbassin 1500	1500	2873	31	0	32.7	63.4		0.128		0.04	0.04
3	Hemel-waterbassin 3000	3000	1271	31	0	32.7	63.4		0.220		0.11	0.11
4	Natriumgrens 12	500	3971	31	0	32.7	63.4		0.057		0.00	0
5	Natriumgrens 16	500	3971	31	0	32.7	63.4		0.057		0.00	0
6	Beperking instraling (scherm >600 W/m <sup>2</sup> )	500	3330	31	0	32.6	62.3		0.057		-0.44	-0.43
7	Beperking verdamping (RV 88%)	500	3573	27	0	30.9	64.9		0.057		2.02	3.49
8	Balans ventilatie	500	3070	26	7	32.2	64.2		0.057	1.2	0.10	1.24
9	Actieve ontvochtiging	500	3873	15	47	29.8	67.5		0.057	2.55	0.44	2.25
10	Gesloten kas	1000	0	0	224	17.6	71.5		0.095	10.05	-12.36	-19.41
11	Voldoende gesloten - onbelicht	1000	825	0	190	27.6	67.9		0.095	10.05	-12.62	-16.95
13	Fossielloos telen - belicht	500	3573	0	470	39.2	100.7	6.7	0.057	2.25	-5.83	-32.58
14	Waterstof, onbelicht	1500	0	31	0	32.7	63.4		0.128		0.33	0.33
15	Waterstof, belicht	1500	1306	26	340	43.9	99.1	6.7	0.128		-1.95	-27.24



Resultaten (Tabel 6):

- Het saldo voor de Referentie bedraagt €20,50/m<sup>2</sup> per jaar. Bij verhoogde energieprijzen zoals in 2022 wordt het saldo €9,57/m<sup>2</sup> per jaar.
- Scenario 7, met de hogere RV, komt als beste uit de bus. Dat wordt voor een klein deel veroorzaakt door het bespaarde water, maar vooral door de lagere warmtebehoefte zonder daarvoor te investeren. Een eventueel groter risico voor schimmelziekten door verhoogde RV is hierin niet meegenomen.
- De grondprijs benodigd voor een groter bassin, geen 500 m<sup>3</sup>/ha maar 1000, 1500 of 3000 m<sup>3</sup>/ha) was in eerste instantie niet meegerekend, maar in een aanvullende berekening is het effect van een grondprijs van €50/m<sup>2</sup> (normale prijs in Westland/Oostland, maar die veel lager is in b.v. Wieringermeer) wel meegenomen. Rente is 2%, wat resulteert in een prijs €1,-/m<sup>2</sup> per jaar. Dit is rendabel als de kostprijs van het aanvullende water hoger is dan 0,60 (3000 m<sup>3</sup>/ha) tot 0,66 €/m<sup>3</sup> (1500 m<sup>3</sup>/ha) terwijl zonder de grondprijs 0.44 €/m<sup>3</sup> de break even prijs was. Dus boven deze kostprijs van water is uitbreiding naar een groter bassin rendabel. Hierbij is derving van inkomsten door minder beschikbaar oppervlak voor de teelt niet meegenomen.
- De scenario's met luchtbehandeling (balansventilatie, actieve ontvochtiging, gesloten kas) hebben een hoge kostprijs. Dat valt niet terug te verdienen door besparingen op (aanvullend) water. Deze investeringen zal men in eerste instantie moeten doen om energie of CO<sub>2</sub> redenen.
- Met waterstof (scenario's 14 en 15) kan wel veel water worden geproduceerd, maar is vooralsnog erg duur. In acht moet worden genomen dat voor de brandstofcel een zelfde prijs is genomen als voor de WKK. Ook hier zal de investering in eerste instantie gedaan moeten worden vanwege het energie-aspect.
- Met het verhogen van de gasprijs naar niveaus zoals in 2022 worden de verschillen extremer. Het effect van de kostprijs van water is zeer gering.

### 3.5 Metingen terugwinnen verdampingswater

In een aantal afdelingen bij Wageningen University & Research zijn metingen uitgevoerd naar de samenstelling van het teruggewonnen verdampingswater van het gewas. Hiervoor is eenmalig gemeten in de Demokas 2030 (afdelingen aardbei en gerbera; ontvochtigen met een warmtepomp), de 2SaveEnergy kas (ontvochtigen met buitenluchtaanzuiging) en de Winterlichtkas (ontvochtigen met buitenluchtaanzuiging en warmtepomp). Met name deze laatste twee vormen van ontvochtigen hebben gezorgd voor een effect op de samenstelling van het opgevangen condenswater:

- 8 – 14 µmol/L zink
- Tot 2.4 µmol/L koper
- 1.5 – 2.5 µmol/L aluminium

Verhoogde concentraties van deze elementen kunnen schadelijk zijn voor het gewas. Voor koper en zink kun je hiermee rekening houden in het aanmaken van de voedingsoplossing, voor aluminium kan dit niet.

In alle vormen van luchtbehandeling worden relevante aantallen en concentraties gewasbeschermingsmiddelen teruggevonden (zie Tabel 7). Ook pathogenen (met name pythium en botrytis) worden in dit water teruggevonden, maar als het water via de drainput in het teeltsysteem wordt ingebracht, wordt het water via de ontsmetter geschikt gemaakt voor gebruik.

**Tabel 7** Aantal gewasbeschermingsmiddelen die in een bepaalde concentratie wordt teruggevonden in het teruggewonnen verdampingswater bij actieve ontvochtiging.

	Demokas 2030 aardbei	2SaveEnergy	Demokas 2030 gerbera
Totaal aantal	21	20	18
aantal >0.1 µg/L	12	12	13
aantal >1 µg/L	8	1	6
aantal >10 µg/L	2	0	4

---

## 4 Discussie

Op iedere locatie zijn de mogelijkheden anders. Terugdringen van de watervraag is een belangrijkste eerste stap als er een watertekort ontstaat uit reguliere bronnen. Het terugwinnen van verdampingswater kan een deel van de oplossing zijn om het watertekort in de zomer op te lossen. In veel gevallen echter zullen de investeringen samen moeten gaan met een besparing op gebruik van CO<sub>2</sub> of energie, bijvoorbeeld door het meer gesloten telen. Tegelijkertijd biedt het terugwinnen van verdampingswater een kans om aan te sluiten op de circulaire economie, door het leveren van laagwaardige warmte aan andere functies (zwembad, verwarming van huizen, etc.). Uiteraard is ook dit sterk locatieafhankelijk, mogelijk biedt de warmterotonde die gepland is in Zuid-Holland hiervoor ook kansen. Ook voor het gebruik van waterstof als energiedrager en leverancier van gietwater is de afzet van warmte van belang en biedt een warmterotonde wellicht mogelijkheden in tijden dat er wel water nodig is, maar geen warmte.

Het kostenaspect is een belangrijke factor voor het nemen van besluiten over water, zeker als het energieverbruik significant toeneemt voor het produceren van water. Tegelijkertijd geldt: als er geen water is, is er ook geen teelt. Dit wordt relevant als er inderdaad besloten wordt om het terugbrengen van brijn in de ondergrond ook onder maatwerk niet meer toe te staan. Daarom is het belangrijk om het wateraspect altijd mee te nemen als over investeringen in energiebesparende maatregelen wordt nagedacht. De in dit rapport uitgevoerde berekeningen en redematies kunnen de telers ondersteunen in het maken van keuzes op dit gebied.

De noodzaak om efficiënt om te gaan met water geldt ook voor de Nederlandse tuinbouw. Hier wordt voor 50-75% hemelwater gebruikt. De vraag is waar het aanvullende water moet worden gewonnen als oppompen van grondwater (eventueel na behandeling met omgekeerde osmose) en terugpompen van brijn niet meer is toegestaan, en toch een nulemissie van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen moet worden bereikt. Ook kan de vraag gesteld worden of er teeltconcepten te bedenken zijn waarbij geen aanvullend water meer nodig is. Via modelberekeningen zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd en nieuwe scenario's opgesteld om te bepalen of het aandeel aanvullend water kan worden geminimaliseerd.

Allereerst is een referentiebedrijf voor de teelt van tomaat beschreven. De uitgangspunten zijn arbitrair maar komen overeen met wat gebruikelijk is in Nederland, individuele verschillen zullen zeker optreden. Gekozen is voor een klein opvangbassin voor regenwater (500 m<sup>3</sup>/ha) omdat dit veel voorkomt in het Westland en Oostland waar de grondprijzen hoog zijn. Er is gekozen is voor een droog weerjaar, 2019, in Luchthaven Rotterdam. Hier is dit een jaar met vooral lange droge perioden. Er zijn absoluut gezien drogere jaren, maar als de regen regelmatig verdeeld over het jaar valt zijn de extremen en dus de nadelen voor de tuinder kleiner. Er is gekozen voor worst case situaties met het oog op de aannames van de KNMI over warmer weer met extremere periodes van droogte en regen. De hoeveelheid regen neemt in de toekomst niet af. Ter vergelijking zijn berekeningen uitgevoerd in een extreem droog jaar (720 mm/jr, 2018) en een gemiddeld (921 mm/jr, 2011) en nat jaar (995 mm/jr, 2012).

In de gevoeligheidsanalyses, de teler heeft hier zelf geen invloed op, is onderzocht wat de invloed is van zouter gietwater en de weerjaren op de productie en de hoeveelheid lozing. Pas vanaf 1,5 mmol/L natrium in het gietwater is lozing nodig, bij gelijkblijvende productie. De hoeveelheid aanvullend water vermindert niet. Dit vermindert pas als meer regen valt in een gemiddeld of nat weerjaar. De regen valt dan regelmatig verdeeld over de 12 maanden waardoor ook de regenwaterbenutting stijgt. Verhoging van de natrium grenswaarde heeft geen effect als er niet wordt geloosd.

---

Uit de berekeningen blijkt dat met een bassin van 500 m<sup>3</sup>/ha hooguit 54% van het regenwater in droge jaren wordt benut, oplopend tot 61% in een nat jaar. Dat betekent dat er veel overloop naar het oppervlaktewater is. Dit betekent ook dat de wettelijke bepaling om condenswater gescheiden op te vangen en als eerste gietwaterbron te gebruiken niet voor niets bestaat. In condenswater zitten gewasbeschermingsmiddelen die niet op het oppervlaktewater geloosd mogen worden. Bij een groter hemelwaterbassin zal er minder overloop zijn en is het ook toegestaan om condenswater in het hemelwaterbassin op te vangen. In de situatie dat het hemelwaterbassin niet voldoende vergroot kan worden, kan gescheiden opvang van condenswater daarom emissie van gewasbeschermingsmiddelen via dit spoor verminderen.

In de scenarioberekeningen, de teler kan hier zelf kiezen welk scenario hij toepast, is onderzocht wat de effecten zijn van een groter opvangbassin, hogere natriumgrenswaarden, toepassing van het Nieuwe Telen, terugwinning van het verdampingswater en gebruik van waterstof als energiebron in plaats van gas. Een betere hemelwaterbenutting komt door enerzijds meer regen maar anderzijds door meer opslagcapaciteit. Bij een bassin van 3000 m<sup>3</sup>/ha is nog maar 14% aanvullend water nodig in vergelijking met de 42% in de Referentiesituatie. Hogere natriumgrenswaarden zijn alleen effectief als er vanwege natrium geloosd moet worden en er dus al "slecht" gietwater wordt gebruikt. Bij een grenswaarde van 8 mmol/L is geen lozing nodig als het gietwater onder de 1,5 mmol/L natrium blijft.

De tendens om een belichte teelt tomaat, met planten in september en doortelen en oogsten in de winter, toe te passen leidt tot een hoger watergebruik en een hogere productie. Het gebruik van aanvullend water neemt toe maar relatief minder omdat het kleine hemelwaterbassin beter wordt benut (meer verbruik in het regenrijke winterhalfjaar). Het Nieuwe Telen, meer schermgebruik en telen bij een hogere RV, leidt niet tot minder aanvullend waterverbruik. Er is wel invloed op de productie door minder licht (schermen) of extra CO<sub>2</sub> (beperken verdamping betekent ramen langer dicht).

Het terugwinnen van verdampingswater via balansventilatie of actieve ontvochtiging leidt nog niet tot een sterk gereduceerde hoeveelheid aanvullend water. Pas bij een volledig gesloten kas wordt het teruggewonnen water is geen aanvullend water meer nodig, bij een voldoende groot hemelwaterbassin (op zijn minst 1000 m<sup>3</sup>/ha), ondanks het veel hogere waterverbruik en een hogere productie. In een gesloten kas die is afgestemd op het afwezig zijn van aanvullend water (scenario 11) is het zoeken naar het juiste evenwicht. In tegenstelling tot de gesloten kas moeten er wel luchtramen zijn die 's winters geopend kunnen worden, omdat de ontvochtiging dan niet werkt en er al voldoende hemelwater is. In de zomer werkt dit scenario als de gesloten kas, dus is er veel elektriciteit nodig om te koelen en is er geen gas nodig. Gebruik van een ontvochtigingsunit om warmte te hebben voor een warmtepomp zodat fossielvrij geteeld kan worden levert veel water op dat in een aquifer moet worden opgeslagen. Aanvullend water wordt met 25% gereduceerd, maar er is wel meer water nodig voor de extra productie onder belichting. Een vermindering van het gebruik van aanvullend water kan verkregen worden door het condenswater en het teruggewonnen verdampingswater in aparte silo's op te vangen en als eerste bron te gebruiken. Eigenlijk is dit wettelijk al verplicht, maar als het risico op overlopen van het kleine hemelwaterbassin groter wordt door extremer weer, moet dit zeker worden toegepast (risico op emissie gewasbeschermingsmiddelen). Op deze manier wordt ook de wateropslag vergroot en worden effecten verkregen zoals bij scenario's 2 en 3 zijn aangegeven.

De verbranding van waterstof levert veel water op, een aantrekkelijk uitgangspunt. Waterstof levert 0,27 L water per MJ energie-input, aardgas slechts 0,04 L water. Maar na verbranding is er slechts waterdamp, die nog moet condenseren op een koud oppervlak. Hiervoor is 2 strekkende meter aan 51 mm buizen per m<sup>2</sup> nodig. Dat is nog wel een uitdaging waar in dit project niet aan is gewerkt. Netto zou ca. 1 L water per m<sup>2</sup> oppervlak per dag geproduceerd kunnen worden met een waterstof installatie die vergelijkbaar is met de huidige WKK machines. Als het aanvullend water op 0 wordt gezet moet er meer water worden geproduceerd, ca. 1,7 L/m<sup>2</sup>. Hiervoor is dan een grotere brandstofcel nodig (850 MWe i.t.t. de huidige capaciteit in WKK van 500 MWe). Hierdoor blijft er weer meer laagwaardige warmte over die afgezet moet kunnen worden (180 d, 30 W/m<sup>2</sup>), een groot afstemmingsprobleem. Daarnaast moet de waterstof nog worden gefabriceerd en getransporteerd. Hier is in dit project nog geen rekening mee gehouden. Zowel een semi-gesloten kas met actieve ontvochtiging als de gesloten kas met waterstof als energiebron kunnen het gebruik van aanvullend water reduceren, soms ook terugbrengen tot nul. Daartegenover staat dat dit soort apparatuur neergezet wordt en geoptimaliseerd vanuit energie oogpunt. Waterterugwinning is eigenlijk een kleine bijzaak, dat zal eerst moeten veranderen.

---

Is eerst technisch onderzocht wat de effecten zijn, vervolgens is onderzocht wat de economische effecten zijn. Belangrijk hierbij is de prijs voor een kg tomaten. Bij gebrek aan betrouwbare bronnen is gemiddeld €0,50 per kg aangehouden voor de referentie en €0,60 per kg voor de productie in de belichte teelt in de winter. Deze verschillen lijken te klein om belichting economisch rendabel te maken, een groter verschil zal door de individuele tuinder behaald moeten worden. Verder is de luchtbehandeling een investering die zich door deze prijszetting niet terugbetaalt. Een groter bassin vergt ook meer grond waarop niet geteeld kan worden, een kostprijs van €0,44/m<sup>3</sup> (zonder de extra grond in de prijs mee te nemen) of €0,92/m<sup>3</sup> (incl. grondprijs) water is de break-even prijs. Gedurende de rapportage van dit project begonnen gas en elektriciteitsprijzen sterk te stijgen, terwijl later ook de meststofprijzen gingen stijgen. Dit heeft een groot effect voor de scenario's ten opzichte van de referentie. Fluctuaties in de kostprijs voor water hebben veel minder effect: een halvering tot €1/m<sup>3</sup> leidt tot een verbetering van het saldo van een paar cent per m<sup>2</sup>.

De gevoeligheidsanalyses en scenarioberekeningen overziend moet gezegd worden dat er enkele scenario's zijn om snel en relatief goedkoop te besparen op aanvullend water: ruimere opslag van regenwater door een groter bassin of opslag in een aquifer, telen bij een hogere RV en zorgen dat het gietwater het gehele jaar een natrium concentratie heeft die lager is dan 1,5 mmol/L. Het aanvullend waterverbruik terugbrengen naar nul kan alleen met hoge investeringen in de richting van een gesloten kas of gebruik van waterstof als brandstof. Het terugwinnen van verdampingswater bij actief ontvochtigen of balansventilatie leidt maar tot een beperkte afname van het gebruik van aanvullend water. De investering moet gedaan worden om klimaat en energieredenen en dat geeft dan ook enig voordeel op watergebied.

Waterstof is nog steeds te duur en te onzeker. Veel apparatuur heeft nog geen vaste aankoopprijs, er zijn dus veel aannames. Daarnaast is echt een uitdaging om de waterdamp te laten condenseren tot water. Hiervoor bestaat nog geen goede technische oplossing en dus moet hier eerst onderzoek naar worden gedaan. Het geschetste beeld van 2 strekkende meter aan 51 mm buizen per m<sup>2</sup> om voldoende groot condensatieoppervlak te krijgen lijkt vooralsnog erg veel en moeilijk praktisch te maken.

---

## 5 Conclusies

Gevoeligheidsanalyses op niet beïnvloedbare aspecten laten zien dat nullozing goed haalbaar is bij tomaat als het natriumgehalte lager is dan 1,5 mmol/L (exclusief teeltwisseling). Voor andere gewassen is dit minder makkelijk haalbaar, vanwege hogere gevoeligheid voor natrium. Verhoging van de natrium grenswaarde van 8 naar 12 of 16 mmol/L in tomaat heeft dan geen toegevoegde waarde, want er wordt al niet geloosd. De neerslagbenutting is in droge jaren rond de 50% en kan oplopen tot 61%, er is dus in natte periodes in het jaar ook veel overloop naar het oppervlaktewater. Hemelwater voorziet dan voor 43 – 77% in de totale waterbehoefte. Een bassin van 1500 of 3000 m<sup>3</sup>/ha kan voor 53 – 70% in de totale waterbehoefte voorzien in een droog jaar. Een bassin van 500 m<sup>3</sup>/ha is eigenlijk te klein in jaren met lange droge perioden. Vergroten van het hemelwaterbassin kan overloop voorkomen en daarmee emissie van gewasbeschermingsmiddelen uit het condenswater naar het oppervlaktewater. Ook vergroot het de efficiëntie in het gebruik van hemelwater. Indien het aanleggen van een groter hemelwaterbassin niet mogelijk is, kan het gescheiden opslaan van condenswater en regenwater milieuvoordelen opleveren.

Toepassen van een hogere RV levert snel resultaat: hogere productie en iets lager waterverbruik. Schermen gaat ten koste van de productie met nauwelijks een verlaging van het waterverbruik. De gesloten kas leidt tot een volledige wegvallen van de vraag naar additioneel water en ook een productieverhoging. Wel is een groter hemelwaterbassin een aanvullende eis. Toepassen van balansventilatie en actieve ontvochtiging in een semi-gesloten kas leiden eveneens tot een hogere productie en verminderd waterverbruik. Het terugbrengen tot nul van aanvullend water is in deze scenario's niet gelukt, omdat er in de zomer geen koelers aanstaan en er wel luchtramen nodig zijn en er geen regen valt. De afstemming is in onbalans.

Investering in gebruik van waterstof is nu nog niet interessant, water is een mooi bijproduct maar er is een grote koelcapaciteit nodig om van de waterdamp water te maken (2 strekkende meter aan extra 51 mm buizen per m<sup>2</sup>). Een brandstofcel van 850 kWe kan 1,7 L/m<sup>2</sup>/dag aan water produceren, hiervoor is een groot bassin nodig (>1500 m<sup>3</sup>/ha).

In de referentiesituatie is er 13,6 L/kg/m<sup>2</sup> aan water nodig om 1 kg tomaten te produceren. Alle scenario's leiden tot een betere WUE. Het meest interessant om hierbij het gebruik van aanvullend water te minimaliseren zijn het toepassen van een groter bassin, een gesloten kas of waterstof. De eerste is financieel ook aantrekkelijk, de laatste twee erg onzeker en/of erg duur.

Economisch gezien zijn de toepassingen in de scenario's afhankelijk van marktprijzen voor het product en investeringen in apparatuur en natuurlijk de gas en elektriciteitsprijzen. Ten opzichte van het referentiescenario lijkt het toepassen van een groter hemelwaterbassin de meest aantrekkelijke optie, gevolgd door het beperken van de verdamping door een hogere RV aan te houden en actieve ontvochtiging toe te passen, als dat energie-technisch interessant is.

---

# Literatuur

- Campen, J.B., K. Al Assaf, A. Al Harbi, M. Y. Sharaf, F. de Zwart, W. Voogt, K. Scheffers, I. Tsafaras, O.M. Babiker, M. Qaryouti, 2020. Evaluation of water saving technologies at Estidamah research center in Saudi Arabia. *Acta Hort.* 1296, 73-78. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1296.10.
- Compendium voor de leefomgeving, 2018a, via <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0508-jaarlijkse-hoeveelheid-neerslag-in-nederland>.
- Compendium voor de leefomgeving, 2018b, via <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0590-neerslag-extremen>.
- De Gelder, 2016. Verdamping, balans tussen noodzaak en overmaat. WUR Glastuinbouw rapport 1383, 72p., via <http://edepot.wur.nl/370951>.
- De Zwart, H.F., B. Speetjens, 2013. De Next Generation Semigesloten Kas. WUR Glastuinbouw Rapport GTB-1292, 52p., via <https://edepot.wur.nl/297286>.
- Elings, A., Righini, I., de Zwart, H. F., Hemming, S., & Petropoulou, A. (2020). Remote control of greenhouse cucumber production with artificial intelligence - results from the first international autonomous challenge. *Acta Horticulturae*, 1294, 69-76. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1294.9>.
- Glasiuinbouw Waterproof, 2017, via <https://www.glastuinbouwwaterproof.nl/nieuws/praktijktesten-met-capacitieve-electro-dialyse/>.
- Glasiuinbouwwaterproof, 2018, via <https://www.glastuinbouwwaterproof.nl/nieuws/ondergrondse-waterberging-voor-hergebruik-restwater-suiker-unie/>.
- Infomil, 2021. Lozen van brijn. Via <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/activiteiten/lozen-afvalwater-1/lozen-brijn/#h2399fc40-19ee-df71-a8e9-4dd12f37ad43>.
- Gonzalez, J., W. Voogt, 2020. Natrium verwijdering uit het wortelmilieu via een 'split-root system'. WUR Glasiuinbouw Rapport WPR-826, 40p. DOI: 10.18174/541698.
- Kaarsemaker, R., Sanders, J. (2013). Demonstratieproject DBW; Monitoring van water, vrucht en gewaskwaliteit. Via [https://www.delftbluewater.nl/images/PDF/s/2013-12\\_Eindrapport-demonstratieproject-DBW.PDF](https://www.delftbluewater.nl/images/PDF/s/2013-12_Eindrapport-demonstratieproject-DBW.PDF).
- KNMI, 2018, via <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/historisch-neerslagtekort>.
- KWR, 2017, <https://www.kwrwater.nl/actueel/coastar-zout-op-afstand-zoet-op-voorraad/>.
- Raaphorst, 2005. Optimale teelt in de gesloten kas. WUR Glasiuinbouw rapport, 58p., via <http://edepot.wur.nl/28141>.
- Stanghellini, 2009. Vochtregulatie en verdamping. WUR Glasiuinbouw rapport 274, 72p., via <http://edepot.wur.nl/9923>.
- TU Delft, 2018, via <http://www.tud-vakantiecursus.nl/wp-content/uploads/2014/11/presentatie-oldenbroek.pdf>
- Van der Salm, C., Voogt, W., Beerling, E., van Ruijven, J., & van Os, E. (2020). Minimising emissions to water bodies from NW European greenhouses; with focus on Dutch vegetable cultivation. *Agricultural Water Management*, 242, [106398]. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106398>.
- Van Os, E.A., van Ruijven, J., Janse, J., Beerling, E., van der Staaij, M., & Kaarsemaker, R., 2016. *Vergelijking tussen gangbaar en emissieloos teeltsysteem: waterefficiënte Emissieloze Kas*. (Rapport GTB; No. 1406). Wageningen UR Glasiuinbouw. <https://edepot.wur.nl/394562>.
- Van Os, E.A., van Ruijven, J., Janse, J., Beerling, E., van der Staaij, M., Leyh, R., Blok, C., & Kaarsemaker, R., 2017. *Vergelijking tussen emissieloze teelt op steenwol en kokos: Waterefficiënte Emissieloze Kas*. (Rapport GTB; No. 1416). Wageningen UR Greenhouse Horticulture. <https://doi.org/10.18174/424122>.
- Voogt, W., & Leyh, R., 2021. *Effecten van Na ophoping in de drain bij tomaat (proef 2018): Vaststellen van de schadedrempel voor Na in het wortelmilieu bij tomaat met recirculatie*. (Rapport / Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glasiuinbouw; No. WPR-825). Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glasiuinbouw. <https://doi.org/10.18174/548281>.
- Voogt, W., Heuvelink, E., & Kierkels, T. (2022). Lage concentratie natrium geen punt, overmaat leidt tot kaliumproblemen: Gehaltes in gietwater kunnen best hoger dan gangbare norm. *Onder Glas*, 19(1), 36-37. <https://edepot.wur.nl/564631>.
- Voogt, W., R. Leyh, 2020. Effecten van Na ophoping in de drain bij paprika. Rapport WPR-824. <https://edepot.wur.nl/533467>.



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



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

Rapport WPR-1158

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, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten 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.