

**Fundamental  
Systems**

# **Geïnfuseerde nanoclusteroplossing - Waterstof en zuurstof in irrigatiewater**

**Trostomaat Bronsino**

**Rapport 2024**

Dit onderzoek is uitgevoerd door Verify in opdracht van Fundamental Systems

Proefnummer 231243 (opkweekproces)

Proefnummer 231272 (in kas tot oogst)

# Inhoudsopgave

<b>1.</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Samenvatting.....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>Methode .....</b>	<b>6</b>
3.1.	<i>Plantenmateriaal en opkweek.....</i>	6
3.2.	<i>Proefopzet en kasconfiguratie .....</i>	7
3.3.	<i>Waterinfusieprocedure.....</i>	7
3.4.	<i>Behandelings- en teeltprocedures .....</i>	8
3.5.	<i>Dataverzameling en analyse .....</i>	9
<b>4.</b>	<b>Analyses en resultaten.....</b>	<b>11</b>
4.1.	<i>Opkweekproces .....</i>	11
4.2.	<i>Nutriëntenanalyse .....</i>	13
4.3.	<i>Redox- en zuurstofmetingen .....</i>	15
4.4.	<i>Vegetatieve groei.....</i>	15
4.5.	<i>Generatieve ontwikkeling.....</i>	16
4.6.	<i>Oogstresultaten .....</i>	17
4.7.	<i>Microbiële analyse.....</i>	20
4.8.	<i>Plantritme analyse.....</i>	20
<b>5.</b>	<b>Conclusie .....</b>	<b>22</b>
5.1.	<i>Opkweekproces .....</i>	22
5.2.	<i>Nutriëntenanalyse .....</i>	22
5.3.	<i>Redox- en zuurstofmetingen .....</i>	23
5.4.	<i>Vegetatieve groei.....</i>	23
5.5.	<i>Generatieve ontwikkeling.....</i>	24
5.6.	<i>Oogstresultaten .....</i>	24
5.7.	<i>Microbiële analyse.....</i>	24
5.8.	<i>Plantritme analyse.....</i>	25
5.9.	<i>Eindconclusie .....</i>	25
<b>6.</b>	<b>Discussie.....</b>	<b>26</b>



# 1. Inleiding

In de moderne glastuinbouw wordt voortdurend gezocht naar innovatieve technologieën die kunnen bijdragen aan hogere opbrengsten en gewaskwaliteit. Een van de meest recente ontwikkelingen op dit gebied is de infusie van water met zowel moleculair opgelost waterstof en zuurstof als nanoclusters van waterstof en zuurstof. Deze technologie is ontwikkeld door Fundamental Systems. Het doel van deze technologie is om de fysiologische processen van planten te optimaliseren door het water dat voor irrigatie wordt gebruikt te verrijken met nanoclusters.

Nanoclusters zijn extreem kleine deeltjes, slechts een paar miljardste van een meter groot. De waterstof en zuurstof nanoclusters in het water zijn gassen die zijn opgelost en opgesplitst in deze minuscule deeltjes, elk ongeveer 80 nanometer groot. Ter vergelijking: als je de dikte van een mensenhaar zou opdelen in 1.000 stukjes, zou elk stukje de grootte van een nanocluster hebben. Het kleine formaat zorgt ervoor dat de nanoclusters - in verhouding tot hun volume - een groot oppervlak hebben. Dit vergemakkelijkt hun interactie met de omgeving en opname door plantenwortels. In een nanocluster zitten ongeveer 1.000.000 moleculen, hiervan is  $1/3$  zuurstof en  $2/3$  waterstof.

De eigenschappen van nanoclusters zijn veelbelovend in de glastuinbouw. Hun verhoogde stabiliteit zorgt ervoor dat ze langer in de oplossing blijven zonder samen te klonteren of te verdwijnen. Bovendien kunnen nanoclusters dankzij hun grote oppervlakte-activiteit, efficiënt reageren met andere stoffen en goed opgenomen worden door plantenwortels.

Het proces om nanoclusters te vormen is geavanceerd. Bij de technologie die in dit onderzoek is gebruikt, worden waterstof- en zuurstofgas geforceerd opgelost in water. In plaats van grote gasbellen te vormen, worden deze gassen moleculair opgesplitst. Daarnaast worden nanoclusters gevormd dankzij het speciale infusieproces van Fundamental Systems. Deze nanoclusters worden net als het opgeloste waterstof en zuurstof gelijkmatig door het water verspreid, wat resulteert in een "geïnfuseerde nanoclusteroplossing van waterstof en zuurstof". Deze oplossing heeft unieke voordelen voor biologische systemen, zoals verbeterde opname van water en nutriënten door plantenwortels en optimalisatie van plantprocessen, wat kan leiden tot een betere weerbaarheid, minder stress, hogere opbrengsten en betere gewaskwaliteit.

Dit onderzoek is uitgevoerd door Vertify in samenwerking met Fundamental Systems en ondersteund door STOWA en Vivent Biosignals. Het is gericht op het evalueren van de effecten van deze nanoclusterinfusietechnologie op de teelt van tomaten (*Solanum Lycopersicum*), specifiek van het ras Bronsino. Dit ras staat bekend om zijn consistente



vruchtgrootte en hoge Brix-waarde, wat het ideaal maakt voor het testen van nieuwe technologieën gericht op opbrengstverbetering.

De primaire doelstelling van deze studie was om te bepalen of het infuseren van irrigatiewater met nanoclusters van waterstof en zuurstof leidt tot een hogere opbrengst en verbeterde vrucht kwaliteit. Daarnaast werd onderzocht of deze technologie invloed heeft op de nutriëntensamenstelling van het water, de fotosynthesecapaciteit van de planten en het microbiom in de wortelomgeving. De fysiologische respons van de planten werd ook gemonitord met behulp van geavanceerde sensortechnologie van Vivent Biosignals, om inzicht te krijgen in de effecten van de infusie op het plantritme en de algemene gezondheid van de planten.

De studie werd uitgevoerd in een afgesloten kasafdeling, waar planten werden opgekweekt volgens standaard kweekpraktijken. Hierbij werden de planten verdeeld in een controlegroep en een behandelde groep. De controlegroep werd geïrrigeerd met standaard regenwater, terwijl de behandelde groep regenwater kreeg dat was geïnfuseerd met nanoclusters. Gedurende de proefperiode werden verschillende parameters gemeten, waaronder plantlengte, chlorofylgehalte, aantal en gewicht van de vruchten, suikergehalte (Brix-waarde) en de aanwezigheid van pathogenen in het irrigatiewater.

Deze inleiding biedt een overzicht van de context en doelstellingen van het onderzoek. In de volgende hoofdstukken worden de gebruikte methodologie, analyses en resultaten, conclusies en discussie van de bevindingen gepresenteerd. Dit onderzoek draagt bij aan het inzicht in hoe innovatieve waterbehandelingstechnieken kunnen bijdragen aan efficiënte glastuinbouwpraktijken.



## 2. Samenvatting

In deze studie hebben we de effecten van een nanoclusterinfusie van waterstof en zuurstof op de teelt van tomaten (Bronsino) onderzocht. Het doel was om te evalueren of deze innovatieve technologie, ontwikkeld door Fundamental Systems, de groei, opbrengst en kwaliteit van tomaten kan verbeteren. De proef werd uitgevoerd in een afgesloten kasafdeling, waarbij de planten werden verdeeld in een controlegroep en een behandelde groep. Gedurende de proefperiode werden verschillende parameters gemeten waaronder plantlengte, chlorofylgehalte, aantal en gewicht van de vruchten, suikergehalte (Brix-waarde) en de aanwezigheid van pathogenen in het irrigatiewater.

Uit de resultaten bleek dat de nanoclusterinfusie geen invloed had op de kieming van de zaden, aangezien beide groepen een kiempercentage van 92% hadden. De behandelde planten waren na het opkweekproces gemiddeld 4.19% langer dan de controleplanten, wat wijst op een positief effect van de infusie op de vegetatieve groei tijdens de opkweekfase. Ondanks een kleinere wortelontwikkeling in de behandelde groep (10% beworteling) vergeleken met de controlegroep (17% beworteling), groeiden de behandelde planten uit tot grotere afleverbare planten. Dit suggereert een verbeterde water- en nutriëntenopname-efficiëntie, wat cruciaal is tijdens de opkweek van afleverbare planten en de teelt naar productie.

De infusiemethode had minimaal tot geen impact op de meeste nutriëntenwaarden, pH en EC. In de watergift waren de meeste waarden ook vergelijkbaar tussen de controlegroep en behandelde groep, met uitzondering van een lichte verhoging in pH en een hogere concentratie van enkele sporenelementen zoals koper en zink in de behandelde groep. In het drainwater werden enkele verschillen waargenomen. In de behandelde groep werden verhoogde concentraties gevonden van o.a. kalium en stikstof, wat kan wijzen op een verbeterde opname-efficiëntie.

Hoewel de streefwaarden voor het redox- en zuurstofniveau niet altijd werden gehaald, vertoonden de behandelde planten verbeterde groeiprestaties. De redoxwaarden varieerden tussen -381mV en 79.8mV, en de zuurstofwaarden tussen 100% en 210%. Dit suggereert dat de nanoclusterinfusie gunstige effecten kan hebben op de plantengroei, zelfs met variatie in deze parameters.

De vegetatieve groeimetingen toonden aan dat de behandelde planten tijdens de teeltfase vergelijkbare chlorofylwaarden hadden als de controlegroep, met minimale variaties gedurende de meetperiodes. De Nitrogen Balance Index (NBI) toonde kleine variaties zonder significante verschillen, wat wijst op een stabiele stikstofstatus in beide groepen.



De oogstresultaten van de behandelde groep waren significant hoger. De behandelde groep had gemiddeld 10.15% meer geoogste vruchten en 11.63% meer gewicht aan geoogste vruchten dan de controlegroep. Bovendien had de behandelde groep een hoger suikergehalte, wat wijst op een betere vruchtkwaliteit. Beide groepen begonnen echter op dezelfde datum met de eerste oogst, wat aangeeft dat de nanoclusterinfusie geen significante invloed had op de timing van de vruchtzetting. De verhoogde productieaantallen en gewichten in de behandelde groep tijdens de teeltfase suggereren dat de nanoclusterinfusie bijdroeg aan een efficiëntere nutriëntenopname.

De microbiële analyse toonde aan dat de behandelde groep een meer diverse microbiële samenstelling had in het gietwater, met een verlaagde aanwezigheid van groeibevorderende micro-organismen zoals Trichoderma. Ondanks een verhoogde aanwezigheid van pathogenen in het gietwater, vertoonden de behandelde planten tijdens de teeltfase verbeterde groei en weerstand. Deze pathogenen druk kan te wijten zijn aan de opslag van behandeld water in de kasomgeving, waar warmte en licht de microbiële groei bevorderden. Het gietwater van de controlegroep kwam direct uit de silo, die in donkere afgesloten centrale afdeling stond.

De analyse van het plantritme door Vivent toonde een stabielere diurnaal ritme en lagere stressreactie bij de behandelde planten. Deze bevindingen ondersteunen alle andere bevindingen in dit rapport en wijzen op een positieve invloed van de nanoclusterinfusie op zowel de vegetatieve als generatieve groei van de planten.

De statistische analyses bevestigden de significantie van de waargenomen verschillen tussen de behandelde en controlegroepen voor meerdere variabelen, wat de robuustheid van de resultaten ondersteunt. Dit geeft vertrouwen in de conclusie dat nanoclusterinfusie een waardevolle behandeling kan zijn voor het verbeteren van de productiviteit en kwaliteit van planten.

De resultaten suggereren dat nanoclusterinfusie een veelbelovende technologie is voor het verbeteren van plantengroei en -opbrengst, zonder negatieve effecten. De verbeterde vegetatieve en generatieve groei, verhoogde nutriëntenopname-efficiëntie en betere microbiële samenstelling van het wortelmilieu dragen bij aan de algehele plantgezondheid en productiviteit. Deze studie draagt bij aan het inzicht in hoe innovatieve waterbehandelingstechnieken kunnen bijdragen aan duurzame en efficiënte glastuinbouwpraktijken. Verdere studies zijn nodig om de optimale toepassingen en lange termijneffecten volledig te begrijpen en de impact van water opslagomstandigheden op de microbiële samenstelling van het gietwater te onderzoeken.



## 3. Methode

### 3.1. Plantenmateriaal en opkweek

#### Plantmateriaal

In dit experiment is gebruik gemaakt van de Bronsino, een joined trostomaat met vijf vruchten per tros, met een gemiddeld vruchtgewicht van 130-150 gram en een Brix-waarde van 4.3-4.5. De 200 zaden zijn afkomstig van Enza Zaden (Bronsino F1 Batch: 6187471 Packed 04-2023) en zijn niet vooraf geprimed. De zaden werden gezaaid in steenwolpluggen en opgekweekt onder standaard kasomstandigheden.



Gewas <b>Tomaat</b>	Naam <b>Bronsino F1</b>
Type <b>Tros</b>	Vruchten per tros <b>5, joined</b>
Type plant <b>Krachtig en kort</b>	Tolerantie <b>Si</b>
Vorm <b>Rond</b>	Gewicht <b>130-150 gr</b>
Resistenties HR <b>ToMV:0-2/Ff:A-E/Fol:0,1/For</b>	Resistenties IR <b>TSWV/On</b>

#### Tijdlijn

De experimenten in de opkweek en teelt duurde in totaal 28 weken met onderstaande tijdlijn:

- |   |            |
|---|------------|
| • Validatie nanoclusteroplossing                | 04-04-2023 |
| • Zaaian in pluggen                             | 26-04-2023 |
| • Nutriëntenanalyse infusiemethode              | 26-04-2023 |
| • Kiem meting                                   | 01-05-2023 |
| • Verspenen op blokken                          | 09-05-2023 |
| • Plantdatum in kas                             | 02-06-2023 |
| • Plaatsing Vivent sensoren & koppeling klimaat | 09-06-2023 |
| • Analyse droogstof                             | 10-06-2023 |
| • Analyse druppelaar & drainwater               | 23-07-2023 |
| • Eerste oogst                                  | 31-07-2023 |
| • Analyse micro-organismen                      | 23-08-2023 |
| • Laatste oogst                                 | 10-11-2023 |
| • Onrijpe vruchten oogst                        | 10-11-2023 |

#### Opkweekproces

De planten werden opgekweekt in steenwol, een inert groeimedium dat veel wordt gebruikt in de glastuinbouw vanwege de uitstekende water- en luchtretentiecapaciteiten. De zaden werden gezaaid in steenwolpluggen en na het ontwikkelen van de eerste echte bladeren werden de zaailingen verspeend naar grotere steenwolblokken. Vervolgens werden de zaailingen verder opgekweekt tot afleverbare planten onder gecontroleerde kasomstandigheden, waarbij temperatuur, luchtvochtigheid en belichting continu werden gemonitord en aangepast.

#### Waarnemingen en metingen in opkweek

In de opkweek werd de kieming en aantallen afleverbare planten voor teelt beoordeeld. De lengte van de planten werd gemeten en daarnaast het gehalte van chlorofyl, flavonoiden, anthocyanen en Nitrogen Balance Index (NBI) werd bepaald met behulp van een Dualex®



meter. De afleverbare planten werden beoordeeld op wortelontwikkeling. Zowel in de controlegroep als in de behandelde groep zijn 100 zaden gezaaid waarvan er 92 zijn uitgekomen en opgekweekt. Hiervan zijn er 60 naar de kas gegaan en 32 gebruikt voor droogstoffelijk en wortelonderzoek.

## 3.2. Proefopzet en kasconfiguratie

### Kasindeling

De kasafdeling was ingericht met vier goten van elk 10 meter lengte. De buitenste twee goten werden gebruikt om randeffecten door lichtinval te minimaliseren, terwijl de middelste twee goten werden gebruikt voor de waarnemingen en metingen. Door de buitenste goten niet te gebruiken voor metingen, werd invloed van randlicht geminimaliseerd. Er is enkel gebruik gemaakt van natuurlijk zonlicht zonder extra belichting. Hierdoor heeft het jaargetij invloed gehad op het aantal lichturen dat de planten kregen en is er sprake geweest van zowel lichtere als donkerdere perioden.

### Behandelingsgroepen

De planten in de controlegroep werden geïrrigeerd met standaard regenwater, zonder enige vorm van infusie (onbehandeld).

De planten in de behandelde groep werden geïrrigeerd met regenwater dat geïnfuseerd was met nanoclusteroplossing van waterstof en zuurstof, geproduceerd door de technologie van Fundamental Systems.

## 3.3. Waterinfusieprocedure

### Waterbron en bemesting

Het water dat werd gebruikt, was afkomstig uit het regenwaterbassin van Verify. Deze had een DO van 66% met een ORP van 380mV. Het regenwater werd niet gedesinfecteerd voor gebruik. Met behulp van een bemestingsunit werd het regenwater op het gewenste bemestingsniveau gebracht. Dit water met nutriënten werd voor de controle- als de behandelde groep gebruikt om consistente nutriëtniveaus te garanderen.

### Infusieproces

Het water werd geïnfuseerd met nanoclusteroplossing van 66% waterstof en 34% zuurstof, waarbij gebruik werd gemaakt van de technologie die is ontwikkeld door Fundamental Systems. De infusie vond dagelijks 1 maal plaats op een vast tijdstip, hierbij werd 1m<sup>3</sup> (1000 liter) behandeld. Het behandelde water werd als dagvoorraad opgeslagen in een tank in de kasafdeling.





### Validatie van nanoclusteroplossing

De nanoclusteroplossing werden geproduceerd met behulp van gespecialiseerde apparatuur van Fundamental Systems. De validatie van de aanwezigheid en stabiliteit van de nanoclusteroplossing werd voorafgaand aan het experiment uitgevoerd op locatie, met behulp van de HORIBA SZ-100 apparatuur, die de grootte en dispersie van nanoclusteroplossing in het water meet. Deze validatie toonde aan dat de nanoclusteroplossing in 4 verschillende metingen 81Nm gemiddeld consistent aanwezig en stabiel waren in het water.

## 3.4. Behandelings- en teeltprocedures

### Plantenverzorging

De afleverbare planten werden na de opkweekperiode, in de kasafdeling op steenwolmatten geplant en werden direct op het plantgat gezet. Er werd geen trossnoei toegepast om mogelijke verschillen in vruchtzetting te beoordelen. Overige teelthandelingen waren conform de standaardpraktijk.

### Irrigatietechniek

Het irrigatiesysteem bestond uit druppelaars die het water direct bij de wortels van de planten brachten. De irrigatiefrequentie en -hoeveelheid werden nauwkeurig gecontroleerd en aangepast aan de behoeften van de planten, met dagelijks vers behandeld water. Verschillende parameters waaronder redox en zuurstof werden dagelijks gemeten om de kwaliteit van het water te waarborgen. Het water kwam uit een silo in een donkere afgesloten centrale afdeling waarin de bemesting plaatsvond. Het onbehandelde water werd direct naar de planten getransporteerd via rondpomp. Het behandelde water werd als tussenstap geïnfuseerd en opgeslagen in een dagvoorraadtank in de kasafdeling naast de planten om vervolgens door de dag heen geïrrigeerd te worden via een aparte rondpomp. De dagvoorraad werd niet volledig ververs, maar steeds aangevuld tot 100%. Hierbij werd de dagvoorraadtank blootgesteld aan warmte en licht.

### Waarnemingen en metingen in teelt

Tijdens de proefperiode werd de lengte van de planten vier keer gemeten en werden zowel het chlorofylgehalte als de NBI drie keer gemeten met behulp van een Dualex® meter. Het aantal open bloemen, bloemtrossen en gezette vruchten werd regelmatig geteld tot de eerste oogst. Daarnaast werd vanaf de eerste oogst het aantal en gewicht van de geoogste tomaten geregistreerd, evenals het suikergehalte van de vruchten. Na de laatste oogst werd van de onrijpe vruchten het aantal en gewicht geregistreerd.



## 3.5. Dataverzameling en analyse

### Dagelijkse watermetingen

De redox- en zuurstofniveaus in het water werden dagelijks gemeten met behulp van de ProQuatro Handheld multiparameter meter. De streefwaarden voor zuurstof lagen tussen 150-200% en de redoxstreefwaarden -300 tot -400mV.

### Consistentie in nutriënten, pH en EC voor en na infusie

De nutriëtniveaus zijn gemeten, zowel voorafgaand aan de infusieprocedure en als erna, om een basislijn te vormen en om eventuele effecten van de infusiemethode en nanoclusteroplossing op de nutriëntensamenstelling te kunnen detecteren.

### Consistentie in nutriënten, pH en EC in de watergift

De nutriëtniveaus zijn gemeten na een aantal weken teelt, zowel bij de druppelaar van de plant als in de drain, om een inzicht te vormen en om eventuele effecten van de nanoclusteroplossing op de nutriëntensamenstelling na opslag, distributie door leidingen en verschillen in opname capaciteit van de plant te kunnen detecteren. De gemeten parameters omvatten pH, EC, en concentraties nutriënten. De analyses werden uitgevoerd volgens de geaccrediteerde methoden van Eurofins Agro.

### Microbiële analyse

Tijdens de proef werd de aanwezigheid van zowel schadelijke pathogenen als gunstige, groeibevorderende micro-organismen in het irrigatiewater onderzocht. De aanwezigheid van deze micro-organismen werd gedocumenteerd, maar er werden geen specifieke kwantitatieve tellingen van kolonievormende eenheden (CFU) uitgevoerd. Dit betekent dat de analyse meer kwalitatief van aard was, waarbij alleen werd vastgesteld of deze micro-organismen aanwezig waren, zonder een exacte hoeveelheid te bepalen.

### Plantritme analyse

#### *Gegevensverzameling en analyse*

Om het plantfysiologisch gedrag te monitoren, werden Vivent-sensoren gebruikt. Er zijn 4 sensorkasten gebruikt met elk 8 kanalen. Deze kasten zijn verdeeld over de controlegroep en behandelde groep. Dit betekent dat er per groep 16 planten zijn gemonitord en in totaal 32 planten. Elk kanaal had 2 elektroden: een elektrode werd geplaatst in de stengel vlak boven de basis van de plant en de andere elektrode werd geplaatst op 2cm boven het blok, zoals te zien is in figuur 1. De sensoren waren geïntegreerd met de klimaatcomputer voor continue gegevensverzameling, die realtime gegevens verzamelde van 9 juni tot 28 september.

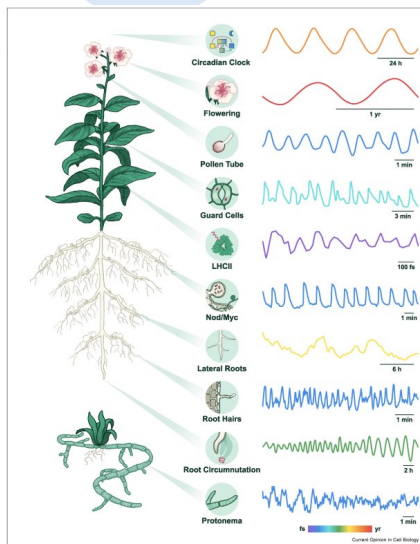
#### *Elektrofysiologische metingen*

De Vivent biosignaal sensor is een hoog-ingangsimpedantie elektrometer die signalen verwerft, digitaliseert, verwerkt, opslaat en overbrengt (Kurenda et al. 2024). Elke sensorkast



registreerde het elektrische potentiaalverschil. De elektrodeopstelling bestond uit actieve en referentie-elektroden.

*Figuur 2: Verschillende plantritmes (uit Daminelli et al., 2022)*

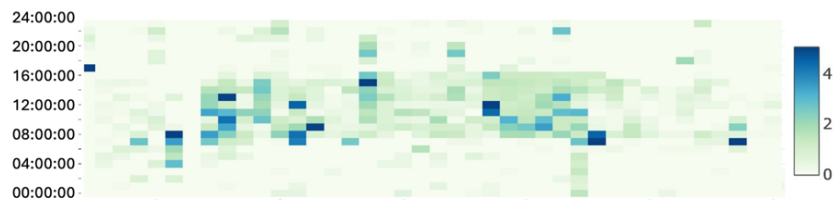


Planten hebben verschillende ritmes die geïdentificeerd kunnen worden met behulp van elektrofysiologische technieken, zie figuur 2. De sensoren maten verschillende aspecten van de plantfysiologie, waaronder:

- Fotosynthese activiteit: dit geeft inzicht in de efficiëntie van de planten om licht om te zetten in chemische energie.
- Sapstroom: dit meet de verplaatsing van water en voedingsstoffen door de plant.
- Temperatuur: dit helpt bij het monitoren van de interne temperatuur van de plant, wat een indicatie kan zijn van stress of optimale groeiomstandigheden.
- Dag/nacht ritme: dit kijkt naar de veranderingen in plantactiviteit tussen de dag- en nachtperiodes.

In figuur 3 is te zien hoe de snelle activiteit is geëvalueerd. Een toename in activiteit is weergegeven als kleurverandering van groen naar blauw.

*Figuur 3: Evaluatie van snelle activiteit.*



## 4. Analyses en resultaten

### 4.1. Opkweekproces

#### Zaaien en kiemen

Kieming is een cruciale eerste stap in de levenscyclus van een plant. Het proces begint wanneer een zaad water absorbeert, zwelt en het zaadomhulsel barst. Hierdoor kan de wortel (radicula) zich naar buiten uitbreiden en de eerste tekenen van groei vertonen. In deze proef zijn de zaden van de Bronsino-tomaat met zorg gezaaid en onder gecontroleerde omstandigheden gekiemd. Een hoge kiemkracht en een uniforme kieming zijn indicatief voor de goede kwaliteit van de zaden en de juiste omgevingsomstandigheden. Beide groepen hadden een kiempercentage van 92% (92 van de 100 zaden).

#### Opkweek

De opkweek van tomatenplanten omvat het zorgvuldig monitoren en beheren van de groeiomstandigheden vanaf de kieming tot het moment dat de zaailingen klaar zijn voor uitplant. Gedurende deze fase is het van essentieel belang om de temperatuur, luchtvochtigheid en belichting nauwkeurig te regelen om optimale groeiomstandigheden te garanderen. In deze studie werden de zaailingen in steenwolblokken geplaatst en groeiden ze uit tot sterke planten met goed ontwikkelde wortels en bladeren. Het gebruik van een inert groeimedium zoals steenwol zorgt voor een uitstekende balans tussen waterretentie en luchtigheid, wat cruciaal is voor een gezonde wortelontwikkeling. In beide groepen groeiden alle 92 kiemen uit tot afleverbare planten.

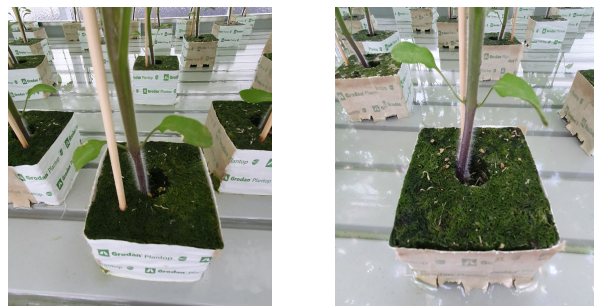
*Beoordeling kieming op 01-05-2023*



*Controlegroep*

*Behandelde groep*

*Beoordeling opgekweekte planten op 06-06-2023*



*Controlegroep*

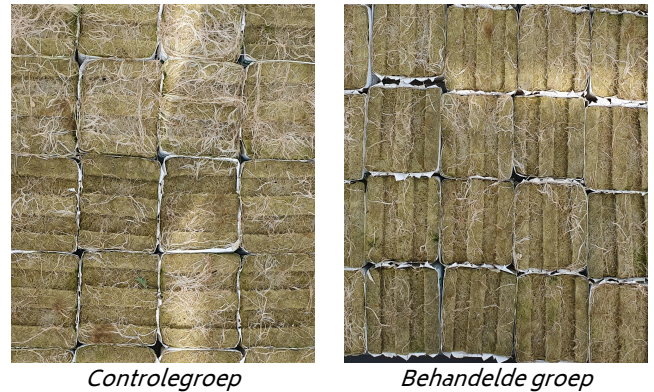
*Behandelde groep*



## Wortelontwikkeling

De wortelontwikkeling is essentieel voor de opname van water en voedingsstoffen, dit vormt de basis voor de algehele plantgezondheid. Tijdens de opkweekfase werd de wortelontwikkeling nauwkeurig gevolgd door de planten op specifieke tijdstippen aan steenwolblokken op te tillen en de wortelstructuur te beoordelen. Per groep zijn 32 gemiddelde planten uit de opkweek genomen. Deze planten zijn op het blok afgesneden en de blokken omgedraaid zodat de wortels bekeken konden worden.

Beoordeling beworteling op 06-06-2023



Tabel 1: Overzicht opkweek.

	Controle	Behandeld	Vershil
Lengte (cm)	78.8	82.1	4.20%
Beworteling %	17	10	-41.20%
Chlorofyl	30.25	27.84	-8.00%
Flavonolen	0.471	0.457	-3.00%
Anthocyanen (antioxidant)	0.066	0.082	24.20%
NBI <sup>1</sup>	64.35	61.22	-4.90%
<i><sup>1</sup>Nitrogen Balance Index, combineert chlorofyl en flavonolen, is een indicator voor de status van stikstof in de plant</i>			

Tabel 1 biedt een overzicht van alle bevindingen van het opkweekproces om de effecten van de nanoclusterinfusie op de groei en ontwikkeling van de tomatenplanten te vergelijken.

## Droogstofanalyse

De 32 afgesneden planten per groep werden in zakken gedaan voor droogstofanalyse. Droogstofanalyse is een methode om de hoeveelheid droge massa in een plant te bepalen, wat een indicatie en verhouding geeft van de opname en opslag van voedingsstoffen en water. In deze studie werden de planten na het afsnijden gedroogd en geanalyseerd om de percentages droogstof te bepalen.

De resultaten in tabel 2 laten zien dat de behandelde planten een lager droogstofpercentage hadden, wat kan wijzen op een verhoogde wateropname.

Tabel 2: Droogstofanalyse op 10-06-2023.

	Controle	Behandeld	Vershil
Droogstof %	10	9	-10%
Kalium	61	66	8.20%
Natrium	0.6	0.5	-16,67%
Calcium	24.5	16.9	-31.02%
Magnesium	10.8	8.0	-25.93%
Stikstof	38.6	42.6	10.36%
Chloride	2.0	2.7	35.00%
Zwavel	6.5	6.1	-6.15%
Fosfor	3.7	5.4	45.95%
Ijzer	70	80	14.29%
Mangaan	44	36	-18.18%
Zink	21	30	42.86%
Borium	29.4	26.6	-9.52%
Koper	5.4	7.0	29.63%
Molybdeen	3.2	3.0	-6.25%





Dit verhoogde watergehalte kan bijdragen aan een betere fysiologische werking van de planten, zoals verbeterde turgordruk en verhoogde enzymatische activiteit. De analyse van de verschillende nutriënten in de droogstof geeft inzicht in de opname-efficiëntie van essentiële elementen zoals kalium, stikstof en fosfor.

## 4.2. Nutriëntenanalyse

### Consistentie in nutriënten, pH en EC voor en na infusie

De nutriëntensamenstelling van het gietwater werd voorafgaand aan de infusiebehandeling geanalyseerd. Parameters zoals pH, EC, kationen (NH<sub>4</sub>, K, Na, Ca, Mg) en anionen (NO<sub>3</sub>, Cl, S, HCO<sub>3</sub>, P), evenals sporenelementen (Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo) werden gemeten. Na de infusie werden dezelfde parameters opnieuw gemeten (tabel 3). De resultaten voor infusie werden vergeleken met de resultaten na de infusie om te bepalen of de concentraties van nutriënten waren veranderd. Op deze manier kon beoordeeld worden of de waterinfusie invloed had op de nutriëntensamenstelling. Hierbij werd specifiek gekeken naar eventuele veranderingen die zouden kunnen wijzen op interacties tussen het infusieproces, de nanoclusteroplossing met waterstof en zuurstof, en de nutriënten in het water. Eventuele veranderingen in de nutriënteniveaus werden geanalyseerd om te bepalen of deze veranderingen van invloed zouden kunnen zijn op de plantengroei en ontwikkeling.

Tabel 3: Nutriënten, pH en EC voor en na infusie op 26-04-2023.

	Voor infusie	Na infusie	Vershil	Vershil %
pH	5.8	5.8	0.0	-
Elektrische Geleidbaarheid (mS/cm 25°C)	2.6	2.6	0.0	-
Ammonium (NH <sub>4</sub> ) (mmol/l)	0.2	0.2	0.0	-
Kalium (K) (mmol/l)	7.4	7.3	-0.1	-1.35%
Natrium (Na) (mmol/l)	0.2	0.2	0.0	-
Calcium (Ca) (mmol/l)	5.0	5.1	0.1	2.00%
Magnesium (Mg) (mmol/l)	3.5	3.5	0.0	-
Nitrat (NO <sub>3</sub> ) (mmol/l)	16.4	16.9	0.5	3.05%
Chloride (Cl) (mmol/l)	0.1	0.1	0.0	-
Zwavel (S) (mmol/l)	3.4	3.4	0.0	-
Bicarbonaat (HCO <sub>3</sub> ) (mmol/l)	0.1	<0.1	<0.1	-
Fosfor (P) (mmol/l)	1.43	1.39	-0.04	-2.80%
Ijzer (Fe) (μmol/l)	23	23	0.0	-
Mangaan (Mn) (μmol/l)	9.5	9.4	-0.1	-1.05%
Zink (Zn) (μmol/l)	3.9	4.0	0.1	2.56%
Boor (B) (μmol/l)	27	27	0.0	-
Koper (Cu) (μmol/l)	1.0	1.0	0.0	-
Molybdeen (Mo) (μmol/l)	0.7	0.7	0.0	-
Silicium (Si) (mmol/l)	<0.01	<0.01	<0.01	-



## Consistentie in nutriënten, pH en EC in watergift

Het analyseren van de consistentie van nutriënten, pH en elektrische geleidbaarheid (EC) in het gietwater is cruciaal om te begrijpen hoe goed de planten worden gevoed en hoe de waterkwaliteit gedurende het irrigatieproces behouden blijft. De resultaten van de Eurofins-metingen (tabel 4) tonen de concentraties van opneembare nutriënten bij de druppelaar voor zowel de controlegroep als de behandelde groep. Hierbij moet in aanmerking worden genomen dat het water vanuit de dagvoorraad via een rondpomp periodiek door leidingen naar de planten wordt getransporteerd. Het effect van nanoclusters van waterstof en zuurstof op deze keten kan inzicht geven in hoe deze technologie de nutriëntenconsistentie, pH en EC beïnvloedt tijdens het transport en uiteindelijke afgifte aan de planten.

Tabel 4: Gietwater nutriënten, pH en EC op 23-07-2023.

	Controle	Behandeld	Vershil
pH	5.8	6.1	+5.17%
EC	2.7	2.7	-
NH <sub>4</sub>	<0.1	<0.1	-
K	7.6	7.6	-
Na	0.5	0.5	-
Ca	5.1	5.2	+1.96%
Mg	3.7	3.8	+2.70%
NO <sub>3</sub>	17.3	17.1	-1.16%
Cl	0.5	0.4	-20.00%
S	3.6	3.7	+2.78%
HCO <sub>3</sub>	<0.1	0.2	+100.00%
P	1.48	1.46	-1.35%
Fe	44	43	-2.27%
Mn	10.0	10.0	-
Zn	4.1	4.7	+14.63%
B	43	49	+13.95%
Cu	1.0	1.3	+30.00%
Mo	0.6	0.7	+16.67%
Si	<0.01	<0.01	-

Tabel 5: Drainwater nutriënten, pH en EC op 23-07-2023.

	Controle	Behandeld	Vershil
pH	6.0	6.1	+1.67%
EC	5.0	5.3	+6.00%
NH <sub>4</sub>	<0.1	<0.1	-
K	11.4	12.3	+7.89%
Na	1.4	1.4	-
Ca	11.0	11.9	+8.18%
Mg	9.0	10.2	+13.33%
NO <sub>3</sub>	36.2	39.2	+8.29%
Cl	0.5	0.3	-40.00%
S	7.8	8.9	+14.10%
HCO <sub>3</sub>	<0.1	<0.1	-
P	2.46	2.55	+3.66%
Fe	83	91	+9.64%
Mn	5.7	4.8	-15.79%
Zn	5.5	6.7	+21.82%
B	108	128	+18.52%
Cu	1.7	2.4	+41.18%
Mo	1.2	1.4	+16.67%
Si	0.13	0.14	+7.69%

## Consistentie in nutriënten, pH en EC in drainwater

Het is belangrijk om het drainwater te analyseren omdat dit inzicht geeft in de concentraties van opneembare nutriënten die beschikbaar zijn voor de planten na irrigatie. Door zowel de controlegroep als de behandelde groep te vergelijken, kunnen we beter begrijpen hoe effectief de toegepaste behandelingen zijn in het leveren van essentiële voedingsstoffen aan de planten. De resultaten van de Eurofins-metingen (tabel 5) laten de concentraties zien van deze nutriënten in het drainwater, wat helpt om de efficiëntie van de nutriëntenopname en eventuele verliezen of overschotten te evalueren.

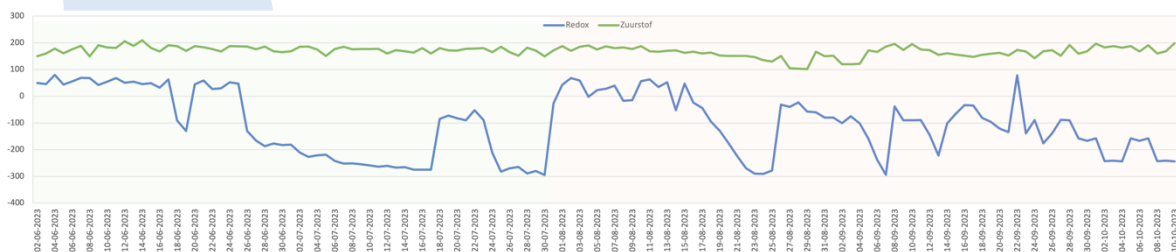


## 4.3. Redox- en zuurstofmetingen

### Dagelijkse metingen

De dagelijkse metingen in de dagvoorraad van de redox- en zuurstofniveaus werden uitgevoerd met de ProQuatro Handheld multiparameter meter. Deze metingen zijn essentieel om de effectiviteit van de waterinfusie te monitoren. De verzamelde data werden geanalyseerd om trends en patronen te identificeren in de variabiliteit van redox- en zuurstofniveaus gedurende de proefperiode (grafiek 1).

Grafiek 1: Redox- en zuurstofmetingen van het geïnfuseerde water.



### Streefwaarden

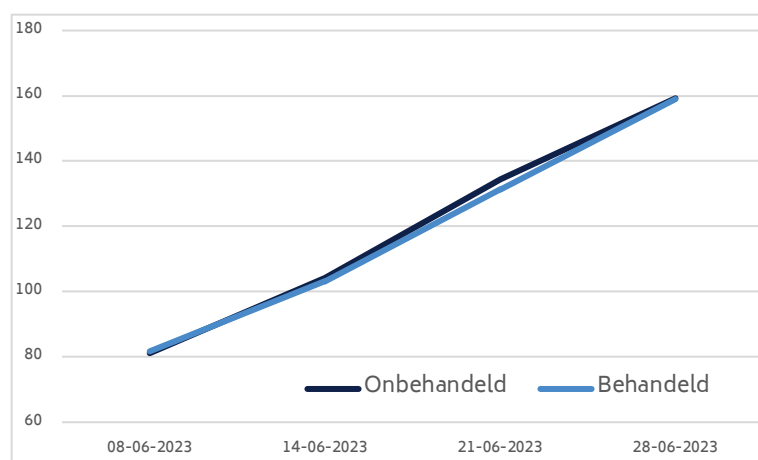
De gemeten waarden van het behandelde water werden vergeleken met de streefwaarden (zuurstof 150-200%, redox -300 tot -400mV) om de effectiviteit van de waterinfusie te beoordelen. Afwijkingen van de streefwaarden werden geanalyseerd om te begrijpen of deze werden veroorzaakt door variaties in de infusieprocedure of andere factoren zoals beperkingen van de meetapparatuur en omstandigheden in de kas. De gemeten zuurstofwaarden varieerden tussen de 100% en 210% en de redoxwaarden tussen de -381mV en 79.8mV. Dit betekent dat er enkele overschrijdingen van de streefwaarden waren.

## 4.4. Vegetatieve groei

### Plantlengte

De lengte van de planten werd op vier verschillende tijdstippen gemeten om de vegetatieve groei te monitoren (tabel 2). De gemiddelde plantlengte van de controlegroep en behandelde groep werd vergeleken om te bepalen of de waterinfusie een effect had op de vegetatieve groei.

Grafiek 2: Ontwikkeling plantlengte in cm.





## Chlorofylgehalte

Het chlorofylgehalte werd driemaal gemeten met een Dualex® meter (tabel 6). De chlorofylmetingen werden geanalyseerd om de invloed van de waterinfusie op de fotosynthese capaciteit van de planten te beoordelen. In tabel x staan de bevindingen weergegeven.

Tabel 6: Chlorofylgehalte en NBI

	Chlorofyl			NBI		
	Controle	Behandeld	Vershil	Controle	Behandeld	Vershil
28-06-23	40.2	41.3	+2.73%	89.4	91.5	+2.35%
04-08-23	34.6	34.4	-0.58%	75.4	74.6	-1.06%
25-08-23	31.6	30.6	-3.16%	61.8	60.2	-2.59%

## 4.5. Generatieve ontwikkeling

### Bloei en vruchtzetting

Het aantal bloemtrossen, open bloemen en gezette vruchten werd regelmatig geteld tot de eerste oogst. Deze data werden gebruikt om de generatieve ontwikkeling van de planten te evalueren en te bepalen of de waterinfusie de bloei en vruchtzetting beïnvloedde.

Het aantal gezette vruchten is een cruciale maatstaf voor de generatieve ontwikkeling van tomatenplanten. Dit aantal geeft inzicht in de effectiviteit van de bloei en bevruchting. Een hoger aantal gezette vruchten wijst op betere bestuiving en vruchtzetting, wat essentieel is voor een hogere opbrengst tijdens de oogst. Het bijhouden van deze gegevens helpt om te evalueren hoe goed de planten reageren op de behandelingen en om eventuele verbeteringen in de teeltmethoden te identificeren. In tabel 7 staat het aantal bloemtrossen, open bloemen en gezette vruchten voor zowel de controlegroep als de behandelde groep weergegeven.

Tabel 7: Bloemtrossen, open bloemen en gezette vruchten.

		Controle	Behandeld
08-06-23	Bloemtrossen	1.7	1.7
	Open bloemen	1.0	1.6
14-06-23	Bloemtrossen	2.0	2.0
	Open bloemen	4.7	4.3
21-06-23	Bloemtrossen	3.4	3.5
	Open bloemen	5.9	5.7
	Gezette vruchten	10.7	10.9
28-06-23	Open bloemen	3.2	3.0
06-07-2023	Open bloemen	3.1	3.4



## Tijdsverloop

Het tijdsverloop tot de eerste oogst werd vergeleken tussen de controlegroep en behandelde groep om te zien of de infusie de snelheid van de generatieve ontwikkeling beïnvloedde. Beide groepen begonnen met de eerste oogst op 31-07-2023.

## 4.6. Oogstresultaten

### Aantal en gewicht van vruchten

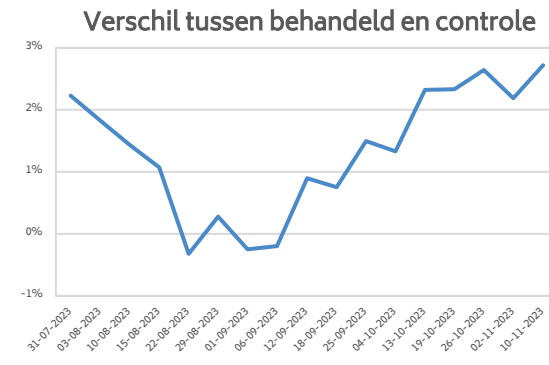
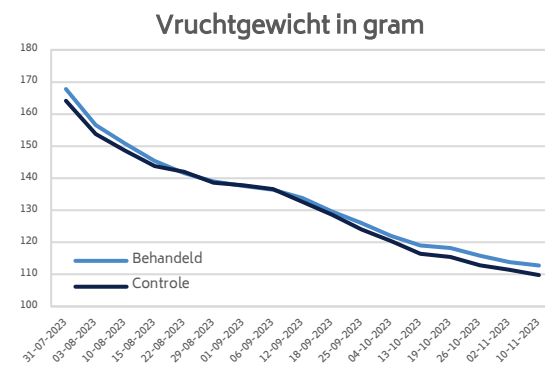
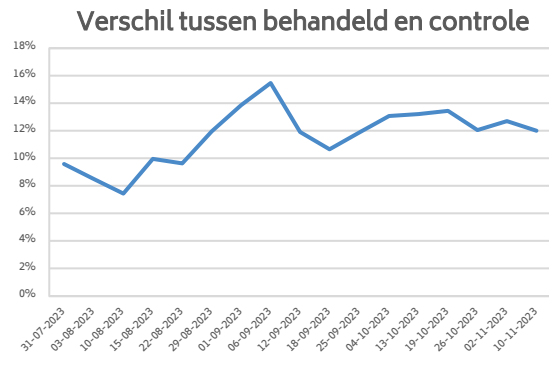
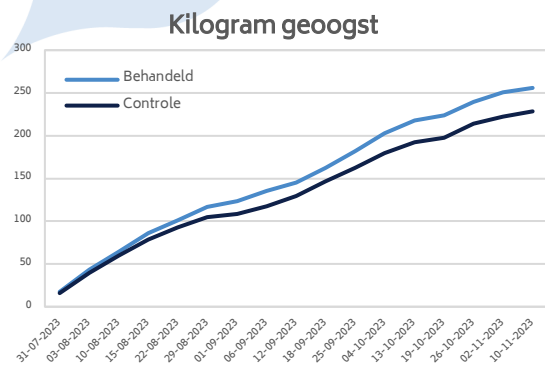
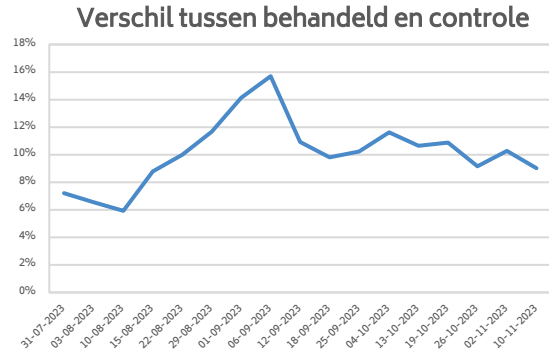
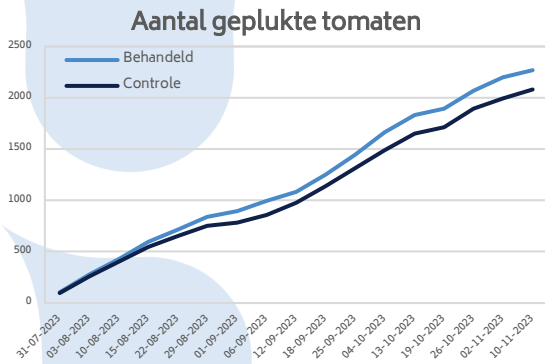
Vanaf de eerste oogst werd het aantal en gewicht van de geoogste tomaten geregistreerd. De totale opbrengst (aantal en gewicht) werd vergeleken tussen de controlegroep en behandelde groep om de impact van de waterinfusie op de productiviteit te evalueren. In tabel 8 staan de resultaten van de tellingen en wegingen van de oogst weergegeven. Daarnaast staan de cumulatieve oogstresultaten en percentuele verschillen weergegeven in grafieken 3 t/m 8.

Tabel 8: Aantal geoogste tomaten en gemiddeld gewicht per tomaat.

Datum	Geoogste tomaten (aantal)			Gewicht geoogst (kg)			Gemiddeld vruchtgewicht (gr)		
	Control e	Behand eld	Verschil	Control e	Behand eld	Verschil	Control e	Behand eld	Verschil
31-07-23	97	104	7.22%	15.9	17.5	10.06%	164	168	2.65%
03-08-23	259	276	6.56%	39.8	43.2	8.54%	154	157	1.86%
10-08-23	405	429	5.93%	60.2	64.6	7.31%	149	151	1.31%
15-08-23	546	594	8.79%	78.5	86.4	10.06%	144	145	1.17%
22-08-23	651	716	9.98%	92.4	101.3	9.63%	142	141	-0.32%
29-08-23	754	842	11.67%	104.4	116.9	11.97%	138	139	0.27%
01-09-23	785	896	14.14%	108.2	123.2	13.86%	138	138	-0.24%
06-09-23	860	995	15.70%	117.5	135.7	15.49%	137	136	-0.18%
12-09-23	979	1086	10.93%	129.8	145.3	11.94%	133	134	0.91%
18-09-23	1141	1253	9.82%	146.8	162.4	10.63%	129	130	0.74%
25-09-23	1311	1445	10.22%	162.7	182.0	11.86%	124	126	1.49%
04-10-23	1489	1662	11.62%	179.4	202.9	13.10%	120	122	1.33%
13-10-23	1653	1829	10.65%	192.3	217.7	13.21%	116	119	2.31%
19-10-23	1711	1897	10.87%	197.6	224.1	13.41%	115	118	2.29%
26-10-23	1897	2071	9.17%	214.0	239.7	12.01%	113	116	2.60%
02-11-23	1995	2200	10.28%	222.4	250.6	12.68%	111	114	2.18%
10-11-23	2081	2269	9.03%	228.5	255.9	11.99%	110	113	2.71%
<b>Gemiddelde</b>		<b>+10.15%</b>			<b>+11.63%</b>			<b>+1.36%</b>	



Grafiek 3 - 8: Cumulatieve oogstresultaten en percentuele verschillen van behandelde groep t.o.v. controlegroep



### Onrijpe vruchten en cumulatief potentieel

Na de laatste oogst werden de planten verder leeggeplukt en beoordeeld op 10-11-2023. De analyse van onrijpe vruchten is belangrijk om inzicht te krijgen in de ontwikkeling en rijping van de tomaten. Daarnaast geeft het cumulatief potentieel een totaaloverzicht van de opbrengst gedurende de gehele oogstperiode. De cumulatieve oogstdata werd geanalyseerd om de totale productiviteit over de proefperiode te evalueren en om te zien of de waterinfusie een consistent effect had op de opbrengst. In tabel 9 staan de resultaten weergegeven inclusief het cumulatieve totaal.



Tabel 9: Onrijpe vruchten en cumulatief potentieel.

	Aantal	Gewicht (kg)	Vruchtgewicht (gr)	Totaal aantal
Controle	753	27.5	36.5	2834
Behandeld	789	32.1	40.7	3058
<b>Vershil</b>	<b>+4.9%</b>	<b>+16.8%</b>	<b>+11.5%</b>	<b>+7.9%</b>

## Suikergehalte

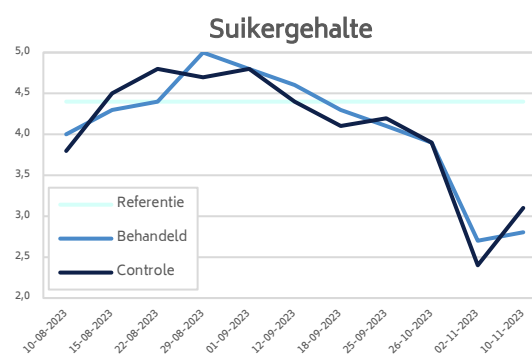
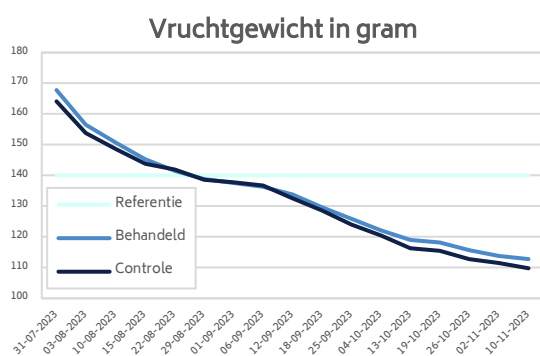
Het suikergehalte van de vruchten werd regelmatig gemeten om kwaliteitsverschillen tussen de behandelde en onbehandelde tomaten te beoordelen (tabel 10). De metingen werden geanalyseerd om te zien of de infusie invloed had op het suikergehalte, wat een indicator is voor de smaak en kwaliteit van de tomaten. De Bronsino tomaten van Enza, zoals besproken in plantmateriaal kunnen een gemiddelde referentie Brix-waarde van 4.3-4.5 hebben bij optimale omstandigheden.

Tabel 10: Suikergehalte van de vruchten (°C Brix).

	Controle	Behandeld	Vershil
10-08-2023	3.8	4.0	5.26%
15-08-2023	4.5	4.3	-4.44%
22-08-2023	4.8	4.4	-8.33%
29-08-2023	4.7	5.0	6.38%
01-09-2023	4.8	4.8	0.00%
12-09-2023	4.4	4.6	4.55%
18-09-2023	4.1	4.3	4.88%
25-09-2023	4.2	4.1	-2.38%
26-10-2023	3.9	3.9	0.00%
02-11-2023	2.4	2.7	12.50%
10-11-2023	3.1	2.8	-9.68%
<b>Gemiddeld</b>	<b>4.06</b>	<b>4,08</b>	<b>0.49%</b>

Grafieken 9 en 10 laat zien in welke periode van het jaar de metingen van het suikergehalte plaatsvonden. Daarnaast is het gemiddelde vruchtgewicht te zien in dezelfde periode. Dit geeft inzicht in de relatie tussen het suikergehalte, gewicht en periode teelt.

Grafieken 9 en 10: Gemiddeld vruchtgewicht en suikergehalte.



## 4.7. Microbiële analyse

### Pathogenen in water

Gedurende de proef werd de aanwezigheid van pathogenen in het water geanalyseerd (tabel 11). De resultaten werden vergeleken tussen de controlegroep en behandelde groep om te bepalen of de waterinfusie een effect had op de aanwezigheid van schadelijke micro-organismen.

Tabel 11: Analyse micro-organismen op 24-08-2023.

	Controle	Behandeld
Phytophthora spp.	1	0
Pythium spp.	6	6
Verticillium spp.	1	0
Fusarium spp.	0	6
Fusarium oxysporum	0	6
Fosarium oxysporum f.sp. radicis cucumerinum	0	6
Botrytis cinerea	0	0
Pleudomonas fluorescens	1	6

### Effecten op microbioom

Naast pathogenen werd ook gekeken naar de aanwezigheid van groeibevorderende micro-organismen zoals Trichoderma. Veranderingen in het microbioom werden geanalyseerd om te beoordelen of de waterinfusie de microbiële samenstelling rond de wortels beïnvloedde. De behandelde groep had een meer diverse microbiële samenstelling in het water rond de wortels in vergelijking met de controlegroep, met een verlaagde aanwezigheid van groeibevorderende micro-organismen zoals Trichoderma.

## 4.8. Plantritme analyse

### Sensordata

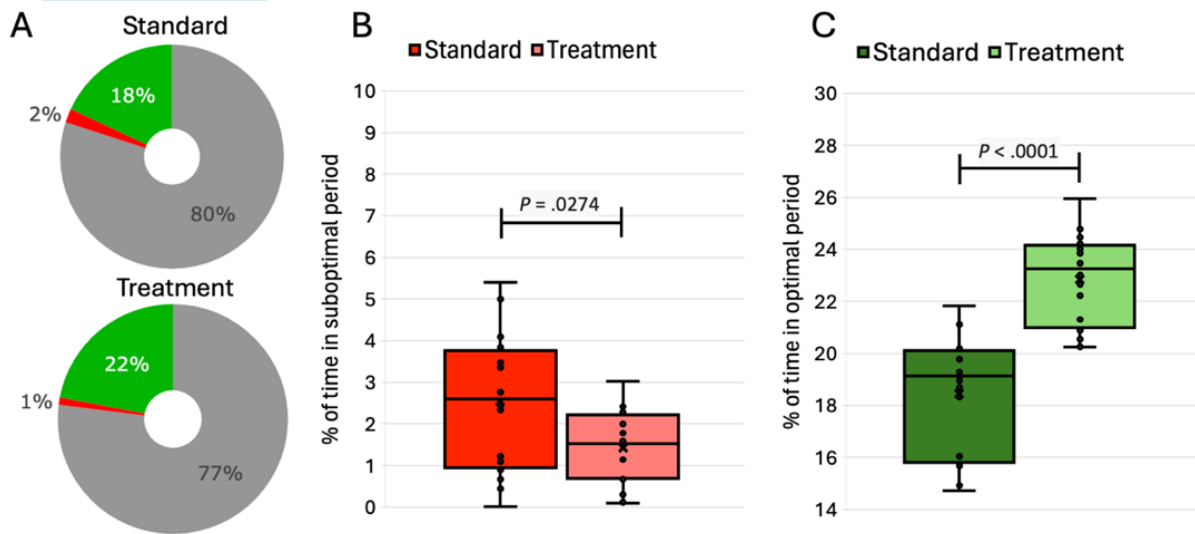
#### *PBI (Plant Balance Index)*

De PBI meet de stabiliteit van het diurnale elektrofysiologische ritme van planten en wordt gebruikt om de reactie van planten op snel veranderende omgevingsfactoren te evalueren. De PBI is berekend op basis van de afwijking van elektrische signalen over een periode van vier dagen. Een hogere PBI wijst op een stabiel ritme en een betere aanpassing van de plant aan veranderende omstandigheden.

In grafiek 11 staat de PBI van beide groepen weergegeven. Hierbij wordt ingezoomd op de optimale (groen) en suboptimale (rood) uren. In onderdeel A is de PBI-vergelijking te zien tussen de controlegroep (standard) en behandelde groep (treatment). Vervolgens is er in onderdeel B een analyse gedaan op de suboptimale periode. De behandelde groep had minder suboptimale uren dan de controlegroep. Dit verschil was significant ( $p < 0.05$ ). Daarnaast is in onderdeel C een analyse gedaan op de optimale uren. De behandelde groep had meer optimale uren dan de controlegroep. Dit verschil was ook significant ( $p < 0.001$ ).



Grafiek 11: Optimale, normale en suboptimale omstandigheden.

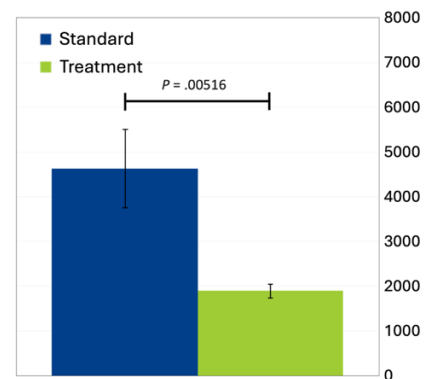


### Snelle activiteit evaluatie

Vivent ontwikkelde een Fast Activity Metric om plantactiviteit en stressreacties te meten op ritmes korter dan 24 uur. Deze meting kan stressreacties binnen enkele seconden vastleggen en biedt inzicht in de onmiddellijke fysiologische veranderingen in de planten.

In grafiek 12 staat de gemiddelde snelle activiteit weergegeven voor zowel de controlegroep (standard) als de behandelde groep (treatment). De behandelde groep vertoonde minder snelle activiteit, wat een maat voor stressrespons is. Dit verschil was significant ( $p < 0.05$ ).

Grafiek 12: Activiteitentelling, maat voor stressrespons.



## 5. Conclusie

### 5.1. Opkweekproces

#### Zaaien

Beide groepen hadden een kiempercentage van 92%. Dit geeft aan dat de nanoclusterinfusie geen invloed had op de kieming van de zaden.

#### Opkweek

De opkweekresultaten toonden aan dat alle 92 kiemen in beide groepen uitgroeiden tot afleverbare planten. De behandelde planten (82.1cm) waren gemiddeld 4.19% langer dan de controleplanten (78.8 cm). Dit kan wijzen op een positief effect van de nanoclusterinfusie op de vegetatieve groei.

#### Wortelontwikkeling

De wortelontwikkeling was minder in de behandelde groep (10% beworteling) in vergelijking met de controlegroep (17% beworteling). Ondanks de kleinere wortels, groeiden de behandelde planten uit tot grotere afleverbare planten. Dit suggereert dat de behandelde planten mogelijk efficiënter water kunnen opnemen. Dit wordt ondersteund door de verhoogde opname van bepaalde nutriënten zoals vastgesteld in de droogstofanalyse.

#### Droogstofanalyse

De droogstofanalyse liet zien dat de behandelde planten een lager droogstofpercentage (9%) hadden dan de controlegroep (10%). De grotere planten in de behandelde groep met een lager droogstofpercentage wijzen op een hogere wateropname, wat de resultaten van de wortelontwikkeling ondersteunt.

Op het gebied van nutriënten toonden de behandelde planten een verhoogde opname van kalium, stikstof, chloride, fosfor, ijzer, zink en koper. Daarnaast toonden de behandelde planten een lagere opname van natrium, calcium, magnesium, zwavel, mangaan, borium en molybdeen in vergelijking met de controlegroep. Dit kan worden verklaard door de betere wateropname in de behandelde planten, wat resulteert in een verdunningseffect voor sommige nutriënten.

### 5.2. Nutriëntenanalyse

#### Consistentie in nutriënten, pH en EC voor en na infusie

De infusiemethode had een minimaal tot geen impact op de meeste nutriëntenwaarden, pH en EC. Kleine variaties werden waargenomen voor en na de infusie, maar deze bleven binnen acceptabele marges. Dit geeft aan dat de nutriëntensamenstelling behouden blijft na de infusie.



### Consistentie in nutriënten, pH en EC in watergift

De vergelijking van de nutriëntensamenstelling, pH en EC in de watergift tussen de controlegroep en behandelde groep toonde aan dat de meeste waarden vergelijkbaar waren, met uitzondering van een lichte verhoging in pH (+5.17%) en enkele sporenelementen zoals koper en zink die een hogere concentratie hadden in de behandelde groep.

### Consistentie in nutriënten, pH en EC in drainwater

De analyse van het drainwater liet zien dat de pH en EC in beide groepen vergelijkbaar was, terwijl er verschil te zien was in de nutriëntensamenstelling. Dit geeft ook een inzicht hoeveel water er opgenomen wordt door de plant en hoe goed de plant in staat is water (verdamping) te balanceren. In de behandelde groep werden verhoogde concentraties waargenomen van kalium, calcium, magnesium, nitraat, zwavel, fosfor, ijzer, zink, boor, koper, molybdeen en silicium, wat kan wijzen op een verbeterde opname-efficiëntie door de planten. Chloride en mangaan waren daarentegen lager in de behandelde groep, wat mogelijk wijst op een verdunningseffect door de verhoogde wateropname.

De grotere planten en hogere productieaantallen en -gewichten in de behandelde groep suggereren dat de nanoclusterinfusie bijdroeg aan een efficiëntere nutriëntenopname en verbeterde plantgroei. Dit is consistent met de verhoogde nutriëntenconcentraties in het drainwater, wat erop wijst dat de planten meer water en daarmee nutriënten opnamen, resulterend in een verdunning van sommige nutriënten in de planten en een hogere efficiëntie in het gebruik van de beschikbare nutriënten.

## 5.3. Redox- en zuurstofmetingen

Gedurende de proefperiode varieerden de redox- en zuurstofniveaus in het behandelde water. De redoxwaarden varieerden tussen -381mV en 79.8mV, en de zuurstofwaarden varieerden tussen 100% en 210%. Ondanks dat de streefwaarden (redox: -300 tot -400mV; zuurstof: 150-200%) niet altijd werden gehaald, vertoonde de behandelde groep verschillen in vergelijking met de controlegroep. Deze variatie kan deels veroorzaakt zijn door de omgeving waar de dagvoorraadtank in stond en het feit dat de tank werd aangevuld in plaats van ververst.

## 5.4. Vegetatieve groei

De ontwikkeling in lengte van de behandelde planten was in de teeltfase nagenoeg gelijk aan de controleplanten. Het chlorofylgehalte en de Nitrogen Balance Index (NBI) was eveneens vergelijkbaar ondanks kleine variaties tussen de controlegroep en behandelde groep.





## 5.5. Generatieve ontwikkeling

Het aantal open bloemen en gezette vruchten was vergelijkbaar voor de controlegroep en behandelde groep. Het aantal meetpunten was echter beperkt binnen een periode die eigenlijk te kort is om een goede uitspraak te kunnen doen. Beide groepen begonnen met de eerste oogst op 31-07-2023, wat aangeeft dat de nanoclusterinfusie geen significante invloed had op de timing van de vruchtzetting.

## 5.6. Oogstresultaten

De behandelde groep had gemiddeld 10.15% meer geoogste vruchten dan de controlegroep. Het gemiddelde gewicht van de geoogste vruchten was 11.63% hoger in de behandelde groep dan in de controlegroep. Het aantal onrijpe vruchten was hoger in de behandelde groep (789) in vergelijking met de controlegroep (753), wat een indicatie is van een grotere potentiële toekomstige oogst. De behandelde groep had ook een 7.9% hoger cumulatief potentieel aantal vruchten (3058) vergeleken met de controlegroep (2834), wat wijst op een verbeterde vruchtzetting en opbrengst. Deze verschillen waren statistisch significant. Het gemiddelde suikergehalte (Brix-waarde) was iets hoger in de behandelde groep (4.08) vergeleken met de controlegroep (4.06).

De resultaten suggereren dat de nanoclusterinfusie een significant positief effect had op zowel het aantal vruchten als het gewicht aan geoogste vruchten. Ditzelfde geldt voor het suikergehalte en het aantal onrijpe vruchten, wat bijdraagt aan een hogere totale opbrengst en kwaliteit van de vruchten.

## 5.7. Microbiële analyse

Gedurende de proef werd een toename van de pathogenen *Fusarium* spp., *Fusarium oxysporum*, *Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis cucumerinum* en *Pseudomonas fluorescens* waargenomen in de dagvoorraad van de behandelde groep in vergelijking met silo van de controlegroep. Dit kan deels veroorzaakt zijn door de omgeving waar de dagvoorraadtank in stond waarbij het water werd blootgesteld aan warmte en licht, en het feit dat de tank werd aangevuld in plaats van verversd. Het water voor de behandelde groep vertoonde een meer diverse en stabiele microbiële samenstelling in het water, met een verlaagde aanwezigheid van groeibevorderende micro-organismen zoals *Trichoderma*.

Gezien de hogere opbrengsten en verbeterde groei van de behandelde planten, lijkt de nanoclusterinfusie een positief effect te hebben op de plantgezondheid en -ontwikkeling, ondanks de toename van pathogenen in het behandelde water. Het behandelde water bevordert een gezonder wortelmilieu en draagt bij aan de algehele verbeterde prestaties van de planten. De resultaten in groei en productie suggereren dat de nanoclusterinfusie een



positief effect heeft op de microbiële samenstelling van het wortelmilieu, wat kan bijdragen aan de algehele gezondheid en groei van de planten. De verminderde aanwezigheid van pathogenen bij de wortel en de verhoogde aanwezigheid van nuttige micro-organismen kunnen leiden tot een betere plantweerstand en -productiviteit.

## 5.8. Plantritme analyse

De Plant Balance Index (PBI) en de Fast Activity Metric, gemeten door Vivent, toonden aan dat de behandelde planten een stabielere diurnaal elektrofysiologisch ritme en een lagere stressreactie vertoonden in vergelijking met de controlegroep. Deze bevindingen suggereren dat de nanoclusterinfusie bijdraagt aan een betere fysiologische stabiliteit en verminderde stress bij de planten. De data van Vivent ondersteunen de bevindingen in dit rapport, wat wijst op een positieve invloed van de nanoclusterinfusie op zowel de vegetatieve als generatieve groei van de planten. Een gedetailleerde toelichting op de bevindingen van Vivent is opgenomen in een aparte bijlage.

## 5.9. Eindconclusie

De opkweekresultaten lieten zien dat de behandelde planten niet alleen langer waren, maar ook dat de planten een efficiëntere nutriëntenopname vertoonden, ondanks een kleinere wortelontwikkeling. Dit suggereert dat de nanoclusterinfusie bijdraagt aan een verbeterde water- en nutriëntenopname, wat resulteert in een betere vegetatieve groei. Tijdens de teeltfase werd ook een hogere totale oogstopbrengst waargenomen. De statistische betrouwbaarheid van deze bevindingen versterkt de validiteit van de resultaten en suggereert dat de nanoclusterinfusie een waardevolle behandeling kan zijn voor het verbeteren van zowel de opkweek als de teelt van planten, resulterend in een hogere productiviteit en kwaliteit, zonder negatieve effecten.



## 6. Discussie

### Effectiviteit van de nanoclusterinfusie

De resultaten tonen aan dat de nanoclusterinfusie een positief effect had op zowel de vegetatieve groei in de opkweekfase als de generatieve groei van de planten. De behandelde planten waren langer, hadden een hogere opbrengst en een hoger suikergehalte. Deze bevindingen suggereren dat nanoclusterinfusie een effectieve behandeling kan zijn om de groei en kwaliteit van planten te verbeteren. Echter, verdere studies zijn nodig om de lange termijn effecten en de optimale doseringen te bepalen.

### Wortelontwikkeling en wateropname

Hoewel de wortelontwikkeling in de behandelde planten kleiner was, waren de planten groter en hadden ze een hogere opbrengst. Dit wijst op een verbeterde water- en nutriëntenopname-efficiëntie. Het is mogelijk dat de nanoclusterinfusie de opnamecapaciteit van de wortels verhoogt, wat leidt tot een betere plantengroei ondanks de kleinere wortelmasa. Verdere onderzoek is nodig om de mechanismen achter deze verbeterde opnamecapaciteit te begrijpen.

### Microbiële samenstelling

De microbiële analyse toonde aan dat in het gietwater van de behandelde groep een verhoogde aanwezigheid van microbiële activiteit en een verlaagde aanwezigheid van groeibevorderende micro-organismen zoals *Trichoderma* was. Dit kan te wijten zijn aan de opslag van 1m<sup>2</sup> behandeld water in de kasomgeving, waar warmte en licht de microbiële groei bevorderden.

Ondanks deze bevindingen in het gietwater, suggereren de resultaten dat het microbioom rond de wortels van de behandelde planten goed was. Dit blijkt uit de betere plantengroei en weerstand, wat erop wijst dat de planten toch goed konden groeien en weerbaar waren tegen stress. Dit roept echter vragen op over de invloed van opslagomstandigheden op de microbiële samenstelling van het gietwater en de noodzaak om opslagcondities te optimaliseren om de aanwezigheid van nuttige micro-organismen te behouden.

Verder onderzoek is nodig om de specifieke effecten van verschillende opslagomstandigheden op de microbiële samenstelling van het gietwater te begrijpen en om strategieën te ontwikkelen om de aanwezigheid van nuttige micro-organismen zoals *Trichoderma* te maximaliseren. Daarnaast zou het interessant zijn om te onderzoeken hoe snel het microbioom rond de wortels zich aanpast na de toepassing van het gietwater en welke factoren deze aanpassing beïnvloeden.



### Nutriëntenconsistentie en opname

De infusiemethode had minimale impact op de meeste nutriëntenwaarden in de watergift en het drainwater, hoewel enkele verschillen werden waargenomen. De behandelde groep vertoonde verhoogde concentraties van bepaalde nutriënten zoals kalium en stikstof, wat kan wijzen op een verbeterde opname-efficiëntie. Dit suggereert dat de nanoclusterinfusie kan bijdragen aan een betere nutriëntenbenutting door de planten. Verdere studies kunnen helpen om de specifieke effecten van nanoclusterinfusie op de nutriëntenopname en -benutting te kwantificeren.

### Redox- en zuurstofniveaus

Hoewel de streefwaarden voor redox- en zuurstofniveaus niet altijd werden gehaald, vertoonden de behandelde planten verbeterde groeiprestaties. Dit suggereert dat zelfs met variaties in redox- en zuurstofniveaus, de nanoclusterinfusie gunstige effecten kan hebben op de plantengroei. Verdere onderzoek is nodig om te bepalen hoe deze parameters het beste kunnen worden geoptimaliseerd voor maximale voordelen.

### Statistische significantie van bevindingen

De statistische analyse bevestigde de significantie van de waargenomen verschillen tussen de behandelde en controlegroepen voor meerdere variabelen, wat de robuustheid van de resultaten ondersteunt. Dit geeft vertrouwen in de conclusie dat nanoclusterinfusie een waardevolle behandeling kan zijn voor het verbeteren van de productiviteit en kwaliteit van planten. Toekomstige studies met grotere steekproeven en over langere periodes kunnen helpen om deze bevindingen verder te versterken.

Samenvattend suggereren de bevindingen dat nanoclusterinfusie een veelbelovende techniek is voor het verbeteren van plantengroei en -opbrengst. Verdere onderzoek is nodig om de optimale toepassingen en lange termijneffecten volledig te begrijpen.

