



KWR 2025.025 | Augustus 2025

**Grenswaarden
Waterkwaliteit -
Samenvatting en
Algemene Bevindingen**

Samenwerkingspartners

TOPSECTOR
TUINBOUW & UITGANGSMATERIALEN

 **WATER & MARITIME**
EIS NO CHALLENGE. SMART SOLUTIONS

 **Kijk Kennis in je Kas**
VOOR EEN DUURZAME VOORSPRONG

 **Glastuinbouw Nederland**
morgen groeit vandaag

 **CONTROL IN FOOD & FLOWERS**

KWR

 **Normec**

Plantum

sendot

 **Vivent**
Biosignals

 **LET'S GROW**
COM

AGRONA
BIOLOGICAL CROP PROTECTION & WATER TREATMENT

TOMAT
WORLD 

Colofon

Grenswaarden Waterkwaliteit - Samenvatting en Algemene Bevindingen

KWR 2025.025 | Augustus 2025

Opdrachtnummer

404010

Projectmanager

Joep van den Broeke

Samenwerkingspartners

Normec Groen Agro Control, Plantum NL, Sendot, Letsgrow.com, Vivent Biosignals, Agrona, Stichting Kennis in je Kas, Glastuinbouw Nederland, Stichting Tomatoworld, Stichting Control in Food & Flowers

Auteurs

Joep van den Broeke (KWR), Ruud Kaarsemaker (SCFF), Xin Tian (KWR), Mohamed Zeidan (KWR), Ammar Riyadh (KWR), Arian Bardak (SCFF), Arie Draaijer (Sendot), Vincent Wilk (Sendot), Marcelle van der Waals (KWR)

Kwaliteitsborger

Paul van der Wielen

Verzonden naar

Begeleidingscommissie TKI Grenswaarden Waterkwaliteit

Deze activiteit is mede gefinancierd met PPS-financiering uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en de resultaten zijn openbaar. Dit project werd mede mogelijk gemaakt door een financiële bijdrage vanuit het Stimuleringsbudget Glastuinbouw. Kijk voor meer informatie op www.stowa.nl/glastuinbouw.

Werkwijzen, rekenmodellen, technieken, ontwerpen van proefinstallaties, prototypen en door KWR gedane voorstellen en ideeën alsmede instrumenten, waaronder software, die in het onderzoeksresultaat zijn opgenomen, zijn en blijven het eigendom van KWR. Ook alle rechten die voortvloeien uit intellectueel en industrieel eigendom, alsmede de auteursrechten, blijven bij KWR berusten en derhalve eigendom van KWR.

Keywords

sensoren; waterkwaliteit; glastuinbouw; hydroinformatica

[Jaar van publicatie](#)
2025

Meer informatie

Joep van den Broeke
[T +31 30 6069 658](tel:+31306069658)
[E joep.van.den.broeke@kwrwater.nl](mailto:joep.van.den.broeke@kwrwater.nl)

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

[T +31 \(0\)30 60 69 511](tel:+31306069511)
[E info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)
[I www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

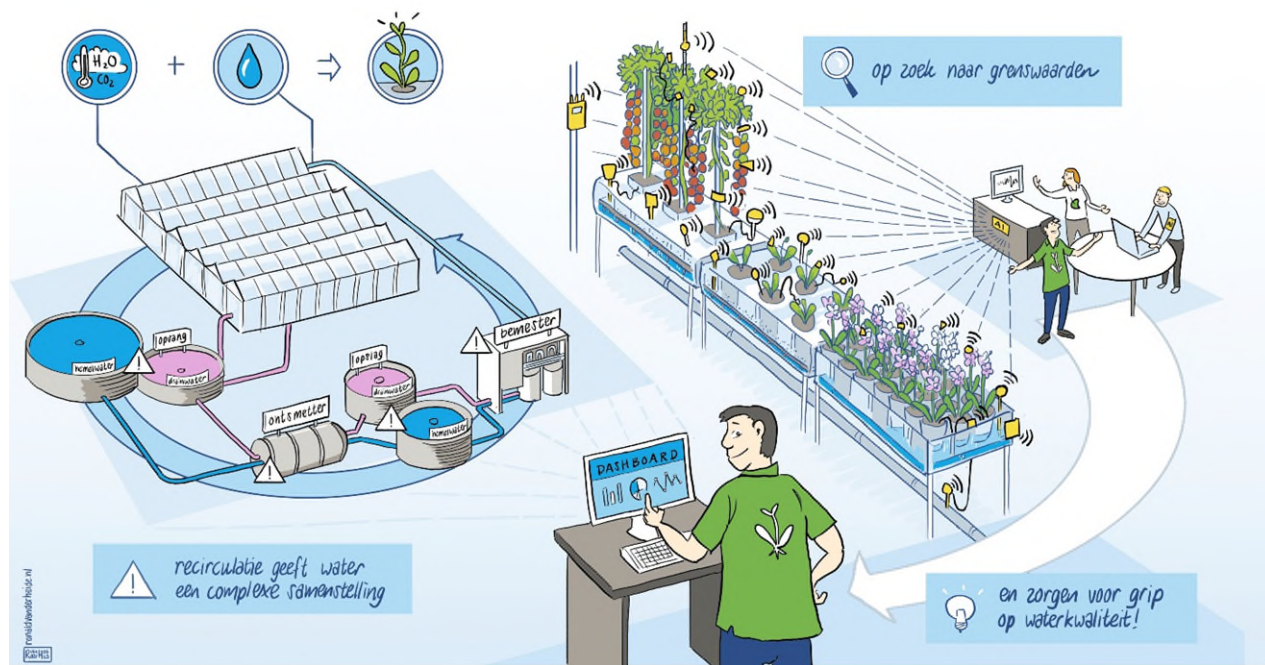
KWR

Februari 2025 ©

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

Samenvatting

Binnen het project Grenswaarden Waterkwaliteit is onderzocht of het mogelijk is om met behulp van sensoren grip te krijgen op de kwaliteit van in de kas gerecirculeerd water. Het project had daarbij twee doelen. Het eerste doel was om te onderzoeken of met een combinatie van plant-, water- en klimaatsensoren een slim meetsysteem kan worden gemaakt. Dat systeem moet kunnen helpen bij het aansturen van het recirculatieproces en de waterbehandeling in de glastuinbouw. Het slimme meetsysteem gebruikt dan metingen van de waterkwaliteit om beslissingen te nemen. Het tweede doel was om te achterhalen wat de waarde is van deze sensoren, zowel los als samen. De sensoren geven informatie over waterkwaliteit, plantgroei en/of klimaat. Die informatie kan nuttig zijn voor telers. De belangrijkste resultaten van vijf deelrapporten zijn samengevat in dit rapport.



De doelstelling van het project Grenswaarden Waterkwaliteit schematisch weergegeven.

Sensorisch meten van waterkwaliteit en plantprestaties en data-analyse

In het project Grenswaarden Waterkwaliteit is een groot aantal sensoren gebruikt om waterkwaliteit, plantprestaties en klimaatomstandigheden te meten. Op sommige proeflocaties gaven sensoren voor waterkwaliteit nuttige informatie voor de praktijk. Maar om echt te begrijpen wat de oorzaak is van bepaalde effecten die in de praktijk optreden, moet dit worden getest in een gecontroleerde omgeving. Daar kunnen bewust veranderingen, zoals het water slechter maken, worden aangebracht om te zien wat er gebeurt, zoals op plantprestaties. In een echte kas zijn er veel schommelingen, zoals in lichtintensiteit, temperatuur en bodemvocht. Omdat de reactie van de plant niet alleen afhangt van de kwaliteit van het gietwater, maar ook van het klimaat en de omstandigheden rond de wortels, kan het effect van waterkwaliteit op plantprestaties alleen worden begrepen als ook de invloed van deze parameters bekend is. Daarom moeten al deze factoren worden meegenomen in de analyse. In dit onderzoek kon, door deze complexiteit, het directe effect tussen waterkwaliteit en plantprestaties nog niet duidelijk worden aangetoond.

Om de omgevingsparameters te beheersen, zijn ook experimenten uitgevoerd in de klimaatkamer van Normec Groen Agro Control. Uit deze experimenten kon duidelijk het effect van zuurstof in het gietwater op de plant bepaald worden. Duidelijk werd dat zowel het zuurstofgehalte als het zuurstofverbruik van belang zijn, en dat een hoger zuurstofgehalte en lager zuurstofverbruik in het water positief zijn voor de plant, in het bijzonder bij hogere watergehaltes in het teeltsubstraat. Tot slot is er ook een model gemaakt. Dat model kan de Plant Balance Index – een maat voor plantprestatie, gemeten door de PhytSigns sensoren van Vivent Biosignals – tot 8 uur vooruit voorspellen.

Het model gebruikt daarvoor gegevens over waterkwaliteit en klimaat als input. Het ontwikkelde model is nog niet getest in de praktijk, en de betrouwbaarheid onder operationele omstandigheden is daarom nog niet bekend.

Invloed van waterkwaliteit op plantprestaties

In een klimaatkamer is onderzocht wat de invloed is van verschillende soorten gietwater op de groei van tomatenplanten en *Phalaenopsis*. Er zijn drie soorten water gebruikt:

1. Regenwater gemengd met een voedingsoplossing,
2. Regenwater gemengd met hergebruikt water,
3. Datzelfde mengsel, maar extra belucht met nanobubbles.

In alle proeven bleek dat het zuurstofverbruik in het water veranderde tijdens opslag. Daarbij gold: hoe meer bacteriën in het water, hoe meer zuurstof werd verbruikt. Opvallend was dat het toevoegen van ontsmet drainwater niet tot meer zuurstofverbruik zorgde dan met puur regenwater. In de experimenten met tomaat en phalaenopsis werden de beste resultaten behaald met het nanobubblesbeluchte water; dit water verbruikte de minste zuurstof, gaf de hoogste fotosynthese-efficiëntie in de plant en leidde tot het hoogste plantgewicht. Het onderzoek laat dus zien dat zuurstofgehalte en -verbruik in het gietwater invloed hebben op de plant, vooral als het substraat erg vochtig is. Het beste gietwater heeft veel zuurstof, maar verbruikt zelf geen zuurstof. Nanobubbles zorgen voor extra zuurstof en verbeteren daarmee de plantgroei. Wat precies het ideale zuurstofgehalte is, kon (nog) niet worden vastgesteld.

Zowel bij tomaat en phalaenopsis geldt dat de optimale plantprestaties een compromis zijn van voldoende beschikbaarheid van makkelijk opneembaar water en beschikbaarheid van zuurstof. Een combinatie van plantsensoren die de plantrespons meten (fotosynthese-efficiëntie en/of Plant Balance Index) met sensoren die de omstandigheden in het wortelmilieu (zuurstof en watergehalte) inzichtelijk maken, maakt het mogelijk zuurstof- en waterbeschikbaarheid in het wortelmilieu te optimaliseren.

Gebruik van microbiologische methoden voor het bepalen van waterkwaliteit

Tot slot is in het project Grenswaarden Waterkwaliteit gekeken of het meten van de bacteriologische waterkwaliteit, vooral met Next Generation Sequencing (NGS) van een klein deel van het 16S rRNA gen van bacteriën, nuttig kan zijn. Uit het onderzoek blijkt dat gietwater met een deel recirculatiewater een andere bacteriële samenstelling heeft dan gietwater aangemaakt uit puur regenwater.

Maar de verschillen waren klein, en de gebruikte NGS-methode kon niet precies aangeven welke bacteriesoorten aanwezig waren. Daarom kon er niets geconcludeerd worden over de microbiële kwaliteit; er was onvoldoende detailinformatie om te bepalen of er schadelijke of juist nuttige bacteriën aanwezig waren. Met een andere methode, die het hele 16S rRNA-gen onderzoekt, kan dat wel achterhaald worden. Voor toekomstig onderzoek wordt daarom aangeraden om sequencing van het gehele 16S rRNA gen te gebruiken. Ook wordt geadviseerd om niet alleen naar bacteriën te kijken, maar ook naar schimmels, omdat die ook invloed hebben op de plantgroei.

Inhoud

Samenvatting	5
Inhoud	7
1 Inleiding	8
1.1 Aanleiding	8
1.2 Projectdoelstelling	9
1.3 Leeswijzer	10
2 Samenvatting Projectaanpak	11
2.1 Aanpak	11
2.2 Jaar 1 - Inregelen meetsysteem	11
2.3 Jaar 2 - Metingen op praktijklocaties	12
2.4 Jaar 3 – metingen in klimaatkamer met verschillende waterkwaliteiten	14
2.5 Jaar 3 – data analyse	15
3 Conclusies en Aanbevelingen	16
3.1 Waterkwaliteit	16
3.2 Metingen waterkwaliteit en plantprestaties	16
3.3 Impact van waterkwaliteit op plantprestaties - tomaat	18
3.4 Impact van de waterkwaliteit op de plant prestatie - phalaenopsis	18
3.5 Gebruik van microbiologische methoden voor het bepalen van waterkwaliteit	19
3.6 Gebruik van kunstmatige intelligentie in de glastuinbouw	20

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Water is één van de belangrijkste productiefactoren in de glastuinbouw. Het is echter niet onbeperkt voorradig en ook andere sectoren hebben nood aan grote hoeveelheden water van goede kwaliteit. Daarnaast zijn er steeds strengere eisen aan het lozen van afvalwater door de glastuinbouw. Dit heeft geleid tot een toename van de waterefficiëntie in de sector. De bedrijfsvoering in de glastuinbouw is overgegaan van een situatie waarin het drainwater geloosd werd, naar een situatie waarbij het water zo lang mogelijk in de kas wordt gehouden. Zo wordt het gietwater dat door de planten niet wordt opgenomen, het drainwater, verzameld en hergebruikt in de teelt. Daartoe wordt het opgevangen, verzameld, gefilterd, ontsmet, opgeslagen, gemengd met vers water en gevoed met meststoffen. Water en meststoffen worden hergebruikt, wat een kostenbesparing op kan leveren.

Naast hergebruik van water zorgt recirculatie er echter ook voor dat stoffen, die niet (geheel) door planten worden opgenomen, zich gaan ophopen in het water. Daarbij kunnen concentraties van stoffen die de plantgroei nadelig beïnvloeden, zoals natrium, oplopen tot een onwenselijk niveau. Daarnaast neemt door de langere verblijftijd van het water in het systeem ook de kans toe dat zich ziekteverwekkers ontwikkelen en ophopen of dat biologische groei, en daardoor verstopping, optreedt in het watersysteem. Recirculatie is dus alleen duurzaam toe te passen als bewaakt wordt dat het water ook blijft voldoen aan de eisen van goed en gezond gietwater. Het is dus essentieel om bij recirculatie de kwaliteit van het gietwater goed te bewaken zodat problemen die de teelt of het watersysteem kunnen verstoren vroegtijdig worden onderkend en om in te kunnen grijpen voordat waterkwaliteitsvermindering zich tot een daadwerkelijk probleem ontwikkelt.

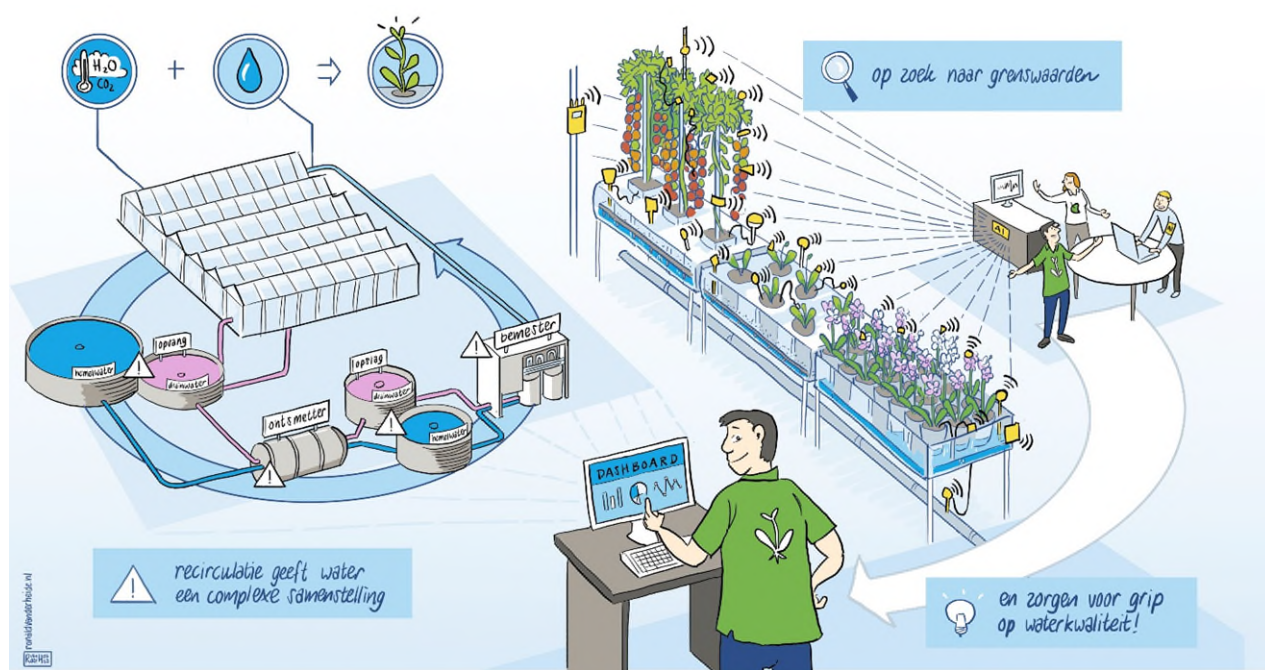
Het effect op de teelt van de aanwezige stoffen in combinatie met de verschillende microbiële processen in diverse compartimenten van het watersysteem is grotendeels onbekend. Waar voorheen de waterkwaliteit werd gezien als de aan-, of afwezigheid van nutriënten, leidt toenemend gebruik van recirculatie tot een verschuiving in het bewustzijn; niet alleen nutriënten maar de complexe samenstelling van het water is van belang. Hierbij gaat het om het samenspel tussen nutriënten, gewasbeschermings-, rem-, ontsmettingsmiddelen, organische stoffen, en diverse microbiologische parameters, waaronder de aanwezigheid van ziekteverwekkers en plagen. Voor het goed beheersen van het gietwatersysteem is het essentieel om te kunnen bepalen of de waterkwaliteit goed of slecht is met het oog op plantprestaties en het operationeel houden van het watersysteem. Daarom is vanuit de sector de vraag om meer en snel inzicht te krijgen in de waterkwaliteit en bijbehorende waterparameters met stuurmogelijkheden gericht op een gezonde en veilige teelt, vergelijkbaar met de al bestaande klimaatcomputer voor klimaat en belichting.

Voor een snelle en autonome meting van waterkwaliteit kan gebruikt gemaakt worden van waterkwaliteitssensoren. Er is een breed scala van zulke sensoren beschikbaar, en verschillende ervan zijn ook al ingezet of getest voor toepassing in de glastuinbouw (bijv. project TKI TU18084 – Waterkwaliteit Snel in Beeld). Dit laat zien dat sensoren weliswaar informatie over de watersamenstelling leveren, maar dat geen enkele individuele sensor kan beoordelen of gietwater een goede kwaliteit heeft. Dit komt omdat het totaal aan parameters bepaalt of de waterkwaliteit voldoende is om bedrijfszeker te worden hergebruikt, en veel van deze parameters niet met sensoren te meten zijn en geen enkele sensor de verschillende parameters met elkaar kan verbinden. Wel is bekend uit andere sectoren dat het mogelijk is om met combinaties van sensoren een ‘vingerafdruk’ van het water te meten en zo de waterkwaliteit te modelleren. Met een dergelijk model kan het mogelijk zijn uitspraken te doen over waterkwaliteit die op basis van de individuele sensoren niet mogelijk zouden zijn.

1.2 Projectdoelstelling

Het project Grenswaarden Waterkwaliteit had als doel om te onderzoeken of het mogelijk is om op basis van een combinatie van waterkwaliteits-, plant- en klimaatsensoren te komen tot een beslissingsondersteunend meetsysteem waarin op basis van het monitoren van de waterkwaliteits-vingerafdruk aanwijzingen voor (bij)sturing van het recirculatieproces en waterbehandeling kunnen worden gegeven op basis van een set grenswaarden (figuur 1). Daartoe was de doelstelling van het project om te komen tot een gebruikersvriendelijk beslissingsondersteunend systeem (dashboard) waarmee de eindgebruiker (tuinder) aan de hand van meetwaarden en grenswaarden inzicht heeft in de waterkwaliteit en ondersteuning krijgt bij de aansturing van recirculatie en waterbehandeling.

Daarnaast had het project ook als doelstelling om inzicht te verkrijgen in de toegevoegde waarde van sensoren voor waterkwaliteit, plantprestaties en klimaat die individueel of gezamenlijk gebruikt kunnen worden voor het informeren van eindgebruikers over recirculatieprocessen en waterbehandeling. Als onderdeel daarvan zijn vooraf twee specifieke aandachtspunten vastgelegd in de projectdoelstellingen, te weten: 1) het ontwikkelen van een sensor ter vervanging van kiemgetal als parameter voor microbiologische kwaliteit van gietwater en 2) het verkrijgen van de toegevoegde waarde van Next Generation Sequencing (NGS) bij het in kaart brengen van microbiologie, zowel gewenste als ongewenste organismen, in het watersysteem in de kas.



Figuur 1: De doelstelling van het project Grenswaarden Waterkwaliteit schematisch weergegeven.

1.3 Leeswijzer

In dit rapport zijn de vinden:

- een korte samenvatting van de gevolgde aanpak (hoofdstuk 2)
- de belangrijkste conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 3)

Verdere details over de resultaten uit het project zijn in deelrapporten beschreven:

- Kaarsemaker, R. en Bardak, A. "Verslag Klimaatcel Proef 1 - De invloed van de waterkwaliteit op de groei van tomatenplanten", SCFF Rapport nr. S20220001- 3, 2025
- Kaarsemaker, R. en Bardak, A. "Verslag Klimaatcel Proef 2 - De invloed van de waterkwaliteit op de groei van tomatenplanten", SCFF Rapport nr. S20220001- 4, 2025
- Kaarsemaker, R. en Bardak, A. "Verslag Klimaatcel Proef 3 - De invloed van de waterkwaliteit op de groei van phalaenopsis", SCFF Rapport nr. S20220001- 5, 2025
- Draaijer, A. en Wilk V. "Project Waterkwaliteit snel in beeld - de Water Kwaliteit meetkasten, Resultaten Plant proeven bij Normec Groen Agro Control, Tomaat en Phalaenopsis", Sendot rapport d.d. 17-4-2025
- Tian, X.; Zeidan, M.; Riyadh, A.; Torello, M.; Kaarsemaker, R. en Van den Broeke, J. "Grenswaarden Waterkwaliteit - Voorspellen van plantprestaties op basis van online waterkwaliteitsmetingen", KWR 2025.022, 2025.
- Van der Waals, M. " Microbiologische kwaliteit in watersystemen van tuinbouwkassen", KWR 2025.023, 2025.

Deze rapporten zijn te vinden op de volgende webpagina's:

- <https://www.tkiwatertechnologie.nl/projecten/automatische-aansturing-waterkwaliteit-voor-goed-recirculatiewater-glastuinbouw/>
- https://www.glastuinbouwwaterproof.nl/onderzoeken/grenswaarden-waterkwaliteit/#_
- <https://library.kwrwater.nl/en/>

2 Samenvatting Projectaanpak

2.1 Aanpak

Voor het project was oorspronkelijk een aanpak in drie fasen voorzien:

- Fase 1: selectie van toe te passen sensoren, het installeren en inrichten van het integrale meetsysteem en het verzamelen van praktijkgegevens met dit meetsysteem. Dit meetsysteem bestaat uit sensoren die hoogfrequent water-, klimaat- en plantgegevens verzamelen en deze allemaal naar een centrale database doorsturen. De gegevens worden verzameld voor verschillende teelten (tomaat, phalaenopsis, opkweek van zaadgoed) op praktijklocaties. Naast de sensorische metingen worden ook discontinue metingen uitgevoerd, zoals gewas-fysiologische metingen en microbiologische parameters (ATP, koloniegetal, NGS).
- Fase 2: De verzamelde meetgegevens worden geïnterpreteerd, grenswaarden en stuurparameters worden afgeleid met behulp van kunstmatige intelligentie en het geheel wordt in een dashboard samengebracht.
- Fase 3: het ontwikkelde instrumentarium wordt in een praktijkomgeving getest, gevalideerd en gedemonstreerd.

Bij de uitvoering van het project is deze aanpak gewijzigd op basis van de ervaringen die zijn opgedaan en de praktische vereisten van het onderzoek. Hieronder is kort weergegeven hoe de projectaanpak er in de praktijk uit heeft gezien en de redenen achter de aanpassingen die zijn gedaan.

2.2 Jaar 1 - Inregelen meetsysteem

Bij de aanvang van het project is gekozen om een zeer uitgebreide set aan parameters met sensoren te monitoren. Om ervaring op te doen met de operationele aspecten van de installatie, dataverzameling en overdracht en onderhoud, is gekozen om in jaar 1 van het project het meetsysteem te installeren bij Tomatoworld. Dit had als bijkomend voordeel dat er ook enige ruimte was om te variëren met de irrigatie van de planten. Er werd gekozen voor de zeer uitgebreide set aan sensoren, omdat dit een zo compleet mogelijke dataset zou genereren, en omdat dit de mogelijkheid zou bieden om de toegevoegde waarde van verschillende, deels innovatieve, sensoren voor water- en plantparameters te kunnen bestuderen. Een totaaloverzicht van de geïnstalleerde sensoren is te vinden in Tabel 1. Voorbeelden van de installatie van de sensoren worden gegeven in Figuur 2.



Figuur 2: Voorbeelden van sensorinstallaties bij Tomatoworld in 2022. Van links naar rechts: Sendot mobiele waterkwaliteitsmeetopstelling, Gremont Trutina plantgewichtmeting, Sendot Leafclip fotosynthesesensor.

Tabel 1: Overzicht van in jaar 1 bij Tomatoworld geïnstalleerde sensoren.

Sensor (leverancier)	Gemeten grootheid	Aantal sensoren geplaatst
SnelWaterKwaliteit-unit (Sendot)	Waterkwaliteit: pH, EC, redoxpotentieel, temperatuur, opgelost zuurstof, UV-fluorescentie, algen, troebelheid, zuurstofverbruik	1*
Fotosynthese-sensor (Sendot)	Fotosynthese-efficiëntie, fotosynthetisch actieve straling	3
PhytSigns (Vivent Biosignals)	Plant biosignalen	3
PhytoClip Leaf (2Grow)	Bladdikte	4
PhytoStem (2Grow)	Stengeldikte, sapstroom	12
Planttemperatuur	Temperatuur	2
Teros 12 (METER)	EC, watergehalte en temperatuur in substraat	3
Trutina (Gremont Systems)	Plantgewicht	2
CARA MET (SenseNL)	EC, watergehalte en temperatuur in substraat	6
Aquabalance (Hogendoorn Growth Management)	Gewicht substraat, drainvolume	1
Pyranoladder	Fotosynthetisch actieve straling	1
Pyranometer (Kipp & Zonen)	Netto inkomende straling	1
Pyrgeometer	Netto uitgaande straling	1
PAR sensor	fotosynthetisch actieve straling	2
Zuurstofsensor (Sendot)	Zuurstofgehalte in substraat	3
Aspirator Box	luchttemperatuur, luchtvochtigheid	3
Gearsense (Gearbox Innovations)	beeldanalyse	1
Themoview 48	warmtebeeldcamera	1

*: in jaar 2 zijn 2 aanvullende meetopstellingen geleverd

Zoals uit tabel 1 valt op te maken, is een groot en divers aantal sensoren geselecteerd. De meetgegevens die deze sensoren verzamelen werden centraal opgeslagen in het MyLetsGrow platform van Letsgrow.com. Hoewel het eerste jaar was voorzien voor het verzamelen van een dataset uit een praktijkomgeving, die als basis voor het ontwikkelen van grenswaarden en stuurparameters zou dienen, bleek het volledige eerste jaar nodig om alle sensoren ingeregeld te krijgen (installatie, onderhoud, dataoverdracht naar MyLetsGrow). In augustus en september zijn wel variaties uitgevoerd in de irrigatiestrategie (verandering van watergift en toedienen met nanobubbles verrijkt water), om te onderzoeken of dit tot meetbare veranderingen in de sensorrespons (waterkwaliteit, plantrespons) zou leiden.

Na analyse van de dataset uit het eerste jaar moest geconcludeerd worden dat er te veel ontbrekende en onbetrouwbare gegevens waren om deze te gebruiken voor het ontwikkelen van het beschrijvende model zoals voorzien in fase 2.

2.3 Jaar 2 - Metingen op praktijklocaties

Omdat de dataset uit het eerste jaar onvoldoende kwaliteit had om als basis voor modelontwikkeling te dienen, werd besloten om jaar 2 te gebruiken voor het verzamelen van datasets van voldoende kwaliteit. Daarbij is ingezet op het verzamelen van datasets bij drie bedrijven, ieder met een andere teelt. De beschikbare sensoren werden verdeeld over deze bedrijven, zodat bij ieder bedrijf in ieder geval de parameters weergegeven in tabel 2 gemeten konden worden. De meetsystemen werden geplaatst op de volgende locatie:

- Tomatoworld (teelt: tomaat)

- Levo Plant (teelt: phalaenopsis)
- Van Geest (teelt: opkweek komkommer, opkweek gerbera)

Tabel 2: Overzicht van sensoren ingezet op alle meetlocaties in jaar 2.

Sensor (leverancier)	Gemeten grootheid
SnelWaterKwaliteit-unit (Sendot)	Waterkwaliteit: pH, EC, redoxpotentieel, temperatuur, opgelost zuurstof, UV-fluorescentie, algen, troebelheid, zuurstofverbruik
Fotosynthese-sensor (Sendot)	Fotosynthese-efficiëntie, fotosynthetisch actieve straling
PhytSigns (Vivent Biosignals)	Plant biosignalen
PhytoClip Leaf (2Grow)	Bladdikte
PhytoStem (2Grow)	Stengeldikte, sapstroom
Planttemperatuur	Temperatuur
Teros 12 (METER)	EC, watergehalte en temperatuur in substraat
Pyranometer (Kipp & Zonen)	Netto inkomende straling
Pyrgeometer	Netto uitgaande straling
Zuurstofsensor (Sendot)	Zuurstofgehalte in substraat
Aspirator Box	luchttemperatuur, luchtvochtigheid

Op basis van de in jaar 1 geleerde lessen werd verwacht dat het installeren en opstarten van de meetsystemen gemakkelijker zou verlopen. Er werd tijdig gestart met het installeren van de sensoren, en het functioneren werd getoetst voor het begin van de meetcampagnes. Op alle drie de locaties werd in januari/februari 2023 gestart met de meetcampagnes. De volgende knelpunten werden ondervonden:

- De SnelWaterKwaliteit module die bij Tomatoworld ingezet zou worden was pas einde mei beschikbaar.
- In de SnelWaterKwaliteit modules werd een sterke vervuiling van sensoren en meetkamer waargenomen, die de metingen verstoorde. Om dit te verhelpen werd een automatische reiniging toegevoegd aan de modules.
- Het controleren en downloaden van de datasets in /vanuit MyLetsGrow bleef problemen veroorzaken, waardoor geen actuele controle van de systemen mogelijk bleek. Data was pas laat (einde 2024) als volledige dataset beschikbaar voor modelontwikkeling.

Een eerste analyse van de datasets uit 2022 en 2023 liet zien dat er geen duidelijke aanwijzingen waren voor stress in de planten. Dit viel af te leiden uit het uitblijven van grote variaties in onder meer de metingen van de fotosynthese-efficiëntie (bepaald door het meten van Electron Transfer Rate, ofwel ETR) en de Plant Balance Index (PBI), een maat voor plantstress. Het ontbreken van duidelijke aanwijzingen voor stress was waarschijnlijk het gevolg van het meten onder reguliere operationele omstandigheden waarbij de waterkwaliteit niet actief verslechterd werd. Dit om uitval van opbrengst te vermijden in de gemonitorde teelten. De hypothese die aan deze benadering ten grondslag lag, is dat op natuurlijke wijze voldoende variatie in de teeltomstandigheden plaats zou vinden om de relatie tussen waterkwaliteit en plantprestaties vast te stellen. Door de beperkte variaties die zichtbaar waren, werd onzeker of deze vooraf gestelde hypothese klopte. Het gevolg was dat hierdoor geen causaal verband kon worden gelegd tussen plantprestaties en waterkwaliteit.

Om een model voor sturing te kunnen maken is het nodig om naast 'goede' waterkwaliteit ook 'slechte' kwaliteit aan planten aan te bieden om zo stress in planten te veroorzaken. Daarom is in jaar 2 ook onderzocht naar een mogelijkheid om gietwater van 'slechte' kwaliteit te creëren en naar een manier om het effect daarvan te monitoren. Hiertoe werd de volgende hypothese geformuleerd: (na)groei van micro-organismen in gerecirculeerd gietwater is de belangrijkste factor die de kwaliteit beïnvloed. Daarbij werd ook verondersteld dat in een praktijksituatie bij recirculatie na ontsmetting microbiële nagroei optreedt die een verslechtering van de waterkwaliteit veroorzaakt. De chemische samenstelling, die gedomineerd wordt door nutriënten, wordt daarbij als

minder relevant beoordeeld, omdat deze actief wordt gereguleerd door het doseren van voeding en daar dus minder variaties in optreden.

In de tweede helft van jaar 2 zijn laboratoriumexperimenten uitgevoerd om te achterhalen of een verandering plaatsvindt in de aanwezigheid van micro-organismen wanneer water in het watersysteem van een opkweek- of teeltbedrijf verblijft. Dit is gedaan door watermonsters te verzamelen op drie bedrijven en meerdere locaties in het watersysteem (drainopvang teelt, verzamelbassin drainwater, schoon gietwater) en de ontwikkeling van de microbiologie te volgen door het zuurstofverbruik in de watermonsters te meten. Deze experimenten bevestigen dat een verandering plaatsvindt in de microbiologische populatie tijdens het verouderen van het water; het zuurstofverbruik neemt de eerste dagen toe in alle experimenten, om na 3-4 dagen af te nemen.

2.4 Jaar 3 – metingen in klimaatkamer met verschillende waterkwaliteiten

Op basis van de resultaten van de laboratoriumexperimenten met het verouderen van water, werd besloten om het derde jaar te gebruiken om proeven onder gecontroleerde omstandigheden uit te voeren, waarbij de enige variabele de waterkwaliteit was.

In jaar 3, zijn drie proeven uitgevoerd in een klimaatkamer bij Normec (Delfgauw). In de eerste en tweede proef werden tomatenplanten gerangschikt in drie behandelingsgroepen (A, B en C) en geïrrigeerd met drie verschillende waterkwaliteiten. De behandelingsgroepen betroffen:

- Behandeling A (Referentie): regenwater van een tomatenproductiebedrijf waaraan voedingsoplossing is toegevoegd, en waarop geen beluchting werd toegepast.
- Behandeling B: een mengsel van 10% hergebruikt water, 45% hergebruikt gedesinfecteerd water en 45% regenwater, en waarop geen beluchting werd toegepast.
- Behandeling C: Hetzelfde als behandeling B, maar met Agrona nanobubble-beluchting.

Door de toevoeging van een voedingsoplossing hadden alle drie de watertypen dezelfde nutriëntensamenstelling. Alle drie de watertypen werden enkele weken gebruikt, waardoor ontwikkeling van de microbiologische populatie kon plaatsvinden. Dit laatste is, volgens eerder beschreven hypothese, de primaire factor die bepaald of water van goede of slechte kwaliteit is. Als maat voor de ontwikkeling van de microbiologie in het gietwater werd het zuurstofverbruik gemonitord met behulp van een discontinue sensorische meting. Er is gefocust op zuurstofverbruik, omdat dit de enige parameter was voor microbiologische activiteit die met de beschikbare sensoren te meten is. Hoewel daadwerkelijke recirculatie, zoals in de praktijk gebruikelijk is, om technische redenen niet mogelijk was in de proef in de klimaatkamer, is de praktijksituatie nagebootst door de maximale hoeveelheid drainwater, opgehaald bij teeltbedrijven waar gerecirculeerd wordt, te gebruiken bij het aanmaken van het gietwater en het gietwater tweewekelijks opnieuw aan te maken.

De indicatoren voor plantprestaties en -stress, te weten PBI en fotosynthese-efficiëntie, werden in alle drie de plantgroepen met sensoren gevolgd. Ook werden vers- en drooggewichten van planten bepaald om de invloed van de waterkwaliteit op hun ontwikkeling vast te stellen.

Bovenstaande proef werd ook eenmalig uitgevoerd met *Phalaenopsis* planten. Daarbij waren behandeling A en C hetzelfde als hierboven beschreven, terwijl behandeling B het volgende betrof:

- Behandeling B: een mengsel van 10% hergebruikt water, 63% hergebruikt gedesinfecteerd water en 27% regenwater waaraan voedingsoplossing is toegevoegd, en waarop geen beluchting werd toegepast.

De resultaten van deze experimenten bevestigen dat zuurstofgehalte en zuurstofverbruik belangrijke parameters zijn, en dat hogere zuurstofbeschikbaarheid een positief effect heeft op prestaties van tomaten en *Phalaenopsis*.

2.5 Jaar 3 – data-analyse

Door de late beschikbaarheid van de meetgegevens, die pas in de loop van het derde jaar beschikbaar kwamen, is pas in dit laatste jaar gestart met het modelleren. Daardoor was het niet mogelijk om de initieel geplande derde projectfase uit te voeren, waarin het ontwikkelde model een heel seizoen in de praktijk toegepast zou worden en op basis van ervaringen gevalideerd zou worden. In plaats daarvan is gebruikgemaakt van een generieke aanpak, waarbij een voorspellend model wordt ontwikkeld aan de hand van een deelverzameling van de verzamelde meetgegevens. Vervolgens wordt de nauwkeurigheid van het model gevalideerd door het toe te passen op een tweede deelverzameling van de verzamelde meetgegevens om zo het voorspellend vermogen te toetsen. Voor de klimaatcelproeven zijn analyses uitgevoerd met lineaire regressie waarbij een inschatting gemaakt is van zuurstofverbruik en zuurstofconcentratie van het gietwater op de fotosynthese-efficiëntie en de plant balans index (PBI).

3 Belangrijkste bevindingen, conclusies en aanbevelingen

3.1 Waterkwaliteit

Dit project heeft zich primair gericht op invloed van de waterkwaliteit op de plantopbrengst. De conclusie na afloop van dit project dat het erg moeilijk is om te bepalen wat onder goede of slechte waterkwaliteit wordt verstaan. De volgende conclusies kunnen worden getrokken uit het uitgevoerde werk:

- Zuurstofverbruik en zuurstofgehalte in het gietwater zijn van invloed zijn op de plantprestatie van tomaten en Phaleanopsis. Een hoger zuurstofgehalte is positief voor de plantprestaties. Een hoger zuurstofverbruik zorgt voor een snellere afname van het zuurstofgehalte in het water na gieten, en heeft daarom een negatieve invloed. Hoewel plantgezondheid pas in het geding komt bij ernstige mate van zuurstofgebrek.
- Omdat bij verlaagde zuurstofconcentraties niet direct schade optreedt, maar wel een verschil te zien is in plantprestaties (bijvoorbeeld fotosynthese-efficiëntie), kunnen deze parameters worden gebruikt als signaal dat de omstandigheden in het substraat niet meer optimaal zijn. Dit wordt gesignaleerd voordat planten ziek worden, zodat al actie ondernomen kan worden voordat planten aangetast worden.
- Andere kwaliteitskenmerken van de waterkwaliteit zijn onderzocht, maar hadden in de context van dit onderzoek geen aantoonbare relatie met plantprestaties. Daarom is de focus in het project komen te liggen op zuurstofverbruik en zuurstofgehalte.
- Er is niet onderzocht welke toxische stoffen ophopen als gevolg van recirculatie.
- De plantgezondheid kan via de microbiologische weg op twee manieren aangetast worden:
 1. Zuurstofverbruik door aanwezige microorganismen.
 2. Via aanwezige pathogene schimmels en bacteriën.

De wens van telers was om de ontwikkeling van pathogene in vroeg stadium te detecteren. Met de toegepaste sensoren zijn deze echter niet in een vroeg stadium te detecteren. Zie ook hieronder de bevindingen in relatie tot microbiologische methoden (sectie 3.5). In het rapport nr. 2020 - S20180062 (Waterkwaliteit Snel in Beeld Real time metingen voor waterkwaliteit in opkweek en teelt) is eerder geconcludeerd dat de toegepaste sensoren mogelijk wel een indicatie voor de microbiële toestand van het gietwater zouden kunnen geven. Dat kon in dit project - Grenswaarden Waterkwaliteit - dus niet gereproduceerd worden.

- Voor het bepalen van zuurstofverbruik, als vervanging van de kiemgetalmeting in het laboratorium, is een doorontwikkeling van een sensor van Sendot onderzocht. Onder praktijkomstandigheden bleek deze sensor onvoldoende betrouwbaar te functioneren om een correlatie met kiemgetal-gegevens te kunnen bepalen.

3.2 Metingen waterkwaliteit en plantprestaties

In het project Grenswaarden Waterkwaliteit is met een groot aantal sensoren gewerkt om data te verzamelen over waterkwaliteit, plantprestaties en klimaatomstandigheden. Algemene conclusies en aanbevelingen op basis van het project hierover zijn.:

- In het project is een combinatie van waterkwaliteitssensoren, klimaatsensoren en sensoren voor plantprestaties ingezet om volautomatisch (24/7) en met hoge frequentie (iedere 5 – 30 minuten)

metingen te verrichten. Met deze sensoren zijn met succes grote hoeveelheden meetgegevens verzameld in verschillende teelten (tomaat, phalaenopsis, opkweek tomaten en komkommer).

- Met behulp van de pH, zuurstof en geleidbaarheidssensoren was het mogelijk om op een aantal van de proeflocaties direct operationele problemen waar te nemen (bijv. te lage zuurstofconcentraties in silo met ontsmet water en een niet goed functionerende ontsmetter) die niet gedetecteerd zouden zijn zonder de sensorische metingen.
- Om de relatie tussen waterkwaliteit en plantprestaties te kunnen bepalen, was het nodig om ook plantprestaties met sensoren te kunnen meten. Daarvoor werden uit de beschikbare sensoren de volgende metingen geselecteerd:
 - Fotosynthese-efficiëntie (in de vorm van Electron Transfer Rate, ofwel ETR)
 - Plant balance index (PBI, bepaald door het meten van elektrofysiologische signalen in een plant)Met beide sensoren konden duidelijk de reacties van planten op parameters zoals lichtintensiteit worden gemeten.
- De PBI-meting van Vivent Biosignals leverde data van hoge kwaliteit. Bij de sensoren voor fotosynthese-efficiëntie (Sendot) was de positionering van de sensoren erg kritisch. Zo moesten deze tijdens de groei van bijv. tomatenplanten verplaatst worden. Dit leidde er toe dat de sensoren technisch weliswaar goed functioneerden, maar dat de datakwaliteit niet altijd goed was. Daarom kon de fotosynthese-efficiëntie niet worden gebruikt in de vervolganalyse voor het ontwikkelen van tijdreeksmodellen.¹ Wel was het mogelijk om de meetwaarden voor fotosynthese-efficiëntie achteraf handmatig te corrigeren (normalisatie) waardoor de resultaten toch een indicatie geven voor de plantprestaties. Bij deze normalisatie wordt de gemeten fotosynthese-efficiëntie gecorrigeerd voor het gemeten lichtniveau bij de sensor door te extrapoleren naar een lichtniveau van 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.
- Hoewel gekozen is voor de inzet van commercieel beschikbaar (volwassen) sensoren, was het inregelen van het meetsysteem een langdurig en tijdrovend proces. De volgende zaken werden onderschat:
 - Onderhoud van (waterkwaliteits)sensoren. In het bijzonder biofouling in de SnelWaterKwaliteit unit van Sendot vormde een probleem. Daarom is een nieuwe functie ontwikkeld om de sensoropstelling automatisch dagelijks schoon te maken, waarmee de ontwikkeling van biofouling onder controle werd gebracht.
 - Koppeling van sensoren aan het centrale dataplatform van Letsgrow.com was tijdrovend. Voor een aantal van de geselecteerde sensoren was bij de start van het project geen communicatie mogelijk met MyLetsGrow waardoor de meetresultaten niet opgeslagen konden worden. Ook bleek MyLetsGrow niet geschikt om het grote aantal sensoren op een overzichtelijke manier weer te geven. Daarnaast was de verzamelde hoeveelheid meetgegevens zo groot dat het downloaden uit MyLetsGrow niet werkte. In de loop van het project zijn hier succesvolle oplossingen voor ontwikkeld, maar dit leidde tot vertraging in de uitvoering van het project.
- Het is essentieel om met alle kritische projectpartners voorafgaand aan een project grondig af te stemmen wat er van hen verwacht wordt en welke inspanning dit van hen verlangd. In dit project was dit vooraf onvoldoende gebeurd, waardoor er knelpunten waren op het gebied van verwachtingen, beschikbaarheid en communicatie. Dit werd versterkt door de hierboven genoemde onderschatting van de inregeling van het meetsysteem.
- Het meten van zuurstofverbruik met behulp van monsterbuizen met een zuurstofgevoelige coating (dots) is een eenvoudige manier om het zuurstofverbruik in water te bepalen. Door deze monsterbuizen volledig te vullen met water kan de zuurstofafname in de tijd eenvoudig gemeten worden. In eerste instantie bleek de reproduceerbaarheid aan de lage kant omdat de dots op de bolle kant van de meetbuis bevestigd waren. Door de meetdots op de platte onderkant van de meetbuizen te bevestigen, is de reproduceerbaarheid inmiddels sterk verbeterd. Details hierover zijn gerapporteerd in “Verslag Klimaatcel

¹ De datakwaliteit betreft hier de kwaliteit van de ruwe data verzameld door de sensoren en is geen oordeel over de toegevoegde waarde van ETR of PBI als meting voor het bepalen van plantprestaties.

Proef 1 - De invloed van de waterkwaliteit op de groei van tomatenplanten”, SCFF Rapport nr. S20220001-3, 2025. De methode is eenvoudige genoeg om door telers gebruikt te worden.

- De afname van het zuurstofgehalte in mg/l is afhankelijk van de beginconcentratie. Omdat het zuurstofgehalte exponentieel afneemt is beter om de relatieve afname te berekenen in plaats van de verandering in concentratie. Dit maakt het gemakkelijker om verschillende meetresultaten met elkaar te vergelijken.

3.3 Impact van waterkwaliteit op plantprestaties - tomaat

Op basis van experimenten met verschillende gietwaterkwaliteiten met tomaat in de klimaatcel van Normec Groen Agro Control worden de volgende conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan:

- In dit onderzoek is aangetoond dat het zuurstofgehalte en zuurstofverbruik van gietwater vooral bij een hoog vochtgehalte in het substraat de plantprestaties beïnvloeden. Dit is te verklaren doordat er bij vochtgehaltes boven de 90% zeer weinig aanvoer van zuurstof door middel van diffusie kan plaatsvinden in de steenwol. Bij vochtgehaltes van 90 tot 70% neemt de bijdrage van de zuurstofdiffusie aan de zuurstofbeschikbaarheid rechtlijnig toe en wordt de zuurstofverzadiging van het gietwater minder belangrijk. Aanbeveling is daarom om met vochtgehaltes van maximaal 90% te werken.
- In de twee uitgevoerde experimenten is een beter resultaat (fotosynthese-efficiëntie, plantgewicht) waargenomen bij de planten die werden geïrrigeerd met het gietwater dat met nanobubbles werd behandeld. In beide experimenten werd hetzelfde resultaat waargenomen: versgewicht en drooggewicht van planten geïrrigeerd met gietwater behandeld met nanobubbles waren gemiddeld 11% hoger dan dat van planten geïrrigeerd met water dat niet met nanobubbles werd behandeld.
- Het water dat werd belucht met nanobubbles liet een lager zuurstofverbruik zien dan water dat niet met nanobubbles werd behandeld. Water behandeld met nanobubbles resulteerde ook in de hoogste gemeten fotosynthese-efficiëntie.

3.4 Impact van de waterkwaliteit op de plant prestatie - phalaenopsis

In een proef met de opkweek van Phalaenopsis in de klimaatcel van Normec Groen Agro Control is onderzocht wat de invloed van de waterkwaliteit is op de groei van phalaenopsis. Op basis daarvan zijn de volgende conclusies en aanbevelingen tot stand gekomen:

- Beluchting met Agrona nanobubbles verhoogde het zuurstofgehalte tot ongeveer tweemaal de maximale verzadiging van water van 8,5 mg/l. Het zuurstofgehalte van beide onbeluchte behandelingen was gemiddeld 1,5 mg/l.
- Het zuurstofverbruik in onbelucht water varieerde behoorlijk. Het gemiddelde zuurstofverbruik in regenwater met voeding was 0,95 mg/l/uur, die van ontsmet drainwater met regenwater en voeding was met 1,07 mg/l uur een fractie hoger. Het zuurstofverbruik van met Agrona belucht ontsmet drainwater met regenwater en voeding was met 0,37 mg/l/uur aanzienlijk lager.
- Beluchting van water met Agrona nanobubbles zorgde voor een waarneembaar lager droge stofgehalte, van bladeren en wortels. Het drooggewicht van de planten was vergelijkbaar met de andere behandelingen. De plantgewichten van beide onbeluchte behandelingen verschilden niet van elkaar. De invloed van het zuurstofgehalte in het gietwater lijkt op basis van dit resultaat niet van grote invloed.
- De afname van het zuurstofgehalte bij hoge potgewichten bleek samen te hangen met de afname van de genormaliseerde fotosynthese-efficiëntie.
- Het substraat van phalaenopsis is veel luchtiger dan het steenwolsubstraat waarop de tomaten werden geteeld. Toch is bij toename van het potgewicht een 25% afname van het zuurstofgehalte waargenomen. Naar schatting resulteerde deze afname in een 6% lager rendement van de fotosynthese. Het is

aannemelijk dat een hoger zuurstofverbruik van het gietwater bij hogere potgewichten het zuurstofgehalte in de potten negatief beïnvloed.

3.5 Gebruik van microbiologische methoden voor het bepalen van waterkwaliteit

In het project Grenswaarden Waterkwaliteit is verkend wat de aanvullende waarde van het bepalen van de microbiologische waterkwaliteit, in het bijzonder van Next Generation Sequencing (NGS) van een klein deel van het 16S rRNA gen van bacteriën, kan zijn. Uit deze verkenning kan het volgende geconcludeerd worden:

- Met NGS werd aangetoond dat gietwater dat (deels) uit recirculatiewater bestaat een andere bacteriële samenstelling heeft dan gietwater dat uit regenwater is bereid.
- Binnen sommige gevonden bacteriegroepen komen soorten voor die groeibevorderend zijn voor de plant, maar ook soorten die plantpathogeen kunnen zijn. Met de toegepaste NGS-methode kan niet tot op soortniveau worden achterhaald welke bacteriën aanwezig zijn. Daarvoor is een andere, complexere en duurdere, variant van NGS nodig (waarmee de DNA-volgorde van het hele 16S rRNA gen wordt bepaald) die in het project niet is gebruikt.
- Er is geen verband gevonden tussen de bacteriële populatie in water en de gewasopbrengst, gemeten in drooggewicht en versgewicht. Dat betekent dat er geen negatieve effecten van het gebruik van ontsmet gerecirculeerd water zijn waargenomen.
- Bij de experimenten in de klimaatkamer bij NORMEC werden verschillende behandelingen toegepast. Recirculatie is nagebootst door de maximale hoeveelheid ontsmet drainwater, opgehaald bij teeltbedrijven, te gebruiken bij het aanmaken van het gietwater. Het was technisch niet mogelijk om in een dergelijke proef in de klimaatkamer het drainwater op een representatieve manier te ontsmetten en her te gebruiken. Bij deze nagebootste recirculatie waren kleine verschillen te zien tussen de bacteriële populatie in het gietwater en het drainwater en tussen het wel en niet met nanobubbles behandelde water. De verschillen in de microbiologische metingen waren echter te klein om hier een eenduidige conclusie aan te verbinden.
- Er is onderzocht of een relatie tussen sensordata (waterkwaliteit) en de actieve microbiële biomassa (ATP), koloniegetal bij 22°C (KG22) of NGS-analyses gevonden kan worden. Alleen in sommige gevallen is een zwakke relatie tussen Elektrische Geleidbaarheid (EC) en de bacteriesamenstelling (NGS-analyses) waargenomen. De betekenis hiervan is niet duidelijk.

Aanbevelingen:

- Er is geconstateerd dat van veel van de bacteriën in het tuinbouwwater het genoom nog niet beschreven is. Zelfs bij gebruik van volledige 16S rRNA genanalyse is de bruikbaarheid van de resultaten in dat geval beperkt. Het zou daarom allereerst waardevol zijn om op bacteriesoortniveau kennis te verzamelen over de functies van de bacteriën (bv pathogeen of plantgroeibevorderend) in het watersysteem in de kas. Zonder deze kennis heeft het in kaart brengen van aanwezige soorten maar beperkt toegevoegde waarde. Voor het bepalen van functies van bacteriën zijn andere technieken nodig dan in dit project gebruikt. Voorbeelden van zulke technieken zijn metagenoomanalyses en/of metatranscriptoom (RNA)-analyses.
- Met de toegepaste NGS methodiek was het niet mogelijk om de bacteriën tot soortniveau te karakteriseren. Het op soortniveau karakteriseren van de bacteriegemeenschap levert meer bruikbare informatie op, omdat daarmee ook duidelijk wordt of er bijvoorbeeld ziekteverwekkende soorten aanwezig zijn of soorten die de plantengroei stimuleren (onder voorwaarde dat daar voldoende kennis over is – zie punt hierboven). Met het sequencen van het volledige 16S rRNA gen kan die informatie wel worden verkregen. Voor toekomstig onderzoek wordt daarom aangeraden om gebruik te maken van 16S rRNA gensequencing.

- Voor het verkrijgen van een compleet beeld van de microbiologie in het watersysteem wordt aanbevolen om in toekomstige projecten ook NGS uit te voeren voor schimmels. Hiervoor dient het ITS-gen van schimmels te worden gesequencet.
- In het vervolg wordt aanbevolen om naast watermonsters ook rhizosfeermonsters te analyseren om te bepalen in hoeverre uitwisseling van stoffen en bacteriën plaatsvindt tussen de rhizosfeer en de waterfase.

3.6 Gebruik van kunstmatige intelligentie in de glastuinbouw

Het project Grenswaarden Waterkwaliteit had als doelstelling te onderzoeken of waterkwaliteit van gietwater met behulp van sensoren te bepalen is. Het achterliggende doel daarvan was het vroegtijdig kunnen herkennen van waterkwaliteit die een negatief effect op plantprestaties kan hebben, zodat er bijgestuurd kan worden. Om de bruikbaarheid van sensoren voor dit doel te onderzoeken is gebruik gemaakt van tijdreeksmodellen om de plantprestaties (in de vorm van met sensoren gemeten PBI) te voorspellen. Dergelijke modellen gebruiken de verzamelde sensordata (waterkwaliteit en omgevingsparameters) als input en voorspellen op basis daarvan de plantprestaties. Indien dit mogelijk is, is een voorspelde verslechtering van de plantprestaties een aanwijzing voor een waterkwaliteitsprobleem en kan er bijgestuurd worden. In dit project zijn de volgende conclusies getrokken over de inzet van sensoren en tijdreeksmodellen:

- Op basis van de in de klimaatkamer verzamelde meetgegevens was het mogelijk om een voorspellend model te maken voor de parameter Plant Balance Index (PBI; Vivent). Deze parameter kon met goede betrouwbaarheid tot 8 uur in de toekomst voorspeld worden. Bij het verkorten van de voorspelde periode tot 3 uur neemt de nauwkeurigheid verder toe. De parameters temperatuur, UV-fluorescentie en EC bleken daarbij de meest belangrijke inputparameters te zijn voor het model.
- Het huidige model zou toegepast kunnen worden om storing in het waterbehandelingssysteem, die een snelle verandering in waterkwaliteit veroorzaken, te detecteren. Te denken valt aan uitval van de ontsmetter. Voor het doel zoals gedefinieerd in dit project, namelijk het bepalen van waterkwaliteit en verandering daarin door recirculatie, is het model niet geschikt omdat het alleen korte termijn veranderingen voorspelt. Ook geeft het nog geen indicatie van de oorzaak van de verandering.
- Voor het ontwikkelen van (tijdreeks-)modellen is voldoende en continue data van hoge kwaliteit nodig. In dit project is ingezet op het gebruik van een groot aantal en veel verschillende sensoren om data te verzamelen. Dit vanuit de gedachte dat via data-analyse vervolgens de relevante sensoren geïdentificeerd zouden worden. De toepassing van het grote aantal sensoren maakte het project echter zeer complex. Dit had te maken met installatie en onderhoud van sensoren waarbij de verantwoordelijkheid was verdeeld over verschillende partijen. Daarnaast bleek het moeilijker dan verwacht om alle meetgegevens centraal te verzamelen en vervolgens op een bruikbare manier te exporteren. Dit had voorkomen kunnen worden door een selectievere keuze van te meten parameters, waardoor een minder complex meetsysteem was ontstaan.
- Voor het vinden van verbanden tussen oorzaak en effect is het werken onder gecontroleerde omstandigheden, waarin bewust veranderingen (bijv. slechte waterkwaliteit) worden aangebracht noodzakelijk. De omstandigheden in een operationele teeltomgeving laten een veelheid aan fluctuaties zien, bijv. in lichtintensiteit, temperatuur en bodemvocht, waardoor de impact van waterkwaliteit niet eenduidig vast te stellen was. De in eerste instantie gekozen benadering in dit project, waarbij alleen ingezet werd op het meten onder praktijkomstandigheden, bleek niet geschikt voor het ontwikkelen van het gezochte waterkwaliteitsmodel: de omgevingsparameters bleken een grotere impact te hebben op de plantprestaties dan de waterkwaliteit.
- Op basis van de verzamelde meetgegevens en het ontwikkelde model was het nog niet mogelijk om grenswaarden te definiëren voor waterkwaliteit. Ook is de verwachting dat meerdere factoren, waaronder lichtintensiteit, bodemvocht, etc., en waterkwaliteit niet los van elkaar bekeken kunnen worden, en er dus

geen sprake zal zijn van generieke grenswaarden voor waterkwaliteit. Deze zullen altijd afhankelijk zijn van een combinatie van omgevingsparameters.

- De integratie van real-time informatie over waterkwaliteit, fysiologische indicatoren voor planten en op AI gebaseerde voorspellende modellen biedt kansen voor proactief kasbeheer. De eerste resultaten met het tijdreeksmodel voor het voorspellen van PBI laat de potentie zien voor vroegtijdige detectie van omstandigheden die plantstress veroorzaken. Dit biedt perspectief voor verdere ontwikkeling van modellen die telers kunnen ondersteunen in waterbehandeling en irrigatie.