



Waterkwaliteit Snel in Beeld

Real time metingen voor waterkwaliteit in opkweek en teelt

Jolijn Bonnet¹, Ard Jan Grimbergen¹, Jolanda Korteland¹, Arie Draaijer³, André van der Wurff²

Rapport nr. 2020 - S20180062

¹ Stichting Control in Food & Flowers

² Groen Agro Control

³ Sendot Research



TOPSECTOR
TUINBOUW & UITGANGSMATERIALEN

stowa

Plantum

Stichting
Kennis in je Kas



**Glasuinbouw
Nederland**

morgen groeit vandaag



**CONTROL IN
FOOD & FLOWERS**

Samenvatting

Door toenemend waterhergebruik in de glastuinbouw is er een steeds grotere behoefte om snel informatie te krijgen over de waterkwaliteit, om in te kunnen grijpen in de water- en nutriëntvoorziening van de planten en de waterzuivering. Dit project richt zich op de ontwikkeling van hierop toegesneden meetmethodes en –concepten, waarmee de waterkwaliteit snel kan worden bijgestuurd. Randvoorwaarde was dat een opstelling gerealiseerd kon worden met bestaande sensoren en eenvoudig en op relatief korte termijn toe te passen in de praktijk.

Binnen dit onderzoek is hiervoor een eenvoudige mobiele opstelling ontworpen. De sensoren zijn afzonderlijk van elkaar getoetst. Vervolgens is de mobiele opstelling gebouwd en opnieuw getoetst. De ontworpen BOD (*biological oxygen demand*) v1 sensor, als schatter voor het aerobe kiemgetal, liet geen betrouwbare resultaten zien. De chlorofyl fluorescentie sensor was zeer gevoelig en de gemeten waarden correleerde goed met de toevoegde hoeveelheid algen. Zelfs bij een drooggewicht van 15 mg/l werd al een significante stijging gemeten. De pH sensor was gevoelig voor reinigingsmiddelen. Tijdens het reinigen moet daarom de pH sensor verwijderd worden. Vervolgens werd een nieuwe BOD v2 sensor ontworpen en gebouwd en opnieuw getoetst. Maar er werd geen relatie gevonden met een concentratie aan bacteriën. Bacteriën hebben invloed op het UV Fluorescentie signaal voor het bepalen van organische stof. Op een praktijklocatie voor opkweek van plantmateriaal zijn tweeëntwintig watermonsters geanalyseerd door de mobiele opstelling en door het laboratorium. De opstelling meet betrouwbaar in de praktijk, afgelezen aan de elektrische geleidbaarheid (EC) en de zuurgraad die zowel in de mobiele opstelling als in het laboratorium gemeten werden. Redox kan gebruikt worden als een schatter voor het Chemisch Zuurstof Verbruik, voor de aanwezige hoeveelheid bacteriën en daarmee een schatting voor de hoeveelheid *Fusarium* spp. Deze relatie wordt mogelijk verklaard doordat het redox potentiaal negatief gecorreleerd is aan de zuurgraad. Bacteriën en *Fusarium* groeien beter bij een lagere zuurgraad. Deze relatie is alleen geldig onder aerobe omstandigheden met een redox potentiaal tussen 100-350 mV. Hiervan kan de tuinbouw sector leren en de ORP een nieuwe plaats geven binnen het bestaande meetinstrumentarium. Op de praktijk locaties werd er weinig algen en troebel water aangetroffen. Verder onderzoek moet daarom uitwijzen of genoemde relaties betrouwbaar in de praktijk gebruikt kunnen worden. Er is een eerste ontwerp gemaakt voor een dashboard voor een schatting van de waterkwaliteit met bijbehorende grenswaarden.



Stichting Control in Food & Flowers

Distributieweg 1

2645 EG Delfgauw

T: +31(0) 15-2858124

E: info@stfoodandflowers.nl

KvK: 61916471

Auteur(s):	J. Bonnet, A. Grimbergen, J. Korteland, T Luijendijk, A.W.G. van der Wurff
Projectnummer:	2018 - S20180062
Datum:	17-09-2020
Titel Rapport:	Waterkwaliteit Snel in Beeld
Opdrachtgever:	Plantum, St. Kijk, STOWA 447.027, Groen Agro Control
Contactpersoon opdrachtgever:	Margreet Schoenmakers (Glastuinbouw Nederland)
Kernwoorden:	Water, recirculatie, waterkwaliteit, monitoring, real-time.

De Stichting Control in Food & Flowers aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm, elektronisch of op geluidsband of op welke andere wijze ook en evenmin in een retrieval systeem worden opgeslagen zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

Inhoud	pagina
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding, doel en urgentie voor de sector	5
1.2 State of the art	5
1.3 Waterkwaliteit en sensoren	6
2 Resultaten	8
2.1 Ontwerp mobiele opstelling	8
2.1.1 De Software	11
2.1.2 Resultaten losse sensoren	14
2.1.2.1 Geleidbaarheid Sensor:	14
2.1.2.2 ORP Sensor (Redox):	15
2.1.2.3 Troebelheid sensor:	15
2.1.2.4 Chlorofyl-Fluorescentie sensor	15
2.1.2.5 pH sensor	16
2.1.2.6 O2 sensor	16
2.1.2.7 UV fluorescentie sensor	16
2.1.2.8 O2 sensor voor zuurstofverbruik	17
2.1.3 Conclusie en discussie	17
2.2 Validatie mobiele opstelling	17
2.2.1 Chlorofyl Fluorescentie Meter	17
2.2.2 pH sensor	18
2.2.3 EC sensor	18
2.2.4 Troebelheid sensor	19
2.2.5 Zuurstof sensoren	20
2.2.6 Conclusies en discussie	23
2.3 Proef locatie Opkweek bedrijf	25
2.3.1 Materiaal & Methode	25
2.3.2 Conclusie en discussie	30
2.4 Extra validatie interacties tussen vier sensoren	31
2.4.1 Bacteriën	31
2.4.2 Bacteriën en algen	31
2.4.3 Effect van bacteriën, algen en troebelheid	33
2.4.4 Conclusie en discussie	34
2.5 Proef locatie praktijkbedrijf Potorchidee	35
2.5.1 Aanpak	35
2.5.2 Conclusie en discussie	36
3 Discussie	37
3.1 Functioneren mobiele opstelling	37
3.2 Meerwaarde voor de teelt	38
3.3 Eerste ontwerp dashboard	39
3.4 Praktijk ervaringen	39
3.5 Aanbevelingen	40
4 Dankwoord	42
5 Referenties	43

1 Inleiding

Door toenemend waterhergebruik in de glastuinbouw is er een steeds grotere behoefte om snel informatie te krijgen over de waterkwaliteit, om snel in te kunnen grijpen in de water- en nutriëntvoorziening van de planten en de waterzuivering. Dit project richt zich op de ontwikkeling van hierop toegesneden meetmethodes en –concepten, waarmee de waterkwaliteit tijdig kan worden bijgestuurd.

Dankzij verbeteringen in sensortechnologie worden sensoren kleiner en zijn er steeds meer parameters die snel en tegen relatief lage kosten gemeten kunnen worden. In dit project wordt daarom onderzocht of een aantal nieuwe parameters (chlorofyl, UV-fluorescentie, zuurstof, troebelheid, redox, geleidbaarheid) online gemeten kan worden om zo snel een beeld te krijgen van de waterkwaliteit (algen, organische stoffen, microbiologische activiteit, ionenbalans, effectiviteit reiniging).

1.1 Aanleiding, doel en urgentie voor de sector

De glastuinbouw maakt een overgang mee van een doorstroombedrijf (water in, water uit) naar een bedrijfsvoering waarbij het water zo lang mogelijk in de kas wordt gehouden. Dit stelt hogere eisen aan de hoeveelheid waterkwaliteitsinformatie en de snelheid waarmee deze beschikbaar is. Waar vroeger werd volstaan met een eenvoudige meting van de geleidbaarheid van het water, wil men nu meer weten over bepaalde ionen in het water, het organische-stofgehalte en de biologische activiteit van het water. Dit is nodig om te bepalen of de waterkwaliteit nog goed is en of de toegepaste waterzuivering adequaat is.

Waterkwaliteit is momenteel voor tuinders een ‘zwarte doos’: als er al iets gemeten wordt dan is het vaak alleen maar geleidbaarheid. Om beter zicht te krijgen op de waterkwaliteit is er een grote behoefte aan nieuwe methodes om de biologische en chemische waterkwaliteit te kunnen bepalen, om op basis hiervan de waterkwaliteit te kunnen bijsturen. Momenteel is er nog weinig monitoringstechnologie beschikbaar om tegemoet te komen aan deze behoefte, en als deze al bestaat dan betreft het zeer kostbare technologie of methodes die te langzaam zijn om hier in de praktijk mee te kunnen werken.

1.2 State of the art

Voor een aantal van waterkwaliteit parameters bestaan er sensoren of meetinstrumenten. Zo bestaan er monitoring systemen voor bacteriën zoals de BactControl van microLAN. Dit instrument geeft een bacterie getal elke ca. 60 minuten maar heeft een zeker mate aan onderhoud en reagentia. Ook de bekende Luciferase/ATP meting is als procesmeting duur en kostbaar in gebruik (Promega-WaterGlo). Er bestaat een instrument dat op basis van een zeer gevoelige brekingsindex meting als een soort *early warning* systeem afwijkingen in de waterkwaliteit kan meten maar in dit geval kan dat veroorzaakt worden door alle opgeloste componenten (Optisense, Optiqua). Dezelfde firma maakt ook meetsystemen gebaseerd op immuunrespons, die meer specifiek gemaakt kunnen worden bijvoorbeeld voor pesticide en herbicide residuen maar ook die zijn zeer kostbaar vereisen reagentia en hier speelt de vraag of deze methode werkt voor de complexe matrix van tuinbouwwater. Voor bepaling van de biologische waterkwaliteit is tot nu toe gebruik gemaakt van het koloniegetal: dit is een vaak gebruikte kweekmethode waarmee het aantal kolonievormende (=levende) micro-organismen in een bepaald volume water kan worden bepaald. Dit is een zeer robuuste test, die eigenlijk maar een nadeel kent, namelijk de tijd voordat het resultaat kan worden beoordeeld. Een typische bepaling van het koloniegetal duurt namelijk drie dagen, afhankelijk van de gebruikte voedingsbodem en incubatietemperatuur. Deze tijd is veel te lang, omdat in deze periode de teler niet weet of zijn desinfectie goed werkt, en mogelijke ziekteverwekkende micro-organismen in deze tijd het gewas verder kunnen aantasten. Dit is een voor de teler onzekere situatie, en daarom wordt het water vaak geloost, waardoor de emissie naar de omgeving juist toeneemt. Indien de teler snel had kunnen vaststellen dat zijn desinfectie installatie goed werkt, dan had hij dit water waarschijnlijk niet geloost. Hierdoor is het in de praktijk niet goed mogelijk om de waterkwaliteit bij te sturen op het moment dat dat nodig is. De laatste jaren zijn nieuwe sensoren in opkomst, waar ook in de tuinbouw steeds meer gebruik van wordt gemaakt, zoals ion-selectieve elektrodes en op fluorescentie

gebaseerde methodes. Mogelijk kunnen deze methodes ook toegepast worden om de biologische waterkwaliteit te bepalen, waardoor binnen een dag gereageerd kan worden op afwijkingen in de waterkwaliteit.

1.3 Waterkwaliteit en sensoren

Om een uitspraak te kunnen doen over waterkwaliteit, is het van belang om een onderscheid te maken tussen de verschillende aspecten van waterkwaliteit maar ook om te kijken naar waarop de waterkwaliteit van toepassing is. Voor tuinbouwbedrijven zijn de volgende waterkwaliteitsparameters van belang:

- Bacteriën
- Organische stof gehalte
- Zouten (Natrium/Kalium)
- Algen
- Gewasbeschermingsresiduen (*wordt niet meegenomen in dit onderzoek*)

Normaliter sturen tuinbouwbedrijven hun water samples naar analysebedrijven om deze en nog vele andere waterkwaliteitsparameters te kunnen meten. Daarnaast worden on site al een aantal simpele waterkwaliteitsparameters gemeten zoals EC en pH. Er is echter een behoefte om de genoemde parameters on-site en "real-time" te kunnen meten, om ook de effectiviteit van de waterzuivering te monitoren en sneller in te kunnen grijpen.

Voor een aantal van deze parameters bestaan er al sensoren en meetinstrumenten. Maar veel van deze oplossingen zijn moeilijk, te duur, in een experimenteel stadium en niet stabiel of niet geschikt. Zo bestaan er monitoring systemen voor bacteriën zoals de BactControl van microLAN (>20 kEuro). Dit instrument geeft een bacterie getal elke ca. 60 minuten maar heeft een zeker mate aan onderhoud en reagentia. Ook de bekende Luciferase/ATP meting is als procesmeting duur en kostbaar in gebruik (Promega-WaterGlo). Er bestaat een instrument dat op basis van een zeer gevoelige brekingsindex meting als een soort *early warning* systeem afwijkingen in de waterkwaliteit kan meten maar in dit geval kan dat veroorzaakt worden door alle opgeloste componenten (Optisense, Optiqua). Dezelfde firma maakt ook meetsystemen gebaseerd op immuunrespons, die meer specifiek gemaakt kunnen worden bijvoorbeeld voor pesticide en herbicide residuen maar ook die zijn zeer kostbaar vereisen reagentia en hier speelt de vraag of deze methode werkt voor de complexe matrix van tuinbouwwater.

Voorgesteld wordt om een aantal relatief simpele, bestaande meettechnieken te gebruiken om bovengenoemde waterkwaliteitsparameters te meten:

Algen

Met een chlorofyl fluorescentiemeting kan het chlorofyl in het concentratie gebied van <1 µg/l gemeten worden als een maat voor de hoeveelheid algen in het water.

Organische stof

Met UV fluorescentie kan organische belading/humuszuren (na filtratie) gemeten worden. Met deze techniek kan een ppm gevoeligheid gehaald worden voor humuszuren en werkt op basis van fluorescentie met excitatie bij 370 nm en emissie boven 400 nm.

Bacteriën

Voor deze meting is het enerzijds van belang te weten of het water zoveel organische stof bevat dat er potentieel veel bacteriën kunnen groeien (BZV, biologisch zuurstofverbruik) en anderzijds of er al veel bacteriën in het water zitten (kiemgetal). Voor de bepaling van het kiemgetal, het aantal bacteriën zou het zuurstofverbruik gemeten kunnen worden eventueel na een pre- concentratie stap al dan niet aangevuld met een modus waarbij groeimedium wordt toegevoegd aan een monsterstroom. Voor het BZV kunnen bacteriën worden toegevoegd aan water om dit biologische afbreekbaar organische stof te bepalen. Echter wellicht is een simpele methode waarbij water wordt stilgezet in een gedefinieerd volume en het zuurstofverbruik (BZV) wordt bepaald om een indruk te krijgen van beide parameters.

•Na⁺, K⁺, geleidbaarheid

Voor het meten van de geleidbaarheid zijn bestaande EC-meters beschikbaar en lijken geschikt als indicatieve meting. Om meer specifiek bepaalde ionen zoals Na⁺ en K⁺ zijn ion specifieke elektrodes beschikbaar, echter deze technologie is onvoldoende gebruiksvriendelijk en is in ieder geval moeilijk *online* te hanteren. Er zijn fluorescerende stoffen die specifiek en gevoelig zijn voor deze ionen maar hiervoor zou een sensor ontwikkeld moeten worden. Voor de ontwikkeling van een Na⁺ en K⁺ specifieke sensor op basis van fluorescente indicator moleculen kan in een later stadium een voorstel gemaakt worden. Hierbij wordt dan het bestaande Fluorescentie platform voorzien van een nieuw te ontwikkelen coating waarin de ion-specifieke kleurstoffen zijn gebonden. Het voordeel van deze aanpak is dat het meetplatform al bestaat.

Redoxpotentiaal (ORP)

Deze sensor zou interessant kunnen zijn om de effectiviteit van reinigingsmethoden met peroxide en ozon in beeld te kunnen brengen. Deze methode om de ontsmetting potentie te meten is meer een *window* dan een meet methode

Zouten

In eerste instantie kan een te bouwen meetopstelling worden voorzien van een EC meter.

Troebelheid meter

De te bouwen meetopstelling worden voorzien van een Sendot sensor voor het meten van de Troebelheid. Deze maat werkt op basis van verstrooiing. Deze meting is vaak ook aanwezig op de UV ontsmetter. Een extra meting na de ontsmetter of in de tuin kan extra informatie geven over de waterkwaliteit. De sensor meet de verstrooiing van het licht bij 630 nm. Een lichtgeleider met rood licht straalt in de oplossing en een tweede fiber, naast de belichtingsfiber kijkt naar de verstrooiing. Als er geen deeltjes in de oplossing zitten komt er geen licht terug, des te meer deeltjes des te meer licht wordt er verstrooid en des te meer licht wordt er gedetecteerd

Bacteriën

Voor het bepalen van bacteriën wordt voorgesteld een aftakking te maken in een leiding naar keuze en deze te vullen met proceswater, af te sluiten en het zuurstofverbruik (BZV) te meten door middel van optische zuurstof meettechnologie.

Voor de sensoren worden bestaande commerciële sensoren gebruikt. Het prototype wordt ontworpen aan de hand van de technische specificaties van betreffende materialen. Het eerste prototype meetopstelling wordt vervolgens gemaakt met "simpele middelen" om de kostprijs laag te houden, d.i. bestaande PVC waterafvoer materialen. Er wordt getoetst of er geen interactie is tussen de sensoren, de afstanden groot genoeg zijn i.v.m. interferentie en de geschiktheid pomp en kleppen en sluitstukken voldoen. Dit wordt getoetst met standaard water oplossing met nutriënten (pH, EC), organische stof, gewasbeschermingsmiddelen (standaard water, Van Ruijven et al. 2016) en opgekweekt algenmateriaal toegevoegd.

2 Resultaten

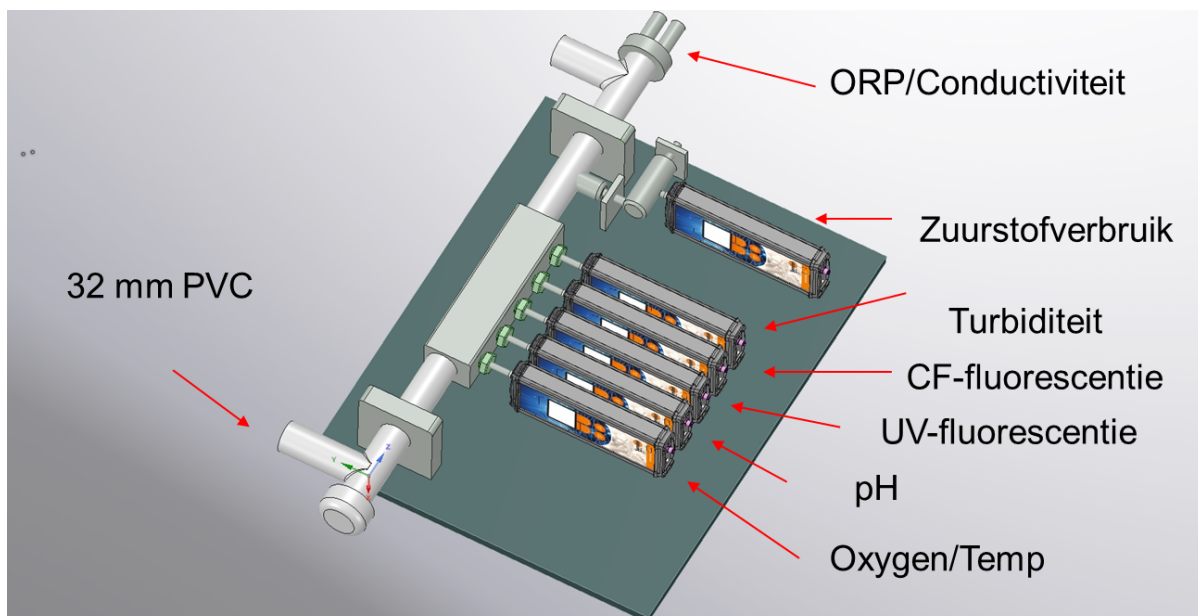
2.1 Ontwerp mobiele opstelling

Voor het project snel waterkwaliteit meten wordt een eenvoudige meetopstelling gerealiseerd die autonoom een aantal water kwaliteit gerelateerde parameters kan meten.

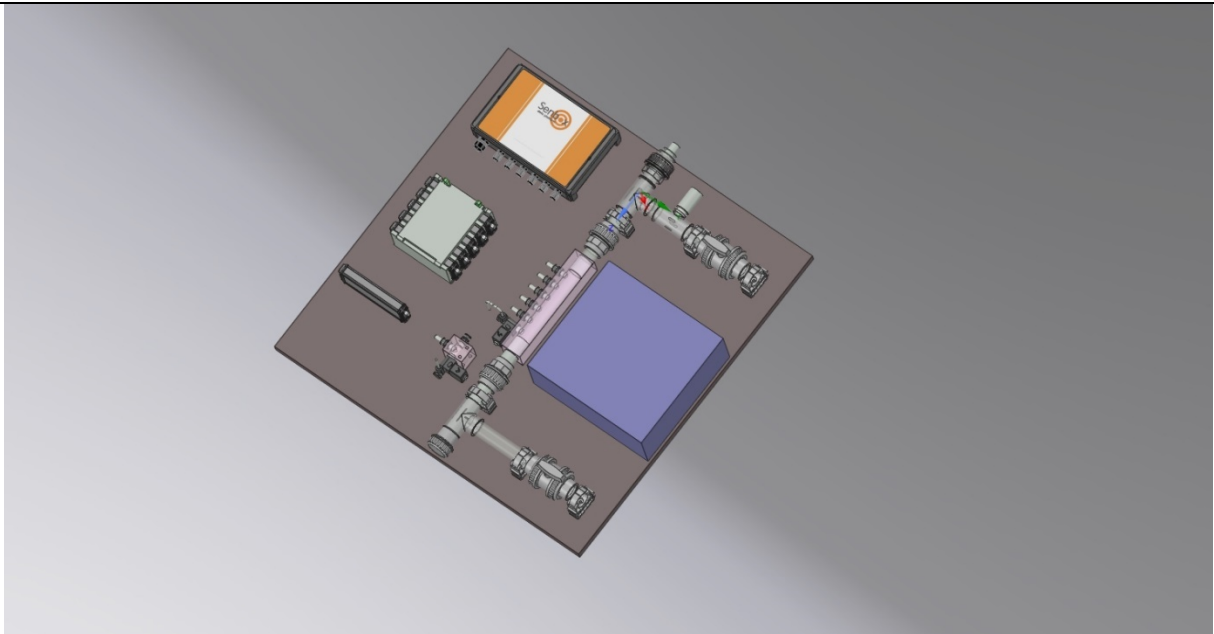
De volgende sensoren/systemen zullen worden ingebouwd in dit meetsysteem.

- pH sensor (pH)
- O₂/T sensor (O₂)
- UV fluorescentie sensor voor troebelheid (UV-F)
- Chlorofyl fluorescentie algensensor (Algen CF)
- Zuurstof verbruik meetsysteem (BOD, stopped flow)
- EC sensor (derden)
- ORP (redox) sensor (derden)

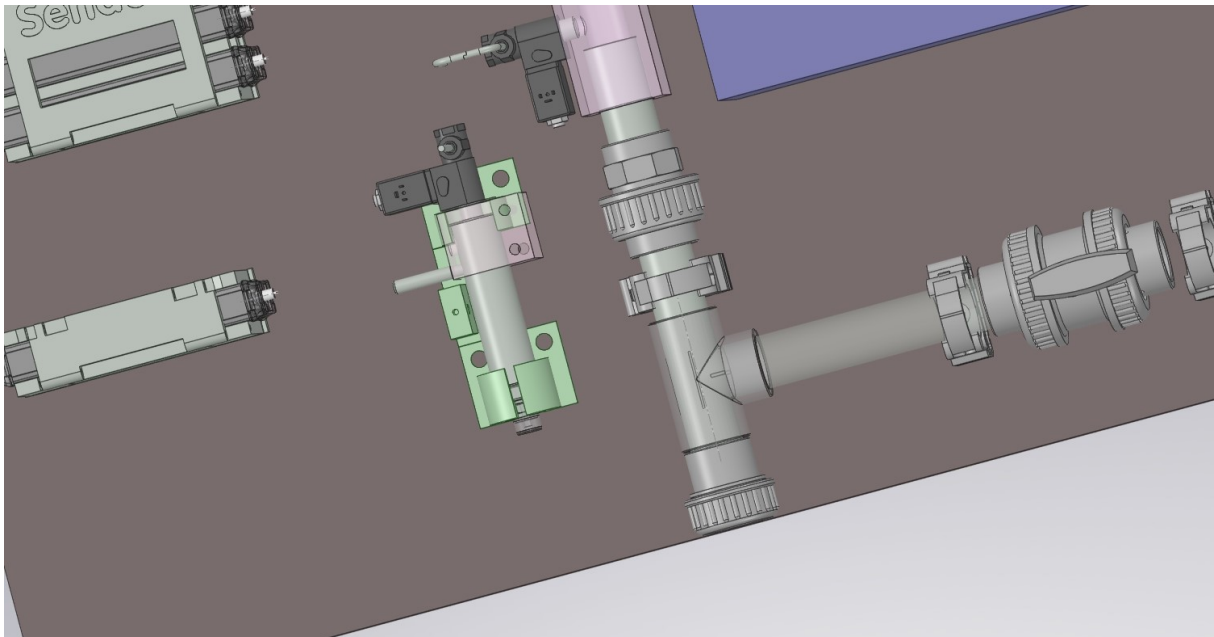
Teneinde een handzaam en mobiel meetsysteem te kunnen realiseren worden de metingen uitgevoerd aan een relatief simpele doorstroom cuvet. Via een aantal vensters aan de zijkant van deze cuvet zullen de optische metingen uitgevoerd worden. In dit document wordt beschreven welke keuzes zijn gemaakt voor de realisatie van dit meetsysteem. Het mechanisch design is gemaakt in DesignSpark, De SenBox software in Python en de WebPortal in Visual Studio C#



Afbeelding 1. Overzicht van het eerste ontwerp met sensoren (DesignSpark).



Afbeelding 2. Doorstroomsysteem pre-final, groter volume, Glas, Minder kans op luchtbelllen (DesignSpark).

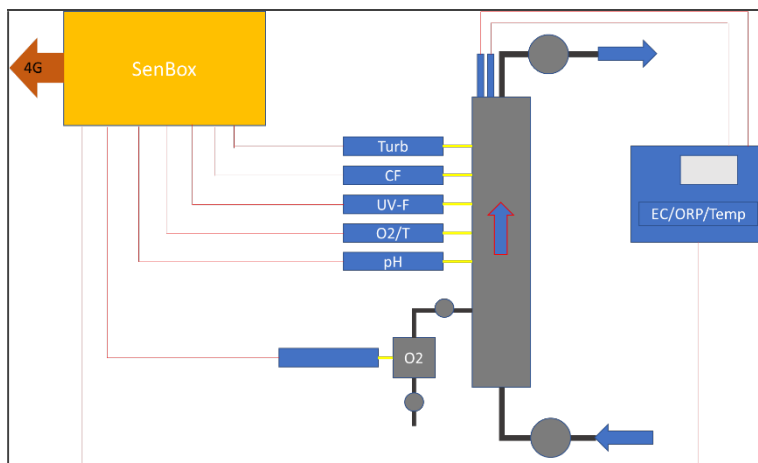


Afbeelding 3. Inline systeem verbeterde BOD (DesignSpark).



Afbeelding 4. *Inline meetsysteem op locatie.*

In figuur 1 is het systeem schematisch weergegeven. In een centrale door-stroom-cel zijn een 8-tal sensoren aangebracht die een 8 tal basisparameters voor water meten. De aansluitingen voor water aan-, en afvoer zijn gebaseerd op 32 mm PVC buis. De centrale doorstroom buis is voorzien van een 6 1/4" wartels waarin de sensoren gestoken kunnen worden.



Figuur 1. *Schematische weergave van het meetsysteem.*

Aan de bovenzijde van het doorstroomsysteem bevinden zich de twee ingekochte elektrochemische sensoren te weten de geleidbaarheidssensor en de Oxidatie-reductiepotentiaal of Redox sensor. De geleidbaarheid sensor geeft een indicatie van de ionen in het water, de Redox sensor geeft de balans weer tussen oxiderende componenten (concentratie en sterkte) zoals zuurstof, ozon, hypochloriet, waterstofperoxyde en reducerende componenten (sulfiet, nitriet, metalen, CO etc.).

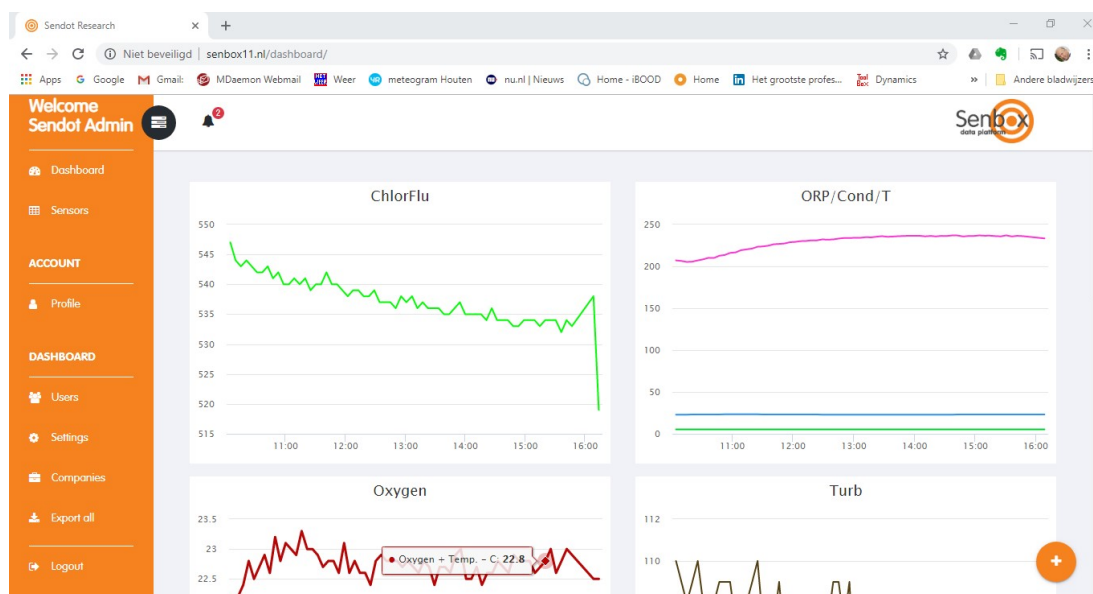
Aan de zijkant van de het doorstroomsysteem zijn 6 sensoren gemonteerd die de volgende parameters meten: Troebelheid, Chlorofylfluorescentie (een maat voor de hoeveelheid

algen), UV-fluorescentie (een maat voor de fluorescerende organische stoffen zoals humuszuren), Zuurstof concentratie, pH, Zuurstof verbruik (BOD).

De zuurstofverbruikssensor is aangebracht d.m.v. een separate drain, deze drain kan worden *ge-flusht* door twee kleppen te openen, nadat de kleppen weer gesloten zijn ontstaat er een stilstaande volume water, indien daar bacteriën/micro-organismen en voeding voor die micro-organismen in aanwezig zijn, zal de opgeloste zuurstof langzaam verdwijnen. De snelheid waarmee dit gebeurt wordt bepaald door de concentratie en het type organisch stoffen en het kiemgetal. De sensoren voor het bepalen van de pH, zuurstof en zuurstof gebruik zijn gebaseerd op de optochemische sensoren van Sendot. Ook de chlorofyl, UV fluorescentie, en de Turbiditeit zijn door Sendot zelf ontwikkeld en geproduceerd.

2.1.1 De Software

De software voor het uitlezen van de sensoren draait op de SenBox. Dit systeem is benaderbaar via een 4G modem zodat de data overal vandaan benaderbaar is (www.senbox11.nl). Het Dashboard scherm ziet er uit als weergegeven in figuur 2.



Figuur 2. Dashboard

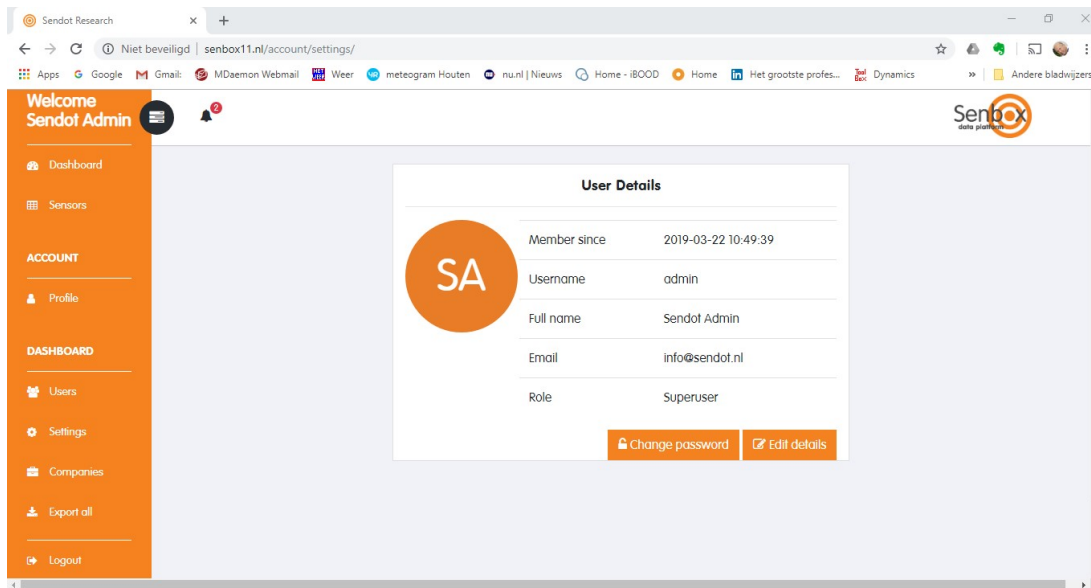
Het dashboard toont de grafieken met de meetresultaten, de oranje balk aan de linker zijkant toont de menuopties. Figuur 3 toont de sensors welke op het systeem zijn aangesloten, in dit scherm kunnen eventueel de naam van de aangesloten sensoren aangepast worden.

The sensors page displays a table with columns for Name, Type, and Status. The table lists seven sensors: JUMO AQUIS touch S (Type: 0000, Status: Online), Turbidity (Type: 150, Status: Online), BOD O2T (Type: 300, Status: Online), Optical pH (Type: 400, Status: Disconnected), UV Fluorescence (Type: 100, Status: Online), Oxygen + Temp. (Type: 300, Status: Online), and Chlorofyl Flu (Type: 102, Status: Online). A search bar and a 'Show 10 entries' dropdown are visible at the top of the table.

Name	Type	Status
JUMO AQUIS touch S	0000	Online
Turbidity	150	Online
BOD O2T	300	Online
Optical pH	400	Disconnected
UV Fluorescence	100	Online
Oxygen + Temp.	300	Online
Chlorofyl Flu	102	Online

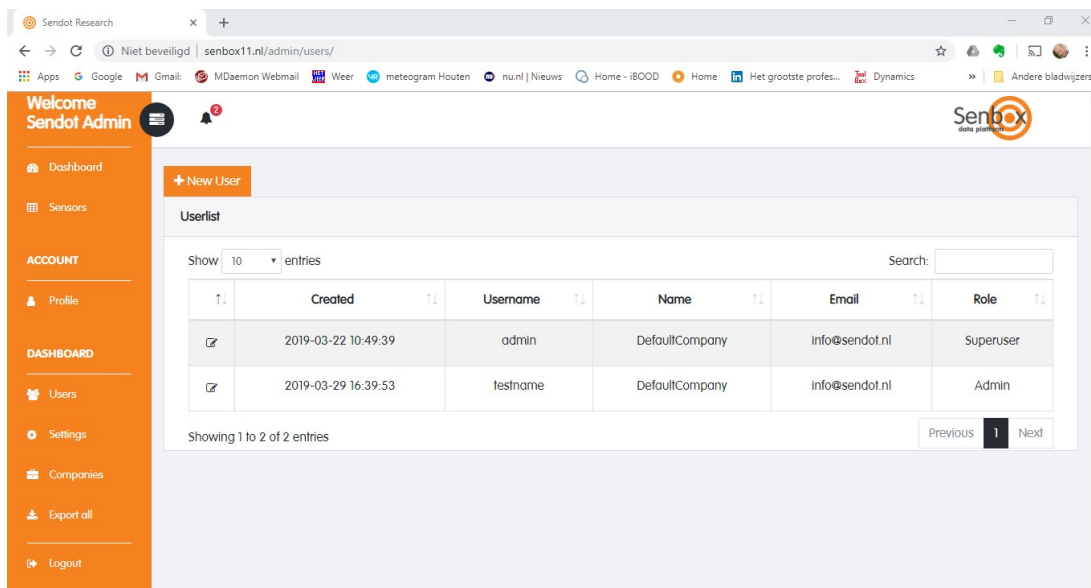
Figuur 3. Het scherm met aangesloten sensoren.

Onder het kopje Account kan het profiel van de momenteel ingelogde gebruiker bekeken worden, dit is getoond in figuur 4.



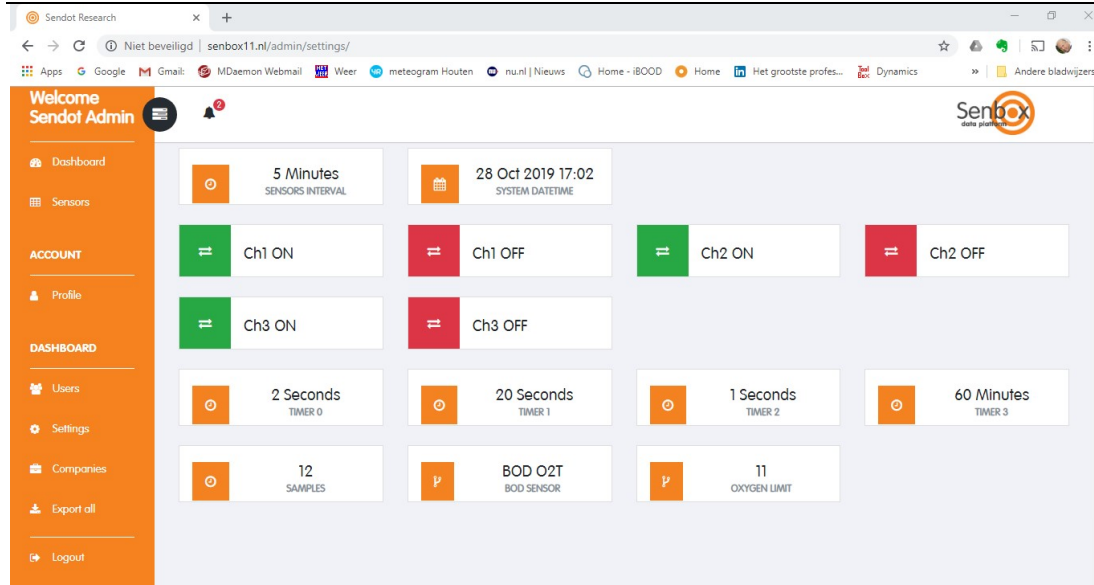
Figuur 4. Accountgegevens van de ingelogde user.

Onder het kopje Dashboard geeft het item Users, de aangemelde gebruikers, (al dan niet online), dit is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5. Aangemelde users

Onder het kopje setting staan de aan te passen *settings* van het systeem. Dit is weergegeven in figuur 6.



Figuur 6. *Systeme settings.*

- Linksboven kan het meetinterval ingesteld worden.
- Rechtsboven kan de systeemtijd ingesteld worden.
- Met de knop CH1 ON en CH1 OFF kunnen de kleppen waarmee het zuurstof verbruik gemeten wordt, bediend worden. Dit overruled dan de setting die door het programma bepaald worden. Channel 3 is nog niet in gebruik.
- Met Timer 0 kan de tijd ingesteld worden tussen het openen van klep 1 (dicht bij doorstroomunit) en het openen van klep 2 (drain)
- Met Timer 1 kan de tijd dat beide kleppen open staan ingesteld worden, dit bepaald de flush tijd.
- Met Timer 2 kan de tijd ingesteld worden tussen het dichtzetten van klep 1 (dicht bij doorstroomunit) en het dichtzetten van klep 2 (drain).
- Met Timer 3 kan de maximale meettijd van de zuurstofverbruiksmetingen worden ingesteld.
- Het aantal samples bepaalt echter de totale meettijd, als het product van de meettijd en het aantal samples korter is dan zal de periode van timer 3 volgemaakt worden zonder metingen. Als het product groter is dan zal er langer gemeten worden dan timer 3
- De derde bepalende parameter voor de zuurstofverbruiksmeter is de grenswaarde, als binnen de meettijd de zuurstofwaarde tot onder de grenswaarde daalt dan zal meteen een nieuwe meting gestart worden.

De term BOD die hier gebruikt wordt wil niet zeggen dat dit een genormeerd BOD meting is. Het zuurstof verbruik van het water zoals het bemonsterd wordt, wordt met het systeem wordt gemeten.

2.1.2 Resultaten losse sensoren

Het onderzoek naar de betrouwbaarheid van de sensoren wordt uitgevoerd aan de hand van een aantal algemeen aanvaarde methoden. Deze methoden zijn opgenomen in Tabel 1. De EC wordt bijvoorbeeld onderzocht met verschillende concentraties zouten en de turbiditeit met formazine. Het standaard water (Van Ruijven *et al.* 2016) is alleen binnen het onderzoek "Validatie mobiele opstelling" gebruikt.

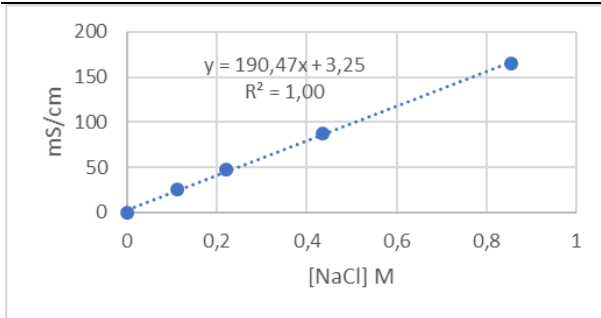
Tabel 1. Overzicht van metingen van het prototype, de bijbehorende verklaring en de manier waarop de meting binnen de testopstelling gevalideerd wordt.

Meting	Betekenis	Methode lab-validatie
Meetbox 1		
Geleidbaarheid (EC)	Zoutgehalte, bemesting	Standaard water met 4 concentraties EC
Redox potentiaal (ORP)	Verhouding reducerende en oxiderende stoffen zoals waterstofperoxide	Standaard water met 4 concentraties aan waterstofperoxide en/of hypochloriet
pH	Zuurgraad voor de teelt	Standaard water met 4 pH waarden
Meetbox 2		
Zuurstof	Zuurstofgehalte voor teelt	Standaard water met 5 zuurstofconcentraties mass flow controllers. Afwijking sensor is 0,2 mg/L.
Turbiditeit	Troebelheid als maat voor vervuiling nefelometrische troebelheidmeting is strooilightmeting bij 860 nm (NTU)	Standaard water met 4 concentraties AEPA-1 (TURBSTNDRD 1LTR 1000NTU - AMCO AEPA-1 Primary Turbidity Standards, GFS Chemicals - Model 66115-156) of Formazine (Sigma TURB4000-500ML) standaard
Algen (CF)	Chlorofyl fluorescentie	Standaard water met toegevoegd verdunning bekende hoeveelheid algen (<i>Chlorella vulgaris</i>). Afwijking sensor is 0,1 µg/L.
UV fluorescentie (UV-F)	Organische stof gehalte	Meting aan verschillende verdunningen Standaard water met organische stof
Meetbox 3		
Zuurstofverbruik (BOD)	Indicator voor kiemgetal (kve/mL)	Standaard water met 4 concentraties BZV Seed Inoculum, Polyseed. (Hach 2918700)

* Standaard water = referentie water dat lijkt op water in opkweek (Van Ruijven *et al.* 2016). Elke meting wordt in triplo uitgevoerd. De metingen hebben tot doel een indicatie van het betrouwbaar meetbereik te geven. De specificatie van de afzonderlijke sensoren worden als leidend gebruikt.

2.1.2.1 Geleidbaarheid Sensor:

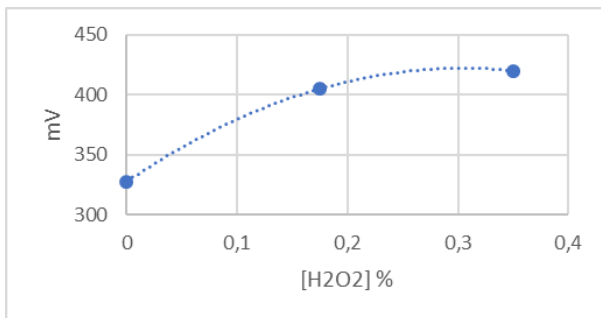
Om de geleidbaarheid sensor te testen is de sensor blootgesteld aan oplossingen met verschillende concentraties natriumchloride. De resultaten zijn getoond in Figuur 7.



Figuur 7. Meetresultaten Geleidbaarheidssensor

2.1.2.2 ORP Sensor (Redox):

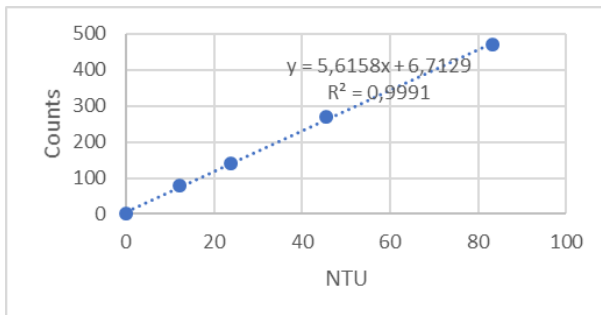
Om de Redox sensor te testen is de sensor blootgesteld aan oplossingen met verschillende concentraties Waterstofperoxide. De resultaten zijn getoond in Figuur 8.



Figuur 8: Meetresultaten Redoxsensor

2.1.2.3 Troebelheid sensor:

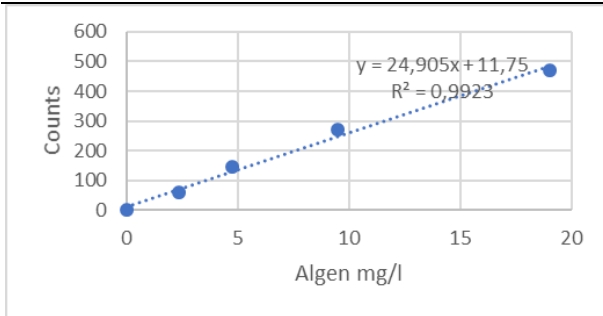
Om de Troebelheid sensor te testen is de sensor blootgesteld aan oplossingen met verschillende concentraties Formazine NTU standard (Sigma-Aldrich 500 NTU). De resultaten zijn getoond in Figuur 9. De achtergrond signalen zijn met een blanco meting verwijderd.



Figuur 9: Meetresultaten Troebelheid sensor

2.1.2.4 Chlorofyl-Fluorescentie sensor

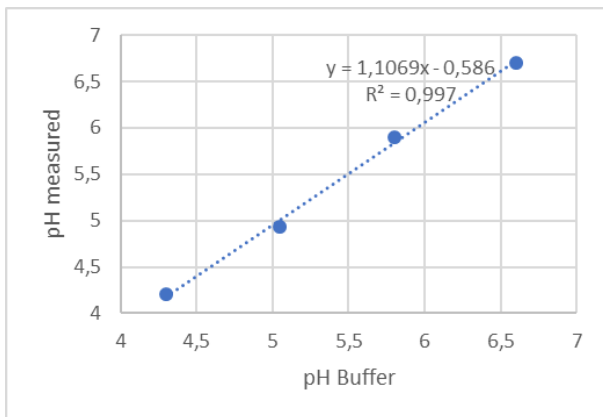
Om de Chlorofyl-Fluorescentie sensor te testen is de sensor blootgesteld aan oplossingen met verschillende concentraties gesuspenderde gedroogde *Spirulina* Algen (0-20 mg/l). In de algen zit ongeveer 10 mg/g chlorofyl. De resultaten zijn getoond in Figuur 10. De achtergrond signalen zijn met een blanco meting verwijderd.



Figuur 10: Meetresultaten Chlorofyl Fluorescentie Sensor

2.1.2.5 pH sensor

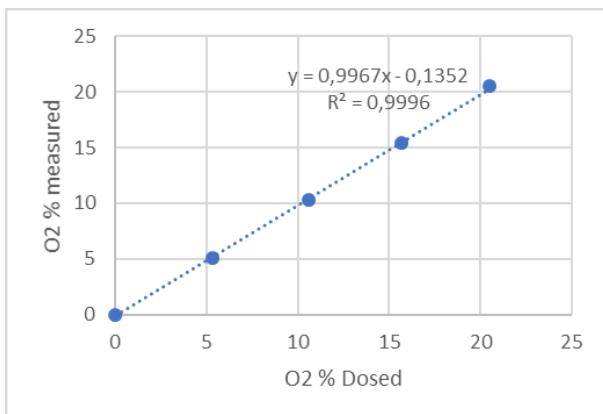
Om de zuurgraad te testen is de sensor blootgesteld aan buffers met verschillende zuurgraad. De resultaten worden getoond in Figuur 11.



Figuur 11: Meet resultaten pH Sensor

2.1.2.6 O2 sensor

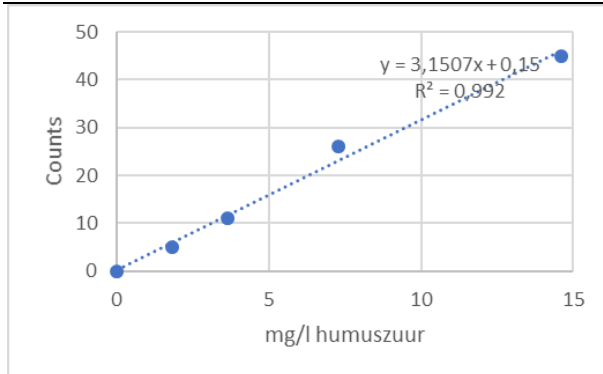
Om de zuurstof sensor te testen is de sensor blootgesteld aan verschillende percentages zuurstof. De concentraties zijn gemaakt met behulp van *mass flow controllers* om mengsels te maken van 0-100% met zuurstof en stikstof en tussen 0-21% met lucht en stikstof. De resultaten zijn getoond in Figuur 12.



Figuur 12: Meetresultaten O2 Sensor

2.1.2.7 UV fluorescentie sensor

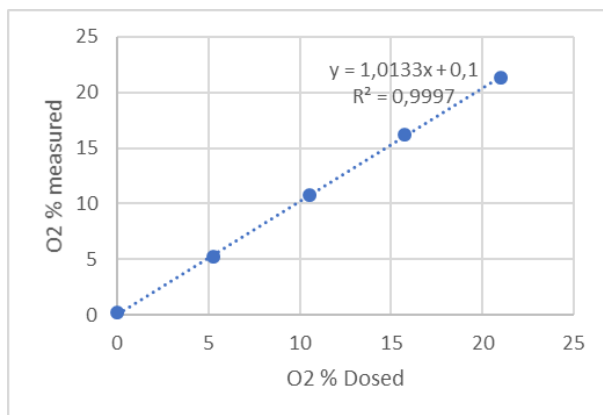
Om de UV Fluorescentie sensor te testen is de sensor getoetst met verschillende concentraties humuszuur (Sigma-Aldrich). De resultaten zijn getoond in Figuur 13. De achtergrond signalen zijn van met een blanco meting verwijderd.



Figuur 13: Meetresultaten UV-Fluorescentie Sensor

2.1.2.8 O₂ sensor voor zuurstofverbruik

Om de zuurstof sensor te testen is de sensor blootgesteld aan verschillende percentages O₂. De resultaten zijn getoond in Figuur 14.



Figuur 14: Meetresultaten O₂ Sensor

2.1.3 Conclusie en discussie

- Alle Sensoren werken naar behoren.
- De kruisgevoeligheid tussen sensoren (vooral CF en UV-Flu) zal in de volgende testfase verder worden onderzocht
- De vertaling van “counts” naar concentraties (CF-Algen, UV-F organische stof, Troebelheid) zal vooralsnog in het softwareprogramma MS Excel gebeuren.

2.2 Validatie mobiele opstelling

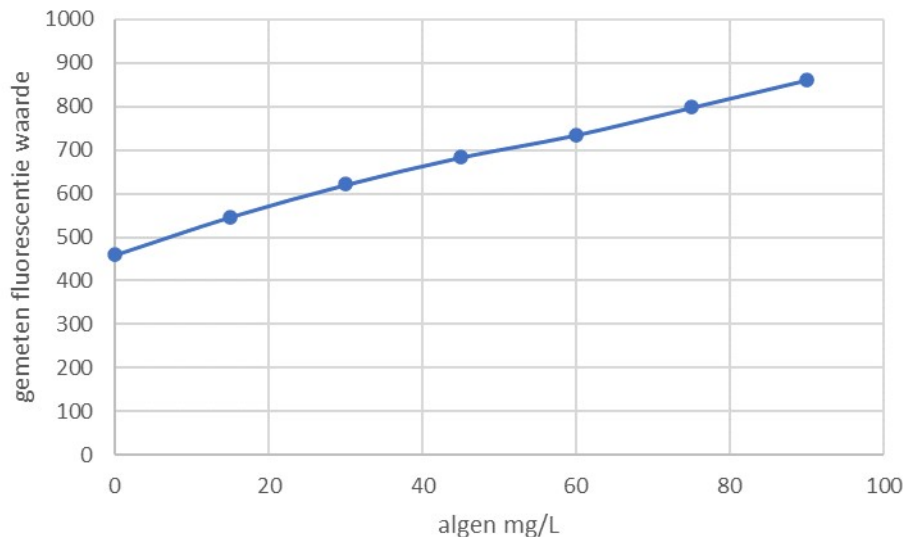
De mobiele opstelling voor het testen van waterkwaliteit is uitgebreid gevalideerd op het laboratorium. Alle sensoren zijn getest zoals ze in de opstelling zijn ingebouwd, hieronder volgen voor alle sensoren de beschrijving en de resultaten van de validatie. Er werd *standaard water* gebruikt voor alle metingen volgens Van Ruijven *et al.* (2016).

2.2.1 Chlorofyl Fluorescentie Meter

De chlorofyl fluorescentie (CF) meter is getest door gebruik te maken van de alg *Aphanizomenon flos Aqua*. Vanuit een groeiende cultuur van deze alg wordt telkens een klein volume toegevoegd aan 3 liter water. Deze oplossing van water en alg wordt door de meetopstelling gepompt, en zodoende kan er een relatie bepaald worden tussen de concentratie algen en de gemeten chlorofyl fluorescentie. In onderstaande tabel 2 staan de gemeten waarden en de bijbehorende drooggewicht waarden van de alg in het gemeten water. In figuur 15 is het drooggewicht van de alg afgezet tegen de gemeten fluorescentiewaarden.

Tabel 2. Resultaten van de chlorofylfluorescentie metingen met de alg *Aphanizomenon flos Aqua*.

Tijd	alg (ml) op 3 liter	Fluorescentie	Drooggewicht algen mg/l
0	0	460	0
10	25	547	15
20	50	621	30
30	75	684	45
40	100	735	60
50	125	798	75
60	150	861	90

**Figuur 15.** Overzicht van gemeten fluorescentiewaarden bij drooggewicht (mg/L) van de aanwezige alg.

Uit deze resultaten blijkt dat bij afwezigheid van algen een waarde van 460 gemeten wordt, deze waarde is basislijn. Wanneer algen worden toegevoegd aan het water is een lineaire verhouding tussen de hoeveelheid algen die is toegevoegd en de gemeten fluorescentiewaarden. De chlorofyl fluorescentie sensor is zeer gevoelig, zelfs bij een drooggewicht van 15mg/l wordt al een significante stijging in de gemeten waarde gezien, wanneer met het oog nog geen verkleuring veroorzaakt door de alg is waar te nemen wordt er al duidelijk een fluorescentiesignaal gemeten.

2.2.2 pH sensor

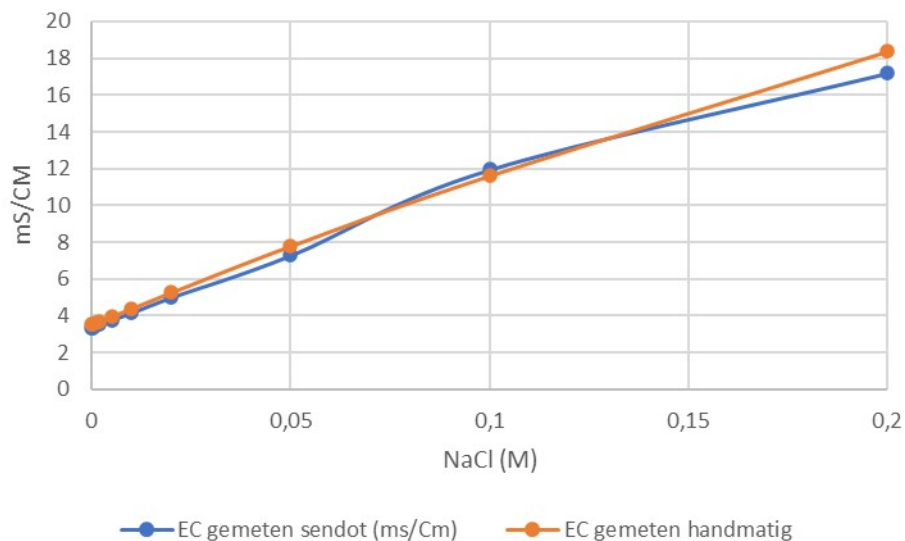
De pH sensor is niet uitvoerig gevalideerd omdat het een gevalideerd en commercieel verkrijgbaar product is. Tijdens de eerste validatieperiode bleek dat tijdens het reinigen van de opstelling de pH sensor gevoelig was voor de gebruikte reinigingsmiddelen waardoor onbetrouwbare meetwaarden ontstonden. Door het systeem aan te passen waarbij tijdens het reinigen de pH sensor verwijderd dient te worden is dit probleem opgelost.

2.2.3 EC sensor

De EC sensor is getoetst door demiwater door het systeem te pompen waaraan telkens een hogere concentratie natriumchloride aan wordt toegevoegd. Als controle is de EC handmatig gemeten met een EC meter (Hanna Instruments). In onderstaande tabel (3) en figuur (16) is duidelijk te zien dat de twee sensoren vergelijkbare waardes meten. Er is een duidelijk lineair verband gemeten tussen de EC waardes en de concentratie natriumchloride.

Tabel 3. Overzicht van gemeten EC waardes bij oplopende NaCl concentratie.

NaCl (M)	EC mobiele opstelling (ms/Cm)	EC controle
0	3,33	3,52
0,0002	3,34	3,53
0,001	3,45	3,602
0,002	3,543	3,698
0,005	3,784	3,963
0,01	4,178	4,392
0,02	5,011	5,264
0,05	7,291	7,787
0,1	11,947	11,61
0,2	17,19	18,37

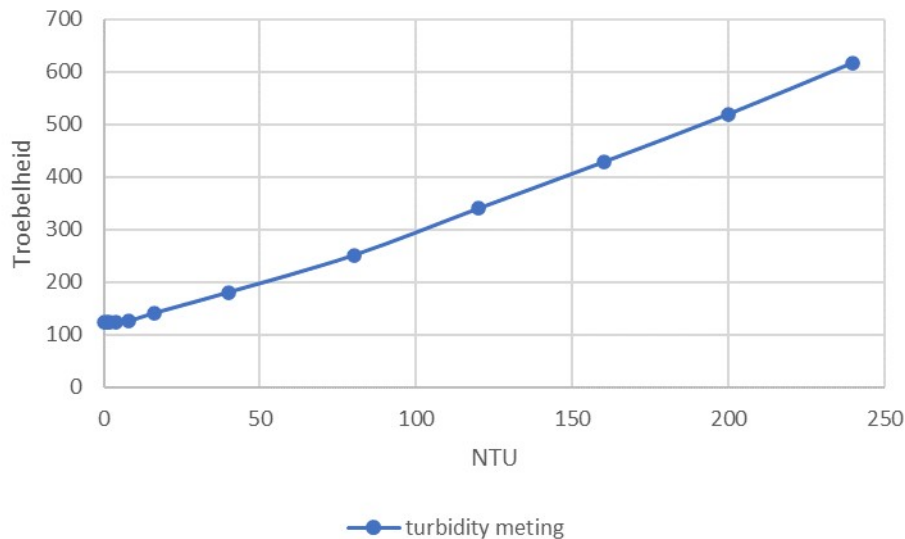
**Figuur 16.** Gemeten EC waardes uitgezet tegen de concentratie NaCl.

2.2.4 Troebelheid sensor

Om de mate van troebelheid te bepalen wordt een standaard middel, Formazine, gebruikt. De mate van troebelheid wordt uitgedrukt in NTU. Uit de validatie blijkt dat gemeten waarden evenredig toenemen met de gebruikte concentratie formazine (tabel 4 en figuur 17).

Tabel 4. Gemeten waardes door turbiditeit sensor, berekende NTU waardes en gebruikte hoeveelheid formazine.

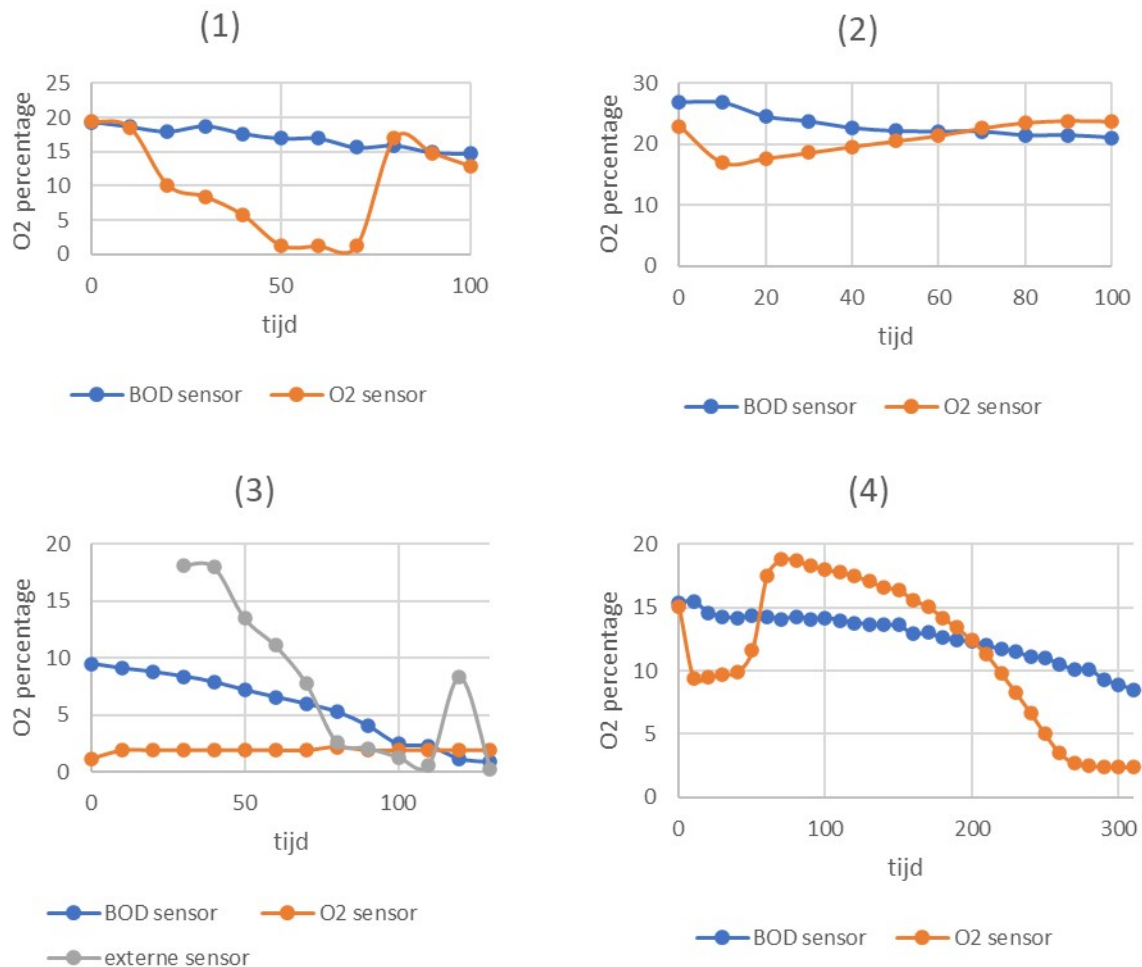
formazine 4000 NTU (ml)	turbiditeit meting	NTU
0	124	0
1	124	0,8
2	124	1,6
5	123	4
10	126	8
20	141	16
50	181	40
100	251	80
150	340	120
200	428	160
250	519	200
300	617	240



Figuur 17. Relatie gemeten waardes turbiditeit sensor en NTU.

2.2.5 Zuurstof sensoren

In de meetopstelling zijn twee aparte zuurstofsensoren gemonteerd. Een sensor (O_2 sensor) zit in lijn met de andere sensoren, daarnaast is een tweede zuurstofsensor (BOD O_2 sensor) geplaatst in een apart compartiment om het biologisch zuurstof verbruik te kunnen meten. De sensoren zijn gevalideerd door telkens een kleine hoeveelheid exponentieel groeiende bacteriën toe te voegen aan 5 liter water die door het systeem werd gecirculeerd. Ook werd er belucht indien nodig. Naarmate er meer bacteriën aanwezig zijn is de verwachting dat het zuurstofverbruik hoger zal zijn. Tijdens de eerste validatie periode bleek dat er veel verschil zat tussen de gemeten waardes van de twee sensoren, in figuur 18 zijn de waardes van de twee sensoren op verschillende testdagen tegen elkaar uitgezet en is duidelijk te zien dat de gemeten waardes niet overeenkomen. Tijdens een van de tests is ook met een losse zuurstof sensor (Sendot) gemeten, deze registreerde afwijkende waarden van de geïntegreerde sensoren.

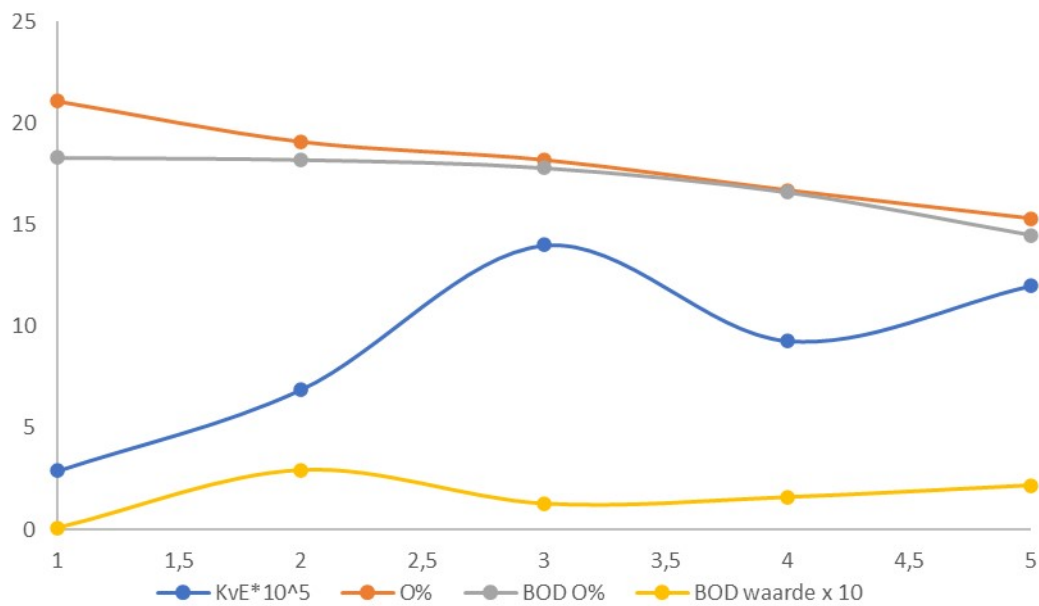


Figuur 18. De gemeten waarden van de O2 sensor en BOD v1 sensor tijdens vier validatie proeven.

Op basis van deze resultaten is besloten de kamer waarin de BOD sensor zit aan te passen om zodoende betrouwbaardere meetresultaten te krijgen. Vervolgens zijn er met deze BOD v2 opnieuw vier validatie proeven uitgevoerd (zie figuur 18). De eerste validatie werd uitgevoerd door telkens een hoeveelheid bacteriën uit een exponentieel groeiende cultuur toe te voegen aan demiwater. Bij deze eerste test is goed te zien dat de zuurstof concentraties lager worden naar mate het K_vE (kiemgetal, *een maat voor de hoeveelheid bacteriële koloniën die groeien op een agar medium*) getal hoger wordt (tabel 5, figuur 19). De BOD waarde nam echter niet significant toe.

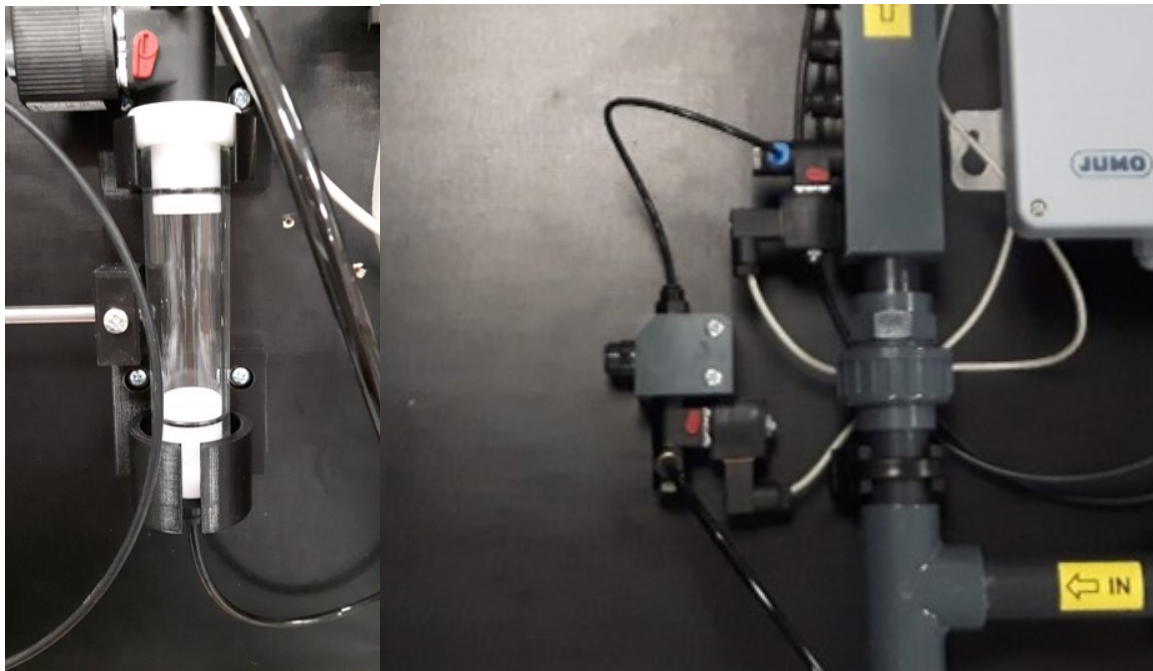
Tabel 5. De waarden gemeten tijdens de eerste validatie.

sample	tijd	K _v E*10 ⁵	O%	BOD O%	BOD waarde x 10
0	12.00	2,9	21,1	18,3	0,067
1	13.00	6,9	19,1	18,2	2,9
2	14.00	14	18,2	17,8	1,25
3	15.00	9,3	16,7	16,6	1,57
4	16.00	12	15,3	14,5	2,15



Figuur 19. Gemeten waarde eerste validatie.

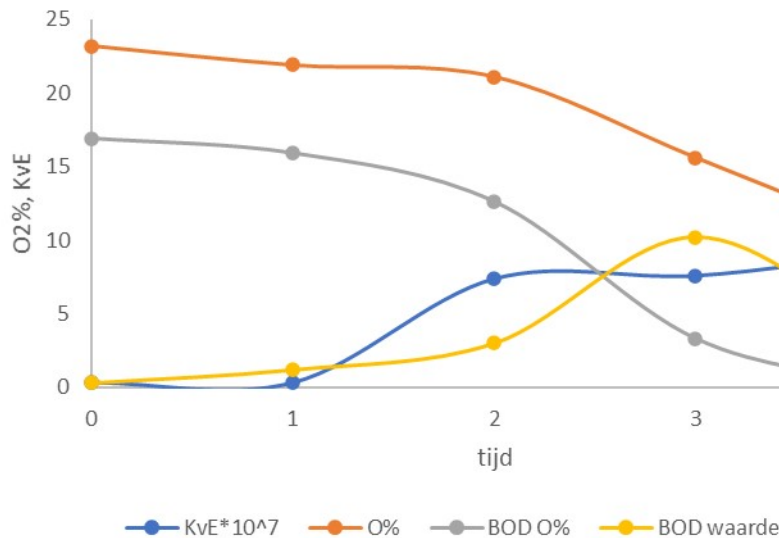
Onderstaande afbeeldingen zijn (L): BOD-v1 en (R): BOD v2. De BOD V1 meet in een volume van 1 ml in een niet transparant PVC blok met aansluitingen voor slangen en de O₂ probe. In de praktijk bleek dit systeem heel gevoelig voor luchtballen en vervuiling (je kan niet zien wat er binnen gebeurt). Daarom is gekozen voor een systeem met een glazen buis waarin onze coating "geplakt" zit dan kan je zien of er luchtballen in zitten en of het systeem vervuild raakt.



Er is een nieuwe validatie gedaan, tijdens deze validatie gaven de twee zuurstof sensoren (resp. O₂ en de BOD v2 O₂ sensor) waarden aan die van elkaar verschilden. De O₂ sensor gaf consequent een hogere waarde dan de BOD O₂ sensor. Wel was er nu een duidelijke stijging van de BOD waarde te zien op het moment dat het KvE getal ook begon toe te nemen (x-as: 1 en 2). Op dit moment was ook duidelijk te zien dat de beide zuurstof sensoren een afname registreerden in zuurstof concentratie (tabel 6, figuur 20).

Tabel 6. Waardes gemeten tijdens validatie.

tijd	KvE*10 ⁷	O%	BOD O%	BOD waarde
0	0,3	23,2	16,9	0,3
1	0,3	21,9	15,9	1,2
2	7,4	21,1	12,6	3
3	7,6	15,6	3,3	10,2
4	9,2	10,1	0,5	3

**Figuur 20. Waardes gemeten tijdens validatie.**

Uit de validatie is gebleken dat het mogelijk is een voorzichtige relatie te leggen tussen zuurstofverbruik en kiemgetal. Het is echter nog niet gelukt om dit consequent te doen. Mogelijk ontbreekt het, in het systeem, aan voldoende opneembare organische stoffen. Met verdere validatie, en aanpassingen aan het systeem is het mogelijk een betrouwbaar aerobe kiemgetal (KvE) getal te krijgen op basis van zuurstofmetingen.

2.2.6 Conclusies en discussie

- De chlorofyl fluorescentie sensor is zeer gevoelig en de gemeten waarden correleren goed met de toevoegde hoeveelheid algen, zelfs bij een drooggewicht van 15mg/l wordt al een significante stijging gemeten.
- Een fluorescent signaal van 861 staat voor 90 dw/L algen. In de grafiek kan de hoeveelheid algen worden afgelezen. De hoeveelheid chlorofyl dat gemeten wordt, varieert tussen algensoorten, daarom moet deze waarde als een schatting worden gebruikt.
- De pH sensor is gevoelig voor de gebruikte reinigingsmiddelen waardoor onbetrouwbare meetwaarden ontstonden. Door het systeem aan te passen waarbij tijdens het reinigen de pH sensor verwijderd dient te worden is dit probleem verholpen.
- De EC sensor werkt goed. Er is een duidelijk lineair verband gemeten tussen de EC waarden en de concentratie NaCl.
- Om de Troebelheid van het water te bepalen wordt een standaard middel, Formazine, gebruikt om de betrouwbaarheid van de meting te onderzoeken. De mate van troebelheid wordt uitgedrukt in NTU. Uit de validatie blijkt dat gemeten waarden evenredig toenemen met de gebruikte concentratie formazine. In de praktijk moet duidelijk worden hoe dit zich verhoudt met de diverse organische stoffen in het systeem.
- Tijdens de eerste validatie periode bleek dat er veel verschil zat tussen de gemeten waarden van de twee zuurstof sensoren (O₂ sensor en de BOD O₂ sensor) De BOD O₂ v2 liet wel een afname van zuurstof zien bij een toename van aantal bacteriën, maar alleen in het begin. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door te weinig (voor

bacteriën) opneembare organische stoffen of is de tijdsopname te kort om een betrouwbare waarde te genereren.

2.3 Proef locatie Opkweek bedrijf

Er is een proef gestart op een praktijk locatie om meer inzicht te krijgen in A. Meet de opstelling betrouwbaar in de praktijk?; B. Kan de nieuwe BOD v2 inline meting gebruikt worden als maat voor kiemgetal? C. Kun je meer te weten komen over de waterkwaliteit door naar combinaties van meetwaarden te kijken.

2.3.1 Materiaal & Methode

De mobiele opstelling is geplaatst in een kamer bij het opkweek bedrijf. Elke woensdag, gedurende de periode 5 februari en 13 mei 2020 zijn verschillende watermonsters door de mobiele opstelling gepompt. Ook zijn monsters genomen, in de middag opgehaald, en deze werden meteen geanalyseerd door het GAC laboratorium. Water was afkomstig van schrob, opzet, haspel, OCD, bron, retour (vruchtgroenten en sier) *etcetera*. Een watermonster werd minstens 1 uur door de opstelling gepompt.

In totaal zijn er 41 waters geanalyseerd. Medewerkers van het opkweek bedrijf noteerde de waarden van de mobiele opstelling en het laboratorium analyseerde de monsters op pH, EC, hoofd-, en spore elementen (GAC code EDS), aeroob en anaeroob kiemgetal bacteriën en totale schimmels (code MXX), *Fusarium* spp. (code MUE), totale koolstof (code TOC, ETO), biologische zuurstofverbruik (code BZV) en chemisch zuurstofverbruik (code CZV), zie tabel 7.

Tabel 7. Overzicht van metingen van 41 verschillende water monsters door mobiele opstelling (Opkweek bedrijf) en door Groen Agro Control (GAC).

Mobiele opstelling	Groen Agro Control (GAC)
Datum	Datum
Tijdstip	Tijdstip
pH	pH
Redox (mV)	EC (mS/cm)
EC (mS/cm)	Hoofd-, en spore elementen
Temperatuur (T)	Aëroob kiemgetal bacteriën
Troebelheid (OD)	Anaëroob kiemgetal bacteriën
Zuurstof (O ₂)	Schimmels
Chlorofyl fluorescentie / algen (CF)	<i>Fusarium</i> spp.
BOD O ₂ v2 afname	Total Organic Carbon (TOC)
UV-F organische stoffen	Biologisch Zuurstof Verbruik
	Chemisch Zuurstof Verbruik

- *Meet de opstelling betrouwbaar in de praktijk?*

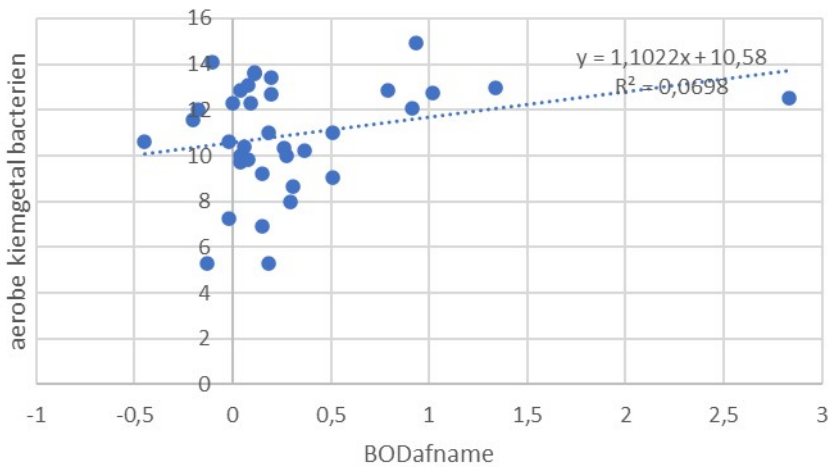
Hiervoor is gekeken naar meetwaarden afkomstig van de mobiele opstelling en uit het laboratorium. De EC en pH waarden van de mobiele opstelling en het GAC laboratorium zijn hetzelfde (paarsgewijze *t*-test: EC $t=3,21$ $df=30$, $P=0.003$) (pH $t=-2,68$ $df=21$, $P=0.014$). De andere waarden zoals Redox, algen (CF) en troebelheid (OD) werden al getoetst in het laboratorium. Er zijn weinig tot geen algen in deze watermonsters aangetroffen (CF 400-500). Pas bij waarden tegen de 700 zijn de algen in het water met het oog zichtbaar.

- *B. Kan de nieuwe BOD v2 inline meting gebruikt worden als maat voor kiemgetal?*

Hiervoor is gezocht naar een correlatie tussen de waarden van BOD en aerobe kiemgetal bacteriën zoals gemeten door laboratorium.

De paarsgewijze test laat een relatie zien tussen beide parameters (BOD $t=3,21$, $df=26$, $P=0.003$), maar bij visuele inspectie is er geen correlatie (Figuur 21) omdat het wordt veroorzaakt door een beperkt aantal punten met een hogere BOD waarde ($r=0,07$, $P=0,77$).

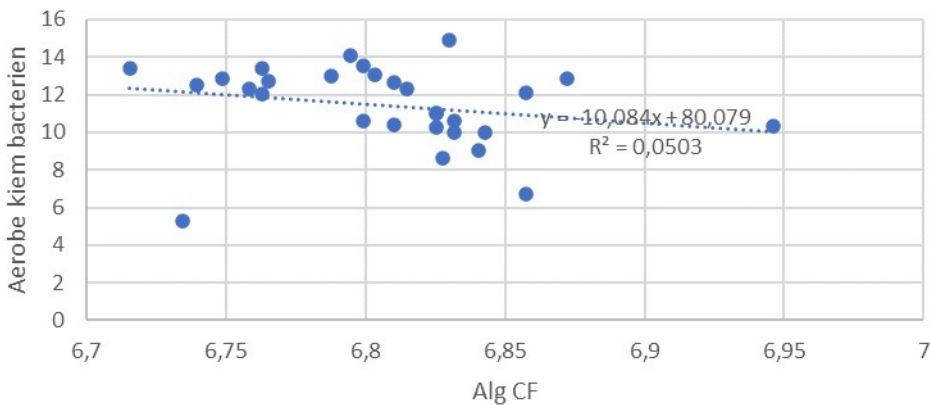
Ook is er gekeken naar de invloed van de tijdsduur van de meting. Hiervoor zijn alleen de gegevens afkomstig van een BOD meting over 2 uur geselecteerd. De metingen met een kortere tijdsduur werden niet geselecteerd. Maar ook hier werd geen relatie gevonden tussen BOD en de hoeveelheid aanwezige bacteriën.



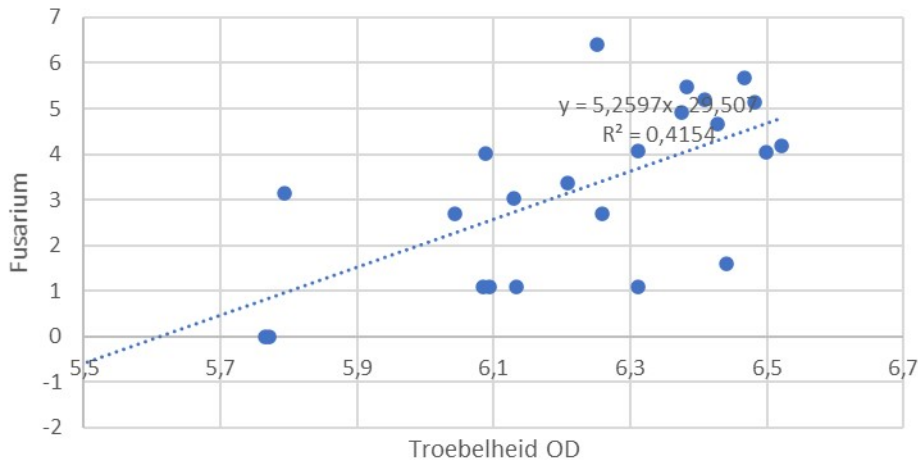
Figuur 21. Relatie tussen aerobe kiemgetal bacteriën (horizontale as) gemeten door het GAC laboratorium en de mobiele opstelling (BODafname, verticale as). Beide waarden zijn Ln- getransformeerd.

- C. Kun je meer te weten komen over de waterkwaliteit door naar combinaties van meetwaarden te kijken?

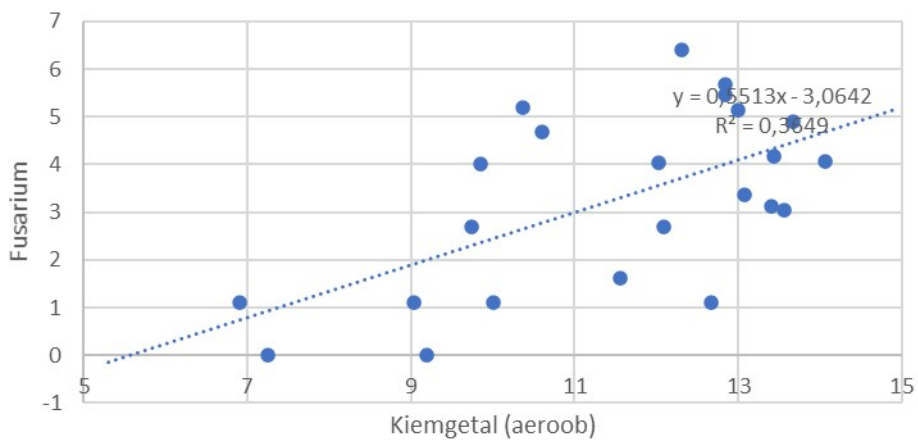
Er is een middelmatige en negatieve relatie te zien in figuur 22 tussen Algen (CF) en Aerobe kiemgetal (KvE) ($r=-0,57$, $P=0,01$). Deze relatie is onverwacht. Een verklaring kan zijn dat biofilm in het systeem zowel algen als bacteriën bevat en er dus een relatie tussen beide ontstaat. Er was een lage hoeveelheid algen in het systeem, dus mogelijk wordt deze relatie daardoor beïnvloed.



Figuur 22. Relatie tussen aerobe kiemgetal zoals gemeten door GAC laboratorium en de mobiele opstelling (Algen CF). Beide waarden zijn $\text{Ln}(2x+1)$ getransformeerd.

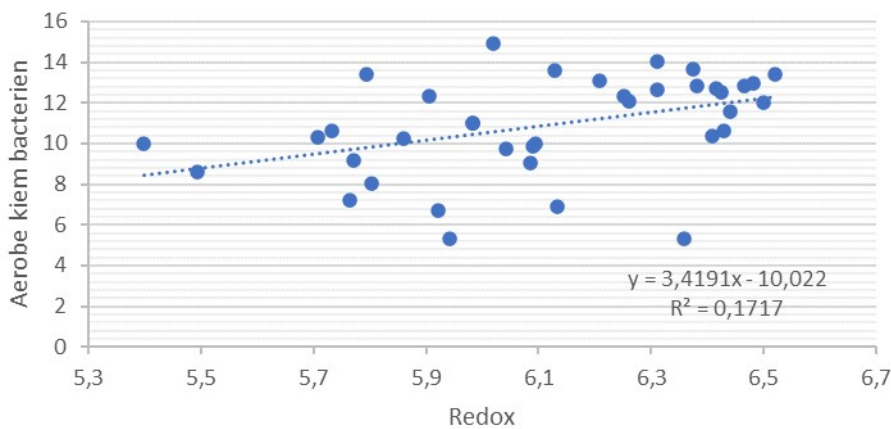


Figuur 23. Relatie tussen *Fusarium* gemeten door GAC laboratorium en troebelheid (NTU) door de mobiele opstelling. De waarden zijn $\ln(2x+1)$ getransformeerd.

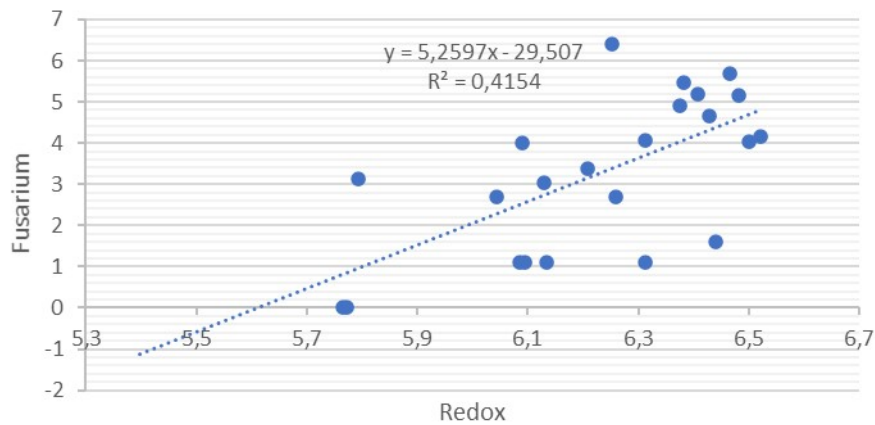


Figuur 24. Relatie tussen *Fusarium* en Aeroob kiemgetal gemeten door het GAC laboratorium. De waarden zijn $\ln(2x+1)$ getransformeerd.

Ten slotte werd een zwakke relatie gezien tussen het Redox potentiaal en het aerobe kiemgetal zoals gemeten door het laboratorium ($r=0,40$, $P=0,03$). Die relatie is interessant omdat een bepaling van het kiemgetal veelvuldig plaats vindt in de praktijk en dit informatie geeft over de effectiviteit van een ontsmetting.

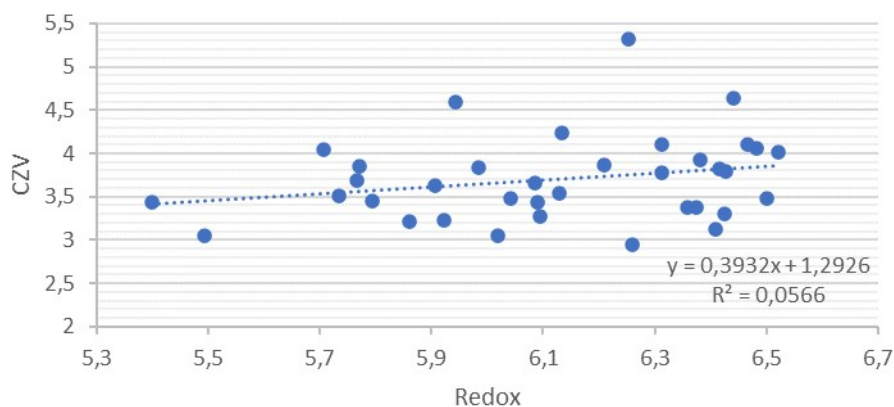


Figuur 25. Zwakke relatie tussen Redox en Aeroob kiemgetal ($r=0,40$, $P=0,03$) zoals gemeten door het laboratorium. De waarden zijn $\ln(2x+1)$ getransformeerd.

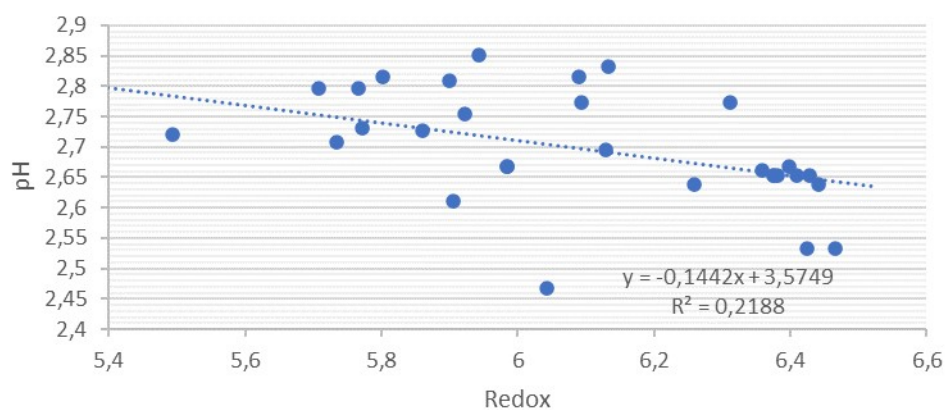


Figuur 26. Zwakke relatie tussen Redox en Fusarium ($r=0,52$, $P=0,13$) gemeten door het laboratorium. De waarden zijn $\ln(2x+1)$ getransformeerd.

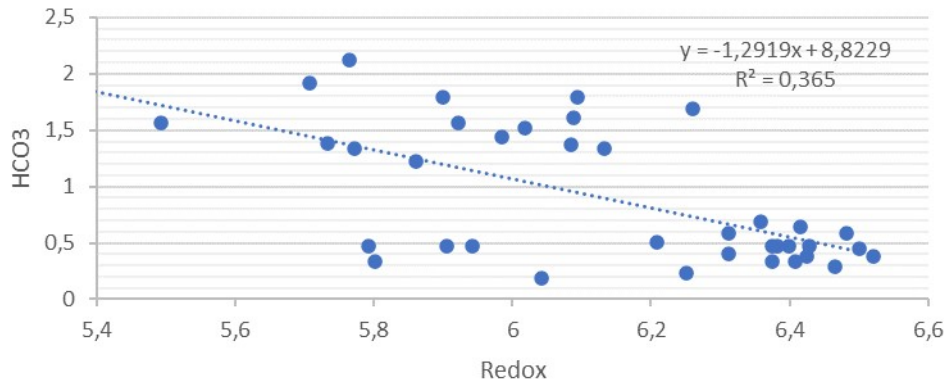
Een extra analyse van de dataset laat zien dat het zuurstof niveau niet veranderde. Daarom lijkt de relatie tussen *Fusarium* spp. en redox (ORP) in figuur 26 te duiden op een andere afhankelijkheid van redoxpotentiaal.



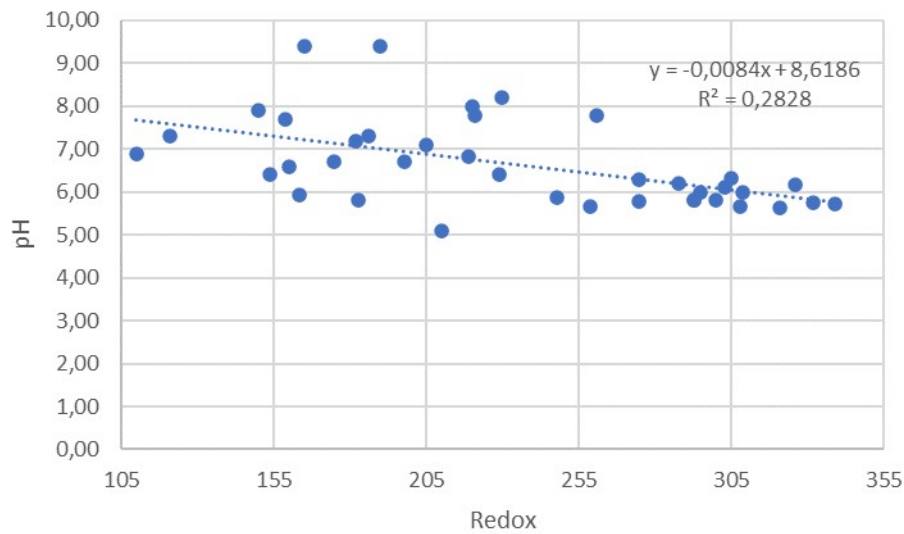
Figuur 27. Relatie tussen Redox en Chemisch Zuurstof Verbruik (CZV) gemeten door GAC laboratorium. De waarden zijn $\ln(2x+1)$ getransformeerd.



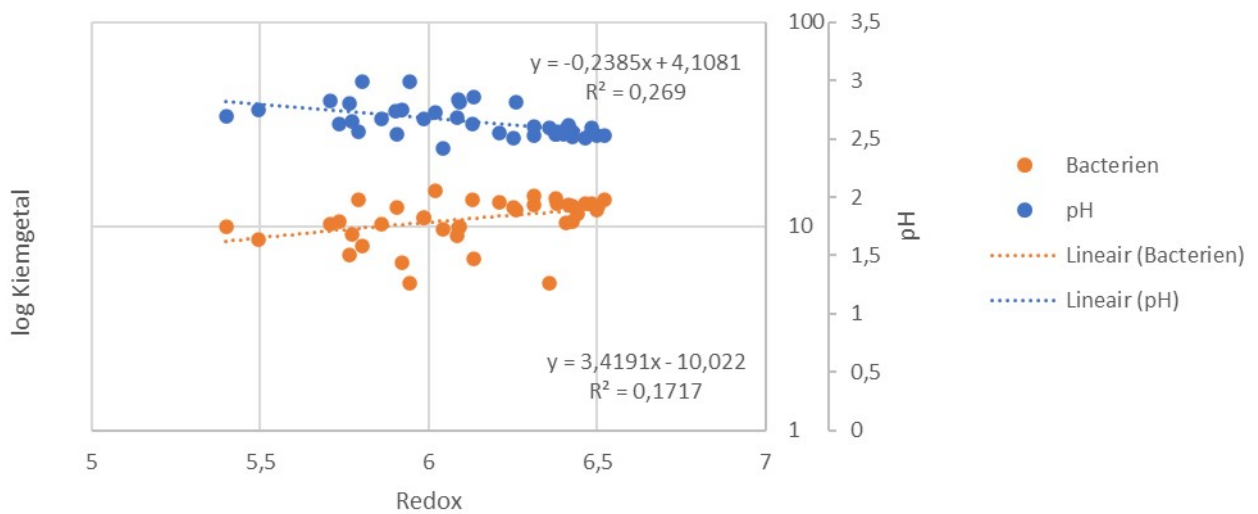
Figuur 28. Zwakke relatie tussen Redox en pH. De waarden zijn $\ln(2x+1)$ getransformeerd. ($r=-0,43$, $P=0,05$).



Figuur 29. Zwakke-, en negatieve relatie tussen Redox en HCO_3 ($r=-0,52$, $P=0,03$). De waarden zijn $\text{Ln}(2x+1)$ getransformeerd.



Figuur 30. Zwakke, en negatieve relatie tussen redox potentiaal (ORP) en zuurgraad (pH). De waarden zijn niet getransformeerd ($r=-0,44$, $P=0,05$)



Figuur 31. Relaties tussen Redox potentiaal, zuurgraad en het aerobe kiemgetal. De waarden zijn $\text{LN}(2x+1)$ getransformeerd en kiemgetal op log y-as.

2.3.2 Conclusie en discussie

- De opstelling meet betrouwbaar in de praktijk, afgelezen aan de EC en de zuurgraad die zowel in de mobiele opstelling als in het laboratorium gemeten werden.
- De nieuwe BOD v2 meter in de huidige vorm kan (nog) niet gebruikt worden als een schatting voor de hoeveelheid aerobe bacteriën (KvE) in het water. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door een te laag gehalte aan organische stof dat snel opneembaar is voor bacteriën of een te korte tijd dat gebruikt wordt om de BOD te bepalen. De opstelling komt mogelijk beter tot zijn recht in een real-time opstelling waarbij continue water wordt gemonitord.
- Redox is een redelijke schatter voor het Chemisch Zuurstof Verbruik en in mindere mate voor het aerobe kiemgetal en de aanwezigheid van *Fusarium* spp.
- Mogelijk wordt deze relatie tussen het redox potentiaal en het aerobe kiemgetal aan bacteriën, *Fusarium* spp. en Chemisch Zuurstof Verbruik verklaard doordat het redox potentiaal ook omgekeerd gerelateerd is aan de zuurgraad.
- Er is een verband tussen de troebelheid (NTU) en de hoeveelheid *Fusarium* spp.
- Aantekening daarbij is dat in deze 42 watermonsters weinig troebelheid en algen aanwezig was. Onduidelijk is of genoemde relaties met de sensor voor algen en troebelheid van kracht blijven als er wel veel algen aanwezig zijn of als het water erg troebel is.

2.4 Extra validatie interacties tussen vier sensoren

Naar aanleiding van de proeven bij het opkweek bedrijf is er gekeken of er een interactie is tussen de metingen voor 4 sensoren, namelijk a. de hoeveelheid bacteriën (BOD sensor), b. Troebelheid, c. organische stof (UV-F) in het water en d. de hoeveelheid algen (Algen CF).

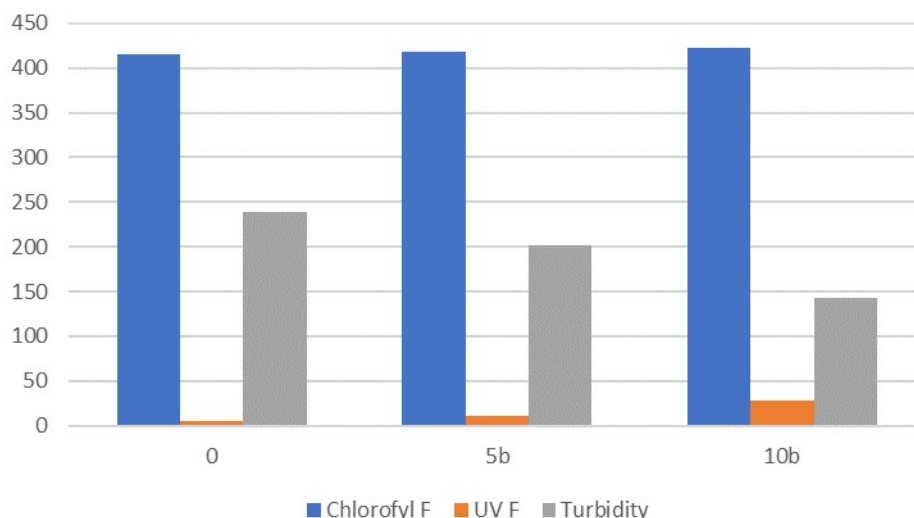
2.4.1 Bacteriën

De mobiele opstelling is in het laboratorium geplaatst. De opstelling is gespoeld met fertigatie mengsel voor de teelt van tomaat, hier is vervolgens 5 ml en later nogmaals 5 ml bacteriën toegevoegd tot een totaal van 10 ml bacteriën.

Met toenemende hoeveelheid bacteriën neemt het Chlorofyl UV signaal nauwelijks toe. Toename is slechts 1 % wanneer de hoeveelheid bacteriën verdubbelt. UV-F verdubbelt wel wanneer de bacterie hoeveelheid verdubbelt. Troebelheid neemt af wanneer bacteriën toenemen.

Tabel 8. Overzicht van 4 sensoren

sensor	0	5ml bacteriën	10ml bacteriën
CF-Algen	415	419	423
UV-F (OS)	5	11	28
Troebelheid	239	202	143
BOD	Niet gemeten	Niet gemeten	Niet gemeten



Figuur 32. Overzicht van vier sensoren CF-Algen, UV-F (OS), Troebelheid met bacteriën (controle (0), 5 mL bacteriën b en 10 mL bacteriën).

2.4.2 Bacteriën en algen

Er is een fertigatie mengsel voor de teelt van tomaten gebruikt om de meetopstelling te spoelen. Hier is vervolgens 5 ml bacteriën aan toegevoegd. Dit werd verhoogd naar 50ml. Tot slot is er nog 5 ml algen toegevoegd.

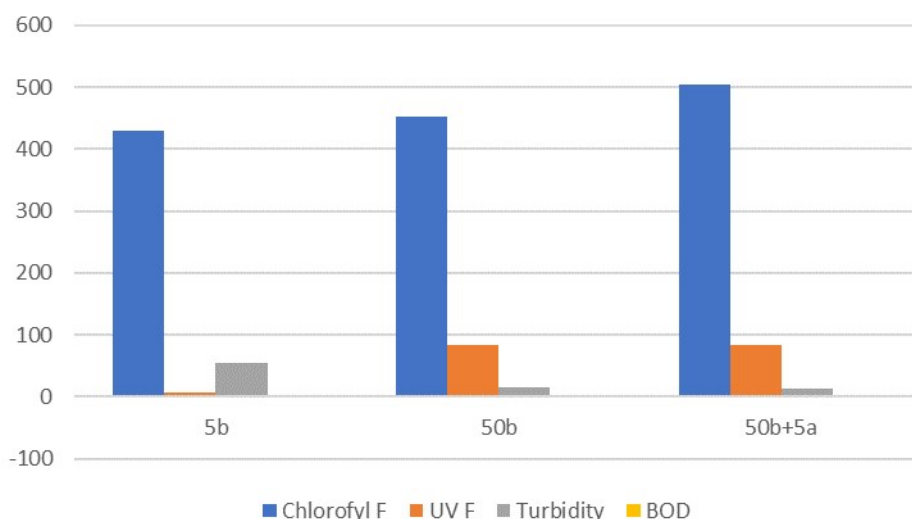
Met een zelfde hoeveelheid bacteriën als in het vorige experiment (5ml) wordt een zelfde CF waarde gemeten. Wanneer de hoeveelheid bacteriën 10x hoger is (50ml) stijgt CF slechts met 5% (22 punten) Wanneer hier 5ml algen aan worden toegevoegd (met een veel lagere cel dichtheid dan de bacteriën) neemt de CF waarde met ruim 11% (53 punten) toe.

UV-F neemt sterk toe met de toename van bacteriën van 5 naar 50ml, de toevoeging van 5ml algen heeft geen effect op de UVF waarde.

Troebelheid neemt af naarmate er meer bacteriën toegevoegd worden (omgekeerde was verwacht)

Tabel 9. Overzicht van 4 sensoren

	5ml bacteriën	50ml bacteriën	50ml bacteriën+ 5ml algen
CF-Algen	430	452	505
UV F (OS)	8	83	84
Troebelheid	54	15	14
BOD	-0,3	-0,3	0,3



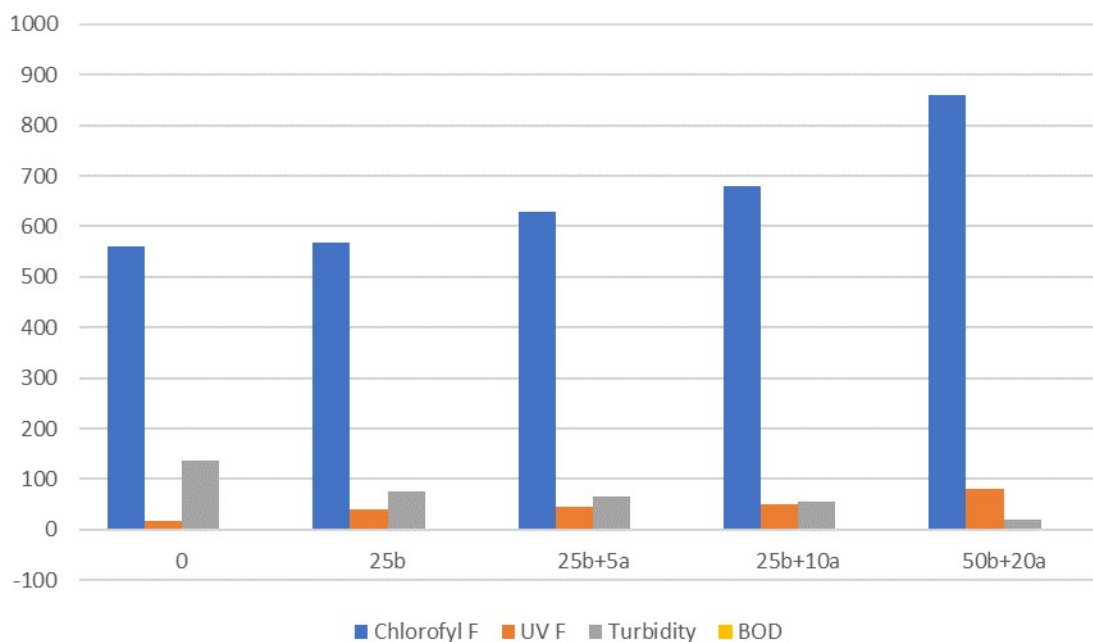
Figuur 33. Overzicht van vier sensoren CF-Algen, UV-F (OS), Troebelheid en BOD v2 metingen met bacteriën (controle (0), 50 mL bacteriën en 50 mL bacteriën en 5 mL algen).

De meetopstelling is vervolgens met drainwater van een paprikateelt gespoeld. Hier is vervolgens 25 ml bacteriën aan toegevoegd, daarna aangevuld met 5ml algen, en vervolgens nogmaals 5ml algen. Hierna is het systeem leeggemaakt, schoon gemaakt en opnieuw gevuld met drainwater waaraan 50 ml bacteriën en 20 ml alg is toegevoegd.

In het gebruikte drainwater zitten vermoedelijk al verontreinigingen. Het drainwater zonder toevoegingen van algen of bacteriën geeft een CF waarde 560, toevoeging van 25 ml bacteriën zorgt voor een stijging van slechts 1,5% (8 punten). Toevoeging van 5ml algen geeft een stijging van 10% (62 punten). Verdubbeling van de hoeveelheid bacteriën en algen zorgt voor een stijging van 20% (180 punten). UV-F lijkt sterker te reageren op toevoeging van bacteriën dan op toevoeging van algen.

Tabel 10. Overzicht van 4 sensoren

	0	25ml b	25ml b+5ml a	25ml b+10ml a	50ml b+20ml a
CF-Algen	560	568	630	680	860
UV F (OS)	18	40	45	50	80
Troebelheid	136	76	66	54	19
BOD	-0,02	1	-0,22	0,2	-0,35



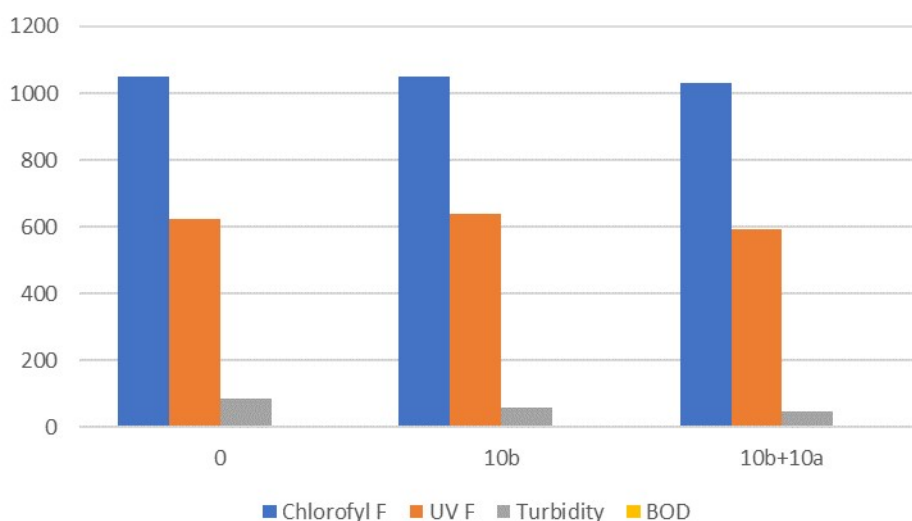
Figuur 34. Overzicht van vier sensoren CF-Algen, UV-F (OS), Troebelheid en BOD v2 metingen met bacteriën (controle (0), 25 mL bacteriën, 25 mL bacteriën en 5 mL algen, 25 mL bacteriën en 10 mL algen, 50 mL bacteriën en 20 mL algen).

2.4.3 Effect van bacteriën, algen en troebelheid

De meetopstelling is gespoeld met water uit een biologisch *aquaponics* systeem. Hier is vervolgens 10ml bacteriën aan toegevoegd, later aangevuld met 10ml algen. Dit water bevatte een hoge concentratie aan microbieel leven. Hierdoor nemen zowel UV-F als CF niet of nauwelijks toe wanneer er bacteriën of algen worden toegevoegd. Troebelheid neemt wel iets af naarmate er bacteriën of algen toegevoegd worden.

Tabel 11. Overzicht van 4 sensoren

	0	10ml bacteriën	10ml bacteriën +10ml algen
CF-Algen	1050	1050	1030
UV F (OS)	623	640	593
Troebelheid	85	57	49
BOD	0,74	0,24	0,26



Figuur 35. Overzicht van vier sensoren CF-Algen, UV-F (OS), Troebelheid en BOD v2 metingen met bacteriën (controle (0), 10 mL bacteriën en 10 mL bacteriën met 10 mL algen).

2.4.4 Conclusie en discussie

- De algemene tendens is dat bacteriën vooral de UV Fluorescentie (Organische stof) beïnvloeden en dat algen, zoals beoogd, voornamelijk effect hebben op de Chlorofyl fluorescentie (CF Algen).
- Het effect op de UV-F sensor is onverwacht. Verwacht was dat bij hogere concentraties hier een hoger signaal gemeten zou worden. Het tegendeel blijkt echter te gebeuren. Troebelheid wordt gemeten door verstrooiing van licht, het kan zijn dat het signaal op een verkeerde manier verwerkt wordt en we hier kijken naar minder inkomend licht, doordat er meer biomassa is dat het licht verstrooid en er dus een omrekeningsfactor gebruikt moet worden.
- De waardes gemeten met de BOD v2 sensor waren niet bruikbaar. Tijdens sommige tests nam de BOD waarde toe wanneer er meer biomassa werd toegevoegd, in andere gevallen nam de BOD dan af of bleef deze gelijk.

2.5 Proef locatie praktijkbedrijf Potorchidee

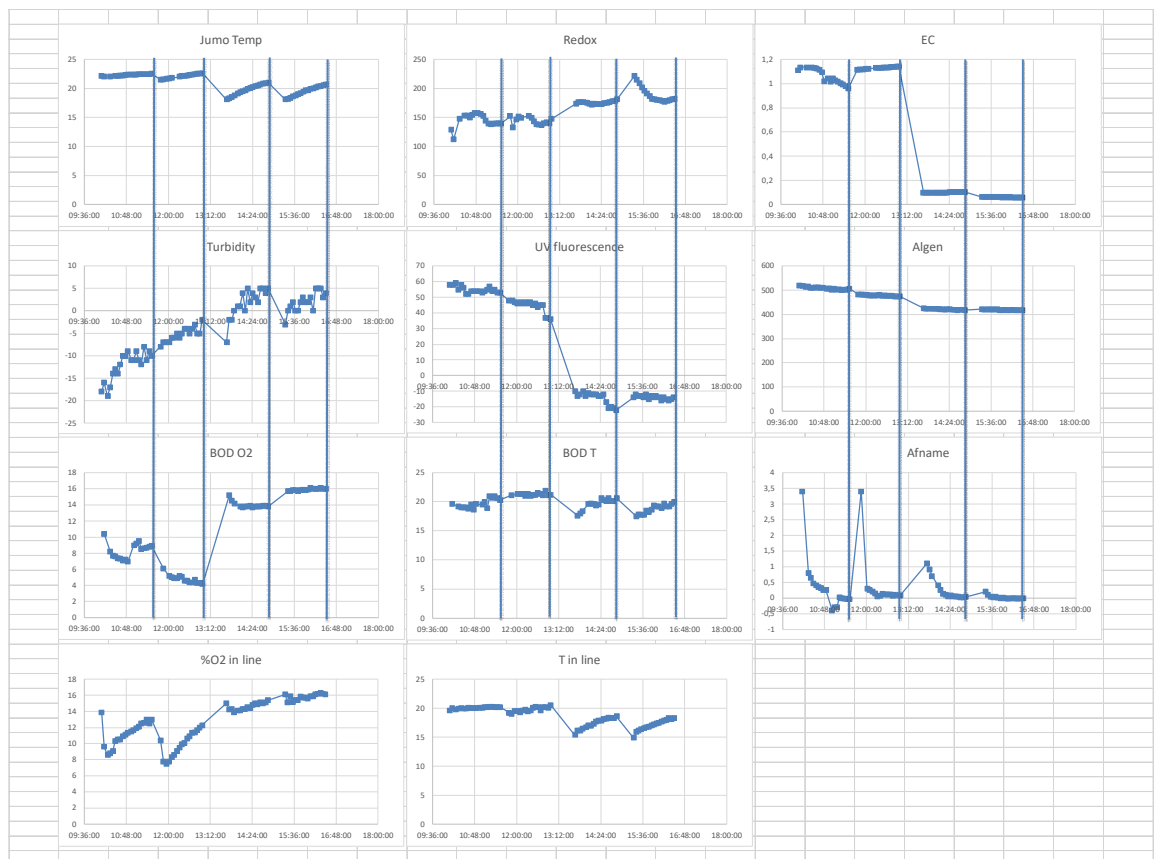
2.5.1 Aanpak

Bij de twee locaties van een potorchidee kweek bedrijf zijn metingen aan diverse watersamples gedaan om de verschillen in waterkwaliteit met dit systeem in kaart te brengen.

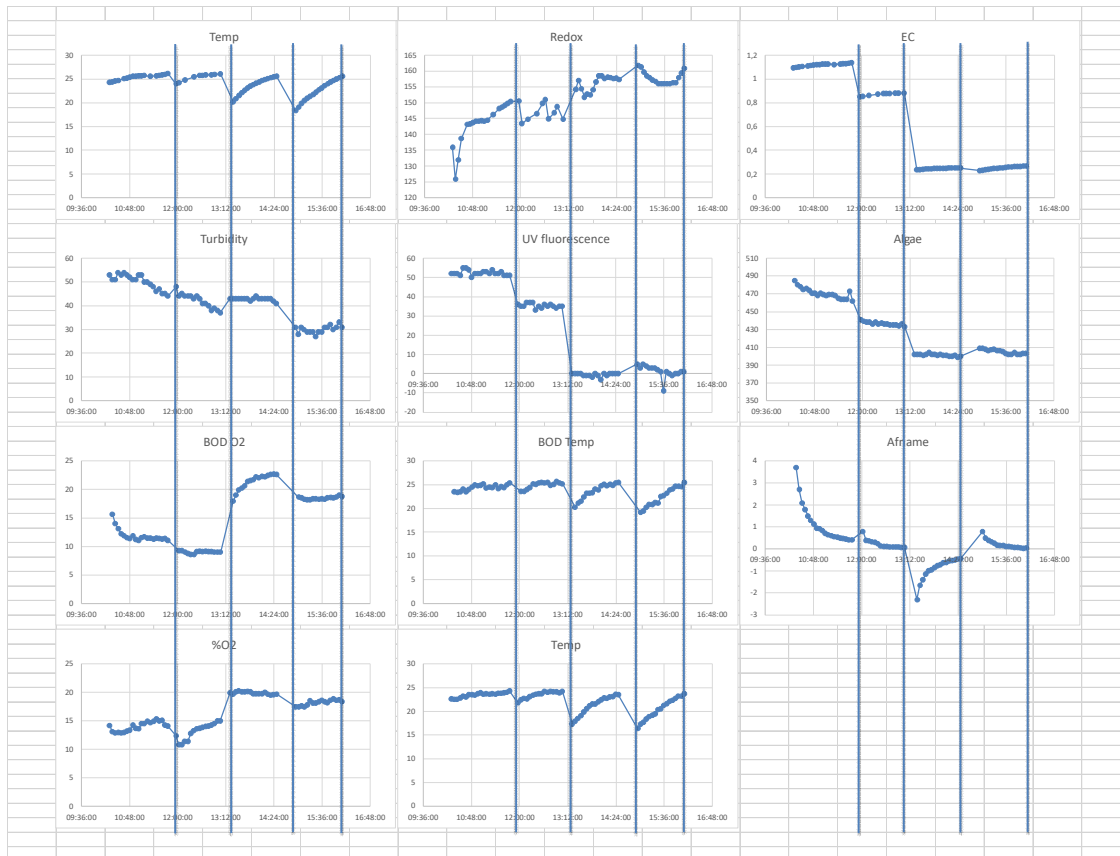
Tabel 12. *Overzicht van de watermonsters waarin is gemeten.*

Monsters	
1	Vuil drainwater (nr 1 KWR)
2	Ontsmet drainwater (nr 3 KWR)
3	Ontsmet hemelwater (nr 4 KWR)
4	Hemelwater (nr 2 KWR)

Locatie A



Locatie B



Figuur 36. Overzicht van het verloop van de waterkwaliteit afgelezen met de sensoren in de mobiele opstelling op twee praktijklocaties A, B).

Tabel 13. Overzicht van de twee locaties met de waterkwaliteitswaarden.

Levo Pouwelslaan		Temp	Redox	EC	Turb	UV flu	Algae	BOD O2	BOD T	Afname	O2	T
Sample 1:	10:01 Vuil Drainwater (Nr 1 KWR)	22,5	150	1,13	-10	55	500	11	20	0,25	9	20
Sample 2:	11:45 Ontsmet Drainwater (Nr 3 KWR)	23	150	1,13	-5	48	480	6	21	0,11	6	20
Sample 3:	13:30 Ontsmet Hemelwater (Nr 4 KWR)	18	173	0,1	5	-10	420	15	18	0,03	14	15
Sample 4:	15:15 Hemelwater (Nr 2 KWR)	18	177	0,06	5	-10	420	16	17	0	16	15
Levo Herenwerf		Temp	Redox	EC	Turb	UV flu	Algae	BOD O2	BOD T	Afname	O2	T
Sample 1:	10:15 Vuil Drainwater (Nr 1 KWR)	24	145	1,15	50	50	470	12	25	0,42	13	23
Sample 2:	11:55 Ontsmet Drainwater (Nr 3 KWR)	24	145	0,87	45	38	435	9	25	0,073	11	22
Sample 3:	13:15 Ontsmet Hemelwater (Nr 4 KWR)	20	158	0,25	42	0	400	22	20	-0,43	20	18
Sample 4:	14:55 Hemelwater (Nr 2 KWR)	18	160	0,25	30	0	400	18	19	0,033	18	16

2.5.2 Conclusie en discussie

- Het grootste verschil tussen beide locaties is het zuurstof gehalte van de diverse monsters. De vuile drain en ontsmette drain van locatie A zijn laag en waarschijnlijk in het bassin nog lager (monstername probleem).
- De zuurstofgehalten van het Hemelwater is op locatie B goed.
- De UV fluorescentie van locatie B heeft een aanzienlijk lagere waarde (minder micro-organismen)

3 Discussie

3.1 Functioneren mobiele opstelling

Het project heeft een prototype mobiele opstelling opgeleverd. De opstelling is relatief *low-tech* zijn en was snel klaar voor gebruik in de praktijk.

Voor de meeste sensoren werden bestaande commerciële sensoren gebruikt. Uitzondering was het BOD systeem waarmee een schatting mogelijk zou worden van het aerobe kiemgetal aan bacteriën. Het prototype werd ontworpen aan de hand van de technische specificaties van betreffende materialen en gemaakt met “simpele middelen” om de kostprijs laag te houden, d.i. bestaande PVC waterafvoer materialen. Vervolgens werd een tweede en verbeterde versie gemaakt.

Er werd getoetst of er geen interactie is tussen de sensoren. Er werd geen interferentie gezien tussen de signalen van de sensoren. De pomp en kleppen en sluitstukken voldeden. In onderstaande Tabel 14 wordt een overzicht gegeven van sensoren en de geschiktheid voor het systeem.

Tabel 14. Overzicht van resultaten per sensor in de diverse toetsen.

Sensor	Lab-toets		Praktijk	Lab-toets interacties
	separaat	in opstelling		
pH	+	+	+	<i>n.v.t.</i>
EC	+	+	+	<i>n.v.t.</i>
UV-F (OS)	+	+	weinig OS	-
CF-Algen	+	+	weinig algen	+
Troebelheid	+	+	weinig troebel	-
O ₂	+	+	+	<i>n.v.t.</i>
ORP (redox)	+	+	Schatting van CZV, kiemgetal, <i>Fusarium</i> , pH	<i>n.v.t.</i>
BOD v1/v2	<i>n.v.t.</i>	-	-	-

Hieruit valt af te lezen dat de sensoren voor pH, EC, CF-Algen, O₂ en ORP goed functioneren. De sensoren voor Troebelheid, Organische stof (UV-F) en BOD voldoen nog niet. In de praktijk werd er weinig organische stof (OS), algen en troebelheid aangetroffen (zie tabel 14).

De BOD meting heeft waarschijnlijk langer nodig om een significante afname in O₂ te detecteren. Het in evenwicht komen van samples duurt langer dan de veranderingen in afname van zuurstof door micro-organismen. Het systeem kan mogelijk verbeterd worden door injectie van een eenvoudig opneembare koolstof bron en eventueel zuurstof (indien er van beide weinig aanwezig is in de waterstroom).

De sensoren voor het meten van Redox, Zuurstof, Algen, UV fluorescentie en Zuurstof kunnen een goede indicatie geven van de waterkwaliteit.

De CF-Algen sensor viel op omdat deze zeer gevoelig bleek en de gemeten waarden correleren goed met de toevoegde hoeveelheid algen, zelfs bij een drooggewicht van 15 mg/L werd al een significante stijging gemeten. Een fluorescent signaal van 861 staat voor 90 droog-gewicht (dw) per L aan algen.

De sensoren voor het meten van Redox, Zuurstof, Algen, UV fluorescentie en Zuurstof kunnen een goed beeld geven van de waterkwaliteit.

Het CZV is gebaseerd op het feit dat bijna alle organische stoffen volledig geoxideerd worden tot CO₂ met behulp van een sterke oxidator onder (de voor sterke oxidatoren noodzakelijke) zure omstandigheden. In tegenstelling tot het biologisch zuurstofverbruik (BZV) bepaalt het CZV de oxidatie van bijna de volledige hoeveelheid organisch materiaal tot koolstofdioxide in het water. Daarom maakt het CZV geen onderscheid tussen biologisch actieve organische stoffen en biologisch inactieve organische stoffen. Daarentegen heeft het

CZV als duidelijk voordeel dat de bepaling slechts 3 uur duurt tegenover 5-7 dagen voor het BZV. Het CZV wordt gemeten volgens de ISO 6060 richtlijn (bron: Wikipedia) met een chloorgehalte onder 1000 mg/L.

3.2 Meerwaarde voor de teelt

Bij aanvang van het project was er de verwachting dat er gaande weg meer kennis opgebouwd zou worden over de meerwaarde van een meetsysteem voor het bepalen van de waterkwaliteit. Het idee was dat een systeem meer informatie zou kunnen geven dan de sensoren afzonderlijk.

Door het inzetten van een praktijkproef werd hier meteen al binnen dit project een meerwaarde gevonden. Bij gebruik in de praktijk kan er nog meer geleerd worden als praktijk ervaringen gecombineerd worden met (een combinatie van) de meetwaarden in de opstelling.

Ondanks dat de BOD v1 en v2 sensoren geen betrouwbaar beeld opleverde over de hoeveelheid (aerobe) bacteriën in het systeem, gaf de ORP sensor (redox potentiaal) een onverwacht resultaat: er werd op de praktijk locatie een relatie gevonden tussen ORP en pH, CZV, aerobe kiemgetal van bacteriën en *Fusarium* spp. Opgemerkt dient te worden dat bijna alle watermonsters bijna geen troebelheid en algen bevatte. Dus het is onzeker of die relaties overeind blijven als er meer algen en troebelheid aanwezig is.

In het algemeen wordt een ORP sensor gebruikt als indicator voor desinfectie of het zgn. antimicrobieel potentiaal door het effect van toevoeging met een oxiderende werking o.a. ozon, waterstofperoxide en chloor. Een ORP getal wordt in waterbehandeling of zwembaden gebruikt als maat voor de activiteit van een desinfectans (en niet voor de hoeveelheid *per se*). Bij een getal hoger dan 485 mV wordt microbiologie zoals *E. coli*, *Salmonella*, *Listeria* en thermotolerante coliforme binnen 300 seconden gedood. Bij een getal van 650-700 mV wordt microbiologie binnen 30 seconden afgedood (Suslow 2004). Uitzonderingen zijn sporevormers zoals *Cryptosporidium* (humaan pathogeen contaminant in voedsel). Aerobe processen zoals nitrificatie vinden plaats bij een ORP tussen 100-350 mV, en (anaerobe) denitrificatie tussen -50 en +50, sulfide (H_2S), vorming van vrij-fosfor, fermentatie -50 en -250 mV en uiteindelijk methaan productie tussen -175 en -400 mV (Anoniem 2008). Er is dus een relatie tussen ORP en zuurstof: hoe hoger de ORP, des te meer (reactief) zuurstof in het water (oxidatie); bij negatieve ORP getallen zijn de omstandigheden reducerend (en anaeroob). In dit onderzoek bleef het zuurstof min-of-meer gelijk.

Door meer informatie toe te voegen aan ORP getallen (i.c.m. zuurstof en pH) kan de tuinbouw sector leren en de ORP een nieuwe plaats geven binnen het bestaande meetinstrumentarium.

Al eerder werd er een relatie gezien tussen aerobe kiemgetal aan bacteriën en *Fusarium* spp. (Korteland *et al.* 2019) Deze relatie moet voorzichtig geïnterpreteerd worden: De hoeveelheid bacteriën *an sich* is niet per definitie slecht voor de teelt. Maar indien er *Fusarium* spp. aanwezig is, dan is een bepaling van de hoeveelheid bacteriën met behulp van een aerobe kiemgetal een goede indicator voor de hoeveelheid *Fusarium* spp. in het systeem. Omgekeerd is dan het aerobe kiemgetal van bacteriën een goede maat voor het bepalen van de effectiviteit van (UV/oxidatie) ontsmetting en andere waterbehandelingen. Ook werd een relatie gevonden tussen de aanwezigheid van *Fusarium* spp. en troebelheid. Voor de volledigheid moet hier genoemd worden dat onder de noemer *Fusarium* spp. alle soorten vallen met de genus naam *Fusarium*. Dit kan dus ook niet-pathogene soorten betreffen. Maar in onze ervaring komen niet-schadelijke soorten binnen een niet-grond gebonden tuinbouwsysteem niet heel vaak voor. Vandaar dat aangenomen kan worden dat het hier gaat om schadelijke soorten zoals *F. solani*, *F. oxysporum* f.sp. *Lycopersici*, *F. proliferatum* e.a.

Een relatie met pH kan verklaard doordat beide een karakterisering geven van het water op basis van geleidbaarheid: pH wordt bepaald door de hoeveelheid H^+ en OH^- ionen en het redox potentiaal door de elektronen overdracht tussen moleculen en een electrode. In het algemeen daalt de ORP met een toename van pH.

3.3 Eerste ontwerp dashboard

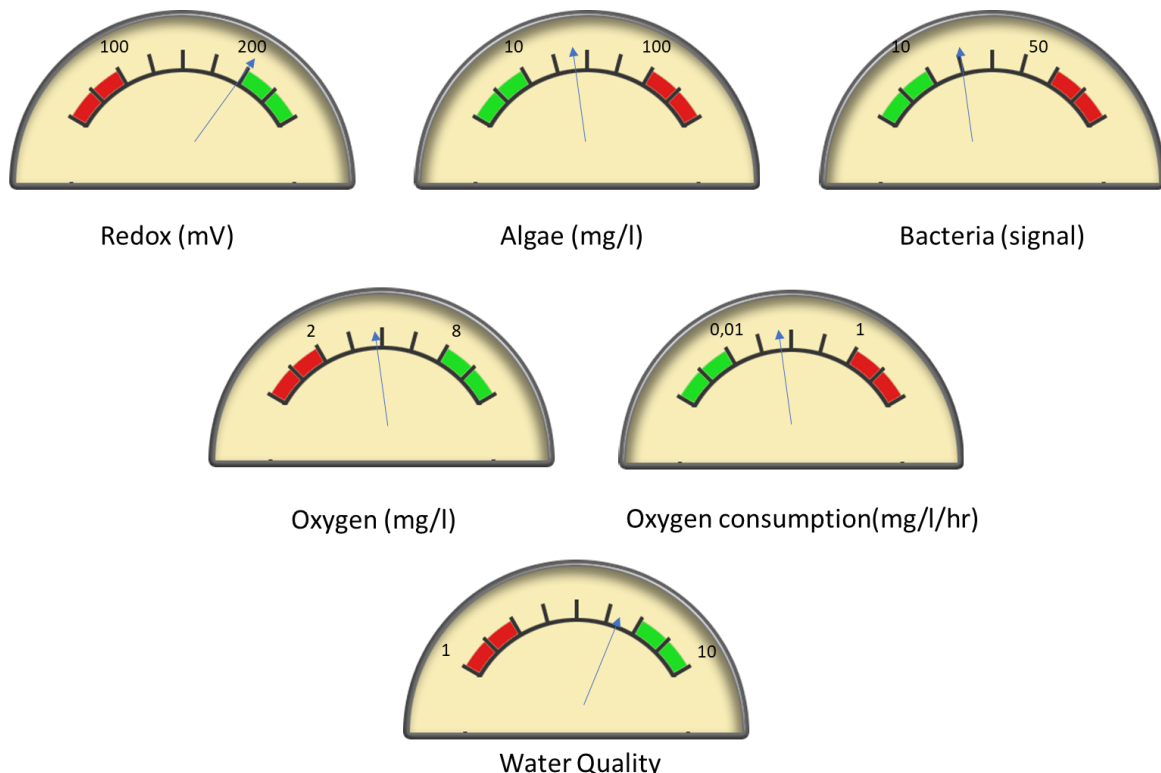
Om de complexiteit van de meetwaarde meer relevantie en aansluiting te geven voor/aan de teelt, kan er gebruik worden gemaakt van een software dashboard (zie figuur 37). Hierin kunnen complexe samenhangen binnen metingen, zoals ORP als indicator voor *Fusarium* en kiemgetallen aan bacteriën afhankelijk van pH en zuurstof, eenvoudig gevisualiseerd worden.

Bij de meter van voor ORP (Redox) worden twee kleuren gebruikt, namelijk rood (reducerend, anaeroob), en groen (oxiderend, aeroob). De EC blijft zoals gebruikelijk, en is van belang voor de voeding van planten maar niet van belang voor de waterkwaliteit. Troebelheid was, in deze studie inclusief beide praktijklocaties, niet erg hoog, namelijk tot 60 NTU en dus voor het oog “helder” water. Toch werd een relatie gezien tussen de mate van troebelheid en de hoeveelheid *Fusarium* spp, in het water. Dus ook hier is duidelijk meerwaarde voor het gebruik van een sensor omdat de verschillen met het oog niet waarneembaar zijn en er belangrijke informatie uit voort komt.

Het zuurstof van 4% komt overeen met 2 mg/L en 8 met 18% zuurstof. Het is duidelijk dat er zuurstof in het systeem aanwezig moet zijn om te voorkomen dat anaerobe processen plaats vinden en er schadelijke stoffen worden geproduceerd. Ook grijpen soorten zoals pathogene *Pythium* soorten in het algemeen hun kans, omdat ze beter bestand zijn dan hun bacteriële concurrenten en antagonisten in de wortelomgeving om te functioneren onder anaerobe omstandigheden en de schade aan de plant door aantasting met *Pythium* onder stressvolle omstandigheden sneller verlopen (Suton *et al.* 2006).

BOD afname: 0,1 mg/L/hr is zuurstof verbruik zou overeen kunnen komen met een kiemgetal 10^4 , en 1 mg/L/hr met een aerobe kiemgetal van 10^7 . Dit laatste is hoog, omdat in een tijdsbestek van 8 uur alle zuurstof wordt verbruikt.

Tot slot kan een meter worden ontworpen voor de algemene waterkwaliteit, waarbij alle afzonderlijke waarden samen worden gebracht in een overzichtswaarde.



Figuur 37. Overzicht van het beoogd dashboard met zes integrale parameters voor waterkwaliteit, namelijk redox (ORP), algen, bacteriën, zuurstof, biologische zuurstof consumptie (BOD) en waterkwaliteit op basis van een integratie van de sensoren.

3.4 Praktijk ervaringen

Er zijn aanvullende tests van het systeem uitgevoerd in een situatie waarvoor het instrument oorspronkelijk ontworpen was, namelijk in-proces meten i.p.v. het doormeten van samples. Daaruit is gebleken dat het systeem onafgebroken 2-3 maanden zonder noemenswaardige

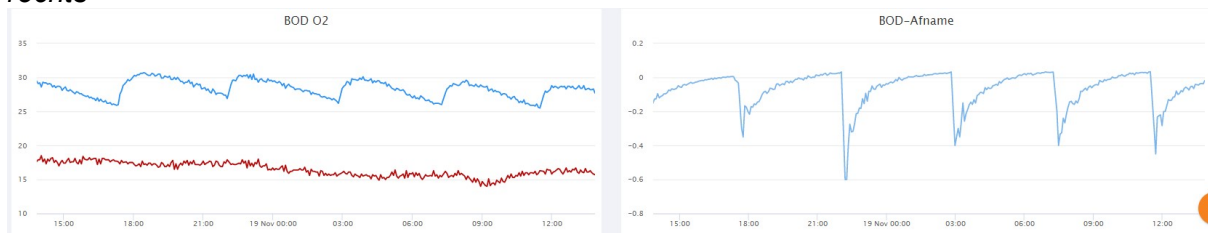
storing en onderhoud heeft gefunctioneerd. Een dashboard van een recente meetweek is gegeven in Figuur 38.



Figuur 38. Overzicht van resultaten van recente meetperiode van meetsysteem

Ook de metingen van de BOD geven hier een duidelijker beeld dan in de meetsessies met samples. Deze zijn weergegeven in figuur 39.

Figuur 39. Bod metingen van een in-proces toepassing van het meetsysteem (zuurstof niveau's links en afname berekeningen rechts)



Hier is duidelijk een afname in zuurstof te zien gedurende de meetperiode. Wat ook duidelijk is, is dat de berekende afname pas moet starten nadat evenwicht bereikt is, de initiële toename van zuurstof door het toelaten van een vers sample moet buiten beschouwing worden gelaten.

3.5 Aanbevelingen

Binnen dit project is gekeken naar de mogelijkheid om snel en eenvoudig een mobiele opstelling te maken voor het real-time monitoren van de waterkwaliteit voor de opkweek en teelt van gewassen binnen de glastuinbouw. Ondanks dat er complexe relaties zichtbaar gemaakt zijn, blijft er nog veel te ontdekken.

De relaties zijn niet altijd te verzinnen vanuit het onderzoek. De praktijk zal het verder op moeten pakken om gaandeweg meer inhoud te geven aan de parameters. Een voorbeeld is dat troebel water meer kans lijkt te geven op een slechte weggroei van planten of dat de aanwezigheid van ziekten of plagen in het systeem steeds samen vallen met een lage of negatieve ORP waarde.

Omdat de waarde van water in de toekomst toe zal nemen, is het waard te investeren in meer kennis over watersystemen op het tuinbouw bedrijf. De mobiliteit van het systeem draagt bij aan de toegevoegde waarde, omdat de kwaliteit van het water op het bedrijf enorm kan verschillen: van bassin en hemelwater en voedingsbakken tot teelthoeken en drain en de uiteindelijke opslag voor hergebruik en spui.

In deze studie komt naar voren het belang van ORP metingen voor de teelt. ORP werd al eerder gebruikt maar nog niet als schatter voor CZV, kiemgetallen aan aerobe bacteriën en de aanwezigheid van *Fusarium*. Achter een schijnbaar eenvoudige ORP meting gaat een

wereld schuil aan kennis. Veel kennis komt er uit de wereld van de watertechnologie en de biotechnologie.

Vooraf bij de metingen die gebaseerd zijn op licht en verstrooiing, zoals de Alg CF, UV-Fluorescentie (organische stof) en troebelheid, is het belangrijk om meerdere sensoren in te zetten. Dit wordt geïllustreerd in dit onderzoek met de interferentie tussen bacteriën en de UV Fluorescentie (Organische stof). Door meerdere sensoren in te zetten kan het signaal vaak beter geduid worden. Een enkele sensor voldoet dan niet.

Dit onderzoek is een eerste stap om sensoren zoals ORP en troebelheid in combinatie met o.a. pH en zuurstof, meer aandacht te geven als belangrijke meting voor de opkweek en teelt van gewassen in de glastuinbouw.

4 Dankwoord

Hierbij willen we KWR waterinstituut, Groen Agro Control, Plantum Werkgroep Glasgroente Gewasbescherming & Milieu, Brabant Plant en Levo Plant, Joost van Buul, Arno van den Bogert, Erwin van Vliet bedanken voor de hulp met de monsternames en het ter beschikking stellen van de locatie. Margreet Schoenmakers voor ondersteuning vanuit Glastuinbouw Nederland. Dit project werd uitgevoerd in samenwerking met KWR Waterinstituut (Nieuwegein) en werd mogelijk gemaakt door financiële ondersteuning van de glastuinbouw sector Stichting Kennis in je Kas en vanuit de Topsectoren T&U, Watertechnologie en STOWA

5 Referenties

- Anoniem (2008) ORP Management in Wastewater as an Indicator of Process Efficiency. YSI Environmental application note.
- Korteland, J., A.W.G. van der Wurff, I. van Marrewijk (2019) Schone vloeren: Metingen voor het monitoren van de hygiëne met grote-, en kleine schoonmaak in de opkweek als basis voor het kwaliteitssysteem hygiëne. In opdracht van Werkgroep Glasgroente Gewasbescherming en Milieu, Plantum.
- Salvador Ramírez-Flandes, Bernardo González, and Osvaldo Ullo (2019) Redox traits characterize the organization of global microbial communities. PNAS 116 (9) 3630-3635.
- Suslow, T.V. (2004) Oxidation-Reduction Potential (ORP) for Water Disinfection Monitoring, Control, and Documentation, ANR publication 8149, <https://doi.org/10.3733/ucanr.8149>.
- Sutton, John Clifford, Sopher, Coralie Rachelle, Owen-Going, Tony Nathaniel, Liu, Weizhong, Grodzinski, Bernard, Hall, John Christopher, & Benchimol, Ruth Linda. (2006). Etiology and epidemiology of Pythium root rot in hydroponic crops: current knowledge and perspectives. Summa Phytopathologica, 32(4), 307-321. <https://doi.org/10.1590/S0100-54052006000400001>
- van Ruijven, J., Blok, C., Beerling, E. A. M., & van Os, E. A. (2016). 'Standaard Water' voor toetsing zuiveringstechnologie voor de glastuinbouw. Wageningen UR. <https://edepot.wur.nl/383897>

Bijlage 1. Projectpartners



LTO Glaskracht

<https://www.ltoglaskrachtnederland.nl/>

In LTO Glaskracht Nederland werken LTO Noord Glaskracht, ZLTO en LLTB samen aan landelijke activiteiten op het gebied van sectorale beleidsbeïnvloeding, innovatie en kennisuitwisseling ten behoeve van het ondernemersnetwerk. Samen vertegenwoordigt LTO 70% van het totale glastuinbouwareaal en geeft invulling aan de landelijke activiteiten op het gebied van Arbeid, Energie, Plantgezondheid en Water & Omgeving.

Stichting Control Food & Flowers

<http://www.stfoodandflowers.nl/>

De Stichting Control Food & Flowers (SCFF) heeft sinds 2014 veel ervaring opgebouwd in de tuinbouw sector met betrekking tot waterkwaliteit, weerbaar telen en ontwerp en uitvoer van diverse metingen en onderzoek naar effectiviteit van middelen. De Stichting is betrokken bij divers onderzoek voor de tuinbouw, o.a. het maken van een Weerbaar Water systeem (WTU17002 - Microbieel gezond water in de glastuinbouw) waarbij er gestuurd wordt op microleven in waterstroom en wortelmilieu voor een weerbare teelt tegen ziekten met diverse glastuinbouw bedrijven. SCFF heeft de beschikking over (microbiologisch) laboratoria, proefkassen en meetapparatuur (breed scala aan chromatografische apparatuur zoals HPLC met diverse detectoren zoals DAD, MS). Hierdoor is het, samen met meetbedrijf GAC en Sendot sensoren de meest geschikte partner voor het uitvoeren en ontwikkelen van metingen en de doorvoer naar de praktijk.

Sendot

<http://www.sendot.nl/>

Sendot research is een bedrijf dat innovatieve sensoren ontwikkelt, produceert en vermarkt. Deze sensoren zijn gebaseerd op optische principes. Sendot research heeft momenteel sensoren voor Zuurstof, Temperatuur, pH en Chlorofylfluorescentie gebaseerd op dit principe. In de toekomst zal Sendot sensoren voor andere parameters gebaseerd op hetzelfde principe ontwikkelen. Sendot heeft een lange traditie in optimalisatie van diverse sensoren in de tuinbouw en gerelateerde sectoren. Sendot is betrokken in een aantal samenwerkingsprojecten waarmee het op innovatieve wijze sensoren inzet.

Groen Agro Control

<http://www.agrocontrol.nl>

Groen Agro Control is een laboratorium en

adviesbureau gericht op de AGF-keten en de levensmiddelensector. GAC biedt voor het controleren van de kwaliteit van ontsmettingsapparatuur een standaard pakket aan metingen aan, w.o. kiemgetal en residuen. De werkzaamheden richten zich met name op fysische, chemische en microbiologische aspecten in de productie, handel en verwerking van groente en fruit en levensmiddelen. De ontwikkelingen in het laboratorium zijn erop gericht om zo goed mogelijk aan de wensen van onze klanten te voldoen. Het lab is ISO 17025 geaccrediteerd. GAC ondersteunt de sector door het aanbieden van meetpakketten voor het bepalen van de waterkwaliteit en voor het bepalen van de hygiëne en de effectiviteit van ontsmetters.

Plantum

<https://www.plantum.nl/>

Plantum is de branchevereniging voor bedrijven in de sector plantaardig uitgangsmateriaal. De bedrijven zijn actief in veredeling, vermeerdering en opkweek van zaden, bollen, knollen, stekken en jonge planten van land- en tuinbouwgewassen. Plantum treedt namens de sector proactief op als gesprekspartner voor overheden, politiek, sociale partners en samenleving. Versteving van de internationale concurrentiepositie van de sector en van groepen aangesloten leden staat hierbij centraal. Daarnaast creëert Plantum platforms, levert diensten en is vraagbaak voor de leden.

KWR Watercycle Research Institute

<https://www.kwrwater.nl/>

KWR Watercycle Research Institute is een wateronderzoeksinstituut waar vooral veel onderzoek wordt gedaan voor de Nederlandse drinkwaterbedrijven, welke ook aandeelhouders zijn. Bridging Science to Practice is het motto van KWR. Onze onderzoekers werken op het snijvlak van wetenschap, bedrijfsleven en samenleving. Hun kracht schuilt in de vertaling van wetenschappelijke kennis naar toepasbare praktijkoplossingen voor eindgebruikers. We hebben een stevige reputatie opgebouwd als innovatieversneller en internationale netwerkbouwer van topniveau. In (inter)nationale samenwerkingsverbanden vervullen we steeds vaker een coördinerende rol. KWR heeft vanuit dit onderzoek een lange staat van dienst voor wat betreft kennis over biologische activiteit/stabiliteit van water en het beheersen hiervan. KWR beschikt over een uitgebreid gecertificeerd microbiologisch laboratorium, en over een proefhal waar testopstellingen worden ontwikkeld en getest.





uw partner voor teeltzekerheid!

De Stichting Control in Food & Flowers voert onderzoek uit op het gebied van agrarische productie, voeding en hieraan gerelateerde biotechnologie. De Stichting heeft als doel het bevorderen van innovatieve technologische kennis op het gebied van productie en kwaliteit van levensmiddelen en agrarische producten in de sector. Dit vindt plaats door het uitvoeren van onderzoek en ontwikkeling, samenwerken met andere organisaties, bevorderen van technologische kennis, kennisoverdracht, voorlichting en wetenschappelijke publicaties.

Stichting Control in Food & Flowers
Distributieweg 1
2645 EG Delfgauw
T: +31(0) 15-2858124
E: info@stfoodandflowers.nl
www.stfoodandflowers.nl
KvK: 61916471