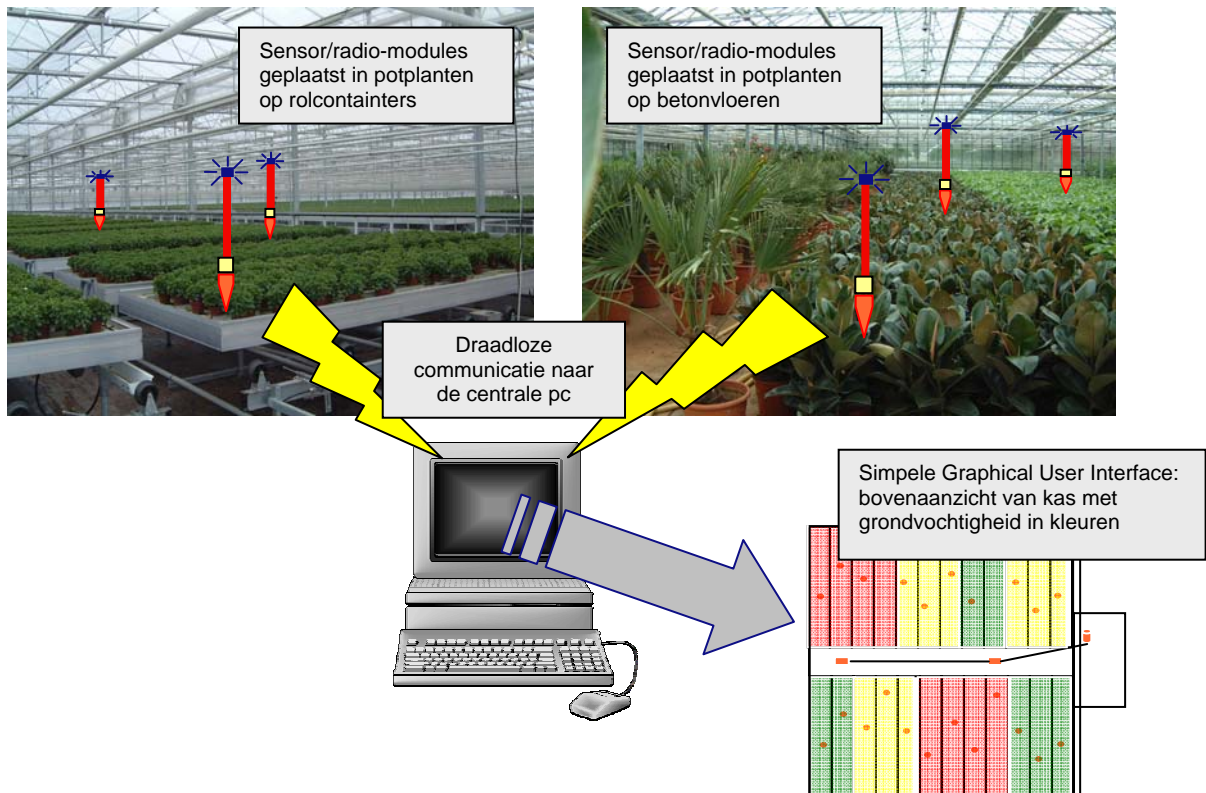


Sense-u-plants

Draadloos monitoren van vochtgehalten bij potplanten



Deelnemers onderzoek:

Growlab Instruments
TNO Informatie- en Communicatie Technologie
Fytagoras

Eindrapportage

Januari 2008

Projectnummer PT: 12692
Looptijd project: Augustus 2006 t/m december 2007

Deelnemers onderzoek: **Growlab Instruments:**
Barry Zuidgeest, Paul Arkesteijn

TNO Informatie- en Communicatie Technologie:
Berry Vetjens, Marinus Blange, Ilona Clintjens,
Miodrag Djurica, Yetao Zhu

Fytagoras:
Wessel Holtman, Berry Oppedijk

All rights reserved. No part of this report may be reproduced and/or published in any form by print, photoprint, microfilm or any other means without the previous written permission from TNO.

All information which is classified according to Dutch regulations shall be treated by the recipient in the same way as classified information of corresponding value in his own country. No part of this information will be disclosed to any third party.

In case this report was drafted on instructions, the rights and obligations of contracting parties are subject to either the Standard Conditions for Research Instructions given to TNO, or the relevant agreement concluded between the contracting parties. Submitting the report for inspection to parties who have a direct interest is permitted.

© 2008 TNO

Inhoudsopgave

1. Publiekssamenvatting	4
2. Inleiding	5
3. Materialen & Methoden	5
3.1. Het concept	5
3.2. De materialen van de hard- en software	6
3.3. De methode	8
4. Resultaten	8
5. Discussie	12
6. Conclusie	12

1. Publiekssamenvatting

Sense-u-plants: Draadloos meetsysteem voor het bepalen van de grondvochtigheid bij potplanten.

Veel kwekers bepalen met de hand de grondvochtigheid door enkele planten op te tillen, de pot te verwijderen en het wortelmilieu te beoordelen. Dit kost veel tijd en het is vaak onmogelijk om de hele kas te bekijken. Sommige planten kunnen daardoor te veel water krijgen of andere juist te weinig. Het resultaat is productvertraging, kwaliteitsvermindering en soms zelfs uitval. Als verschillende medewerkers de potten beoordelen kan dat leiden tot niet uniforme watergiften.

Om hiervoor een oplossing te bieden is door Growlab Instruments, TNO Informatie- en Communicatie Technologie en Fytagoras een concept ontwikkeld, waarbij met behulp van draadloze sensoren de grondvochtigheid van potplantgewassen wordt geregistreerd, de data draadloos wordt verstuurd naar een centrale computer en de informatie vervolgens zichtbaar wordt voor de kweker. De kweker kan dan aan de hand van de informatie bepalen of bewatering van de potplanten nodig is.

Het ontwikkelde concept Sense-u-plants bestaat uit 20 sensoren met radiomodules, een draadloos netwerk en een softwarepakket voor op een PC . De radiomodules met daaraan de sensoren zitten in een waterdichte behuizing en werken op batterijen. Hierdoor kunnen deze overal in de kas geplaatst worden. Het draadloze netwerk werkt op 220 Volt en wordt centraal in de kas opgehangen. De sensoren meten het bodemvocht, en geven dit via het draadloze netwerk door aan een centrale computer waar de kweker de gegevens kan bekijken. Het aantal sensoren kan uitgebreid worden.

Hoe werkt het? Een sensor wordt in de grond van een potplant gestoken. De sensor meet elke 7 minuten het bodemvochtgehalte van de plant en geeft dit door aan een computer. In een speciaal ontwikkelde applicatie zijn de gegevens grafisch zichtbaar. De kweker ziet van alle sensoren het laatste gemeten bodemvochtgehalte en tevens het verloop van het bodemvocht in de afgelopen periode in een grafiek. Op basis hiervan kan de kweker bepalen of het teeltvak waarin de sensor geplaatst is, bewaterd moet worden. Ook is het mogelijk meerdere sensoren met elkaar te middelen. De sensor volgt de baan van de potplant. Als de planten waarin de sensoren geplaatst zijn verkocht worden, kan de sensor opgepakt worden en weer bij een andere potplant geplaatst worden.

Het ontwikkelde Sense-u-plants heeft aanmerkelijke voordelen. De kweker heeft continu inzicht in de grondvochtigheid van alle representatieve potplanten door de gehele kas. De meting is uniform en betrouwbaar, omdat de sensor de juiste waarde van het bodemvochtgehalte meet. Van meer dan 10 verschillende grondsoorten (substraten) kan de bodemvochtigheid bepaald worden. Hierdoor is het systeem voor bijna alle potplantgewassen geschikt. Het systeem bespaart de kweker tijd: er hoeft minder de kas ingelopen te worden om de bodemvochtigheid te bepalen. Een korte historie van het bodemvochtgehalte wordt per sensor bijgehouden. Hiermee kan de watergift worden geoptimaliseerd. Het systeem is enorm gebruikersvriendelijk: kennis van netwerken is niet nodig.

2. Inleiding

Het doel van het project was om het concept te testen, waarbij met behulp van een draadloos monitoringssysteem de grondvochtigheid van potplantgewassen kan worden geregistreerd, en de data draadloos verstuurd kan worden naar een centrale computer, waar door middel van een softwareapplicatie de informatie voor de kweker zichtbaar wordt.

In het project zijn de onderstaande fasen met bijbehorende deliverables gespecificeerd:

- *Fase 1*
 - Formuleren pakket van eisen en wensen van de kweker (PvE) (zowel technische eisen als gebruikerseisen)
- *Fase 2*
 - Bepalen benodigde hardware (o.a. sensoren, behuizingen en routers, energie zuinige componenten)
 - Ontwikkelen netwerkintelligentie in complexe netwerktypologieën
- *Fase 3*
 - *Fase 3 a*
 - Ontwikkelen en produceren benodigde hardware
 - Proof of concept 1: Uitvoeren testen in lab (o.a. radiobereik, opstarten complexe netwerktypologieën met nieuwe hardware en software)
 - *Fase 3 b*
 - Ontwikkelen Graphical User Interface (GUI) voor kweker
 - Ontwikkelen meetcalibraties voor diverse soorten substraat (vertaling van meetsignaal naar grondvochtigheid)
- *Fase 4*
 - Proof of concept 2: Uitvoeren veldtesten multi-sensornetwerk in kas
 - Uitvoeren onderzoek naar ideale plek van de sensor in de pot
 - Uitvoeren gebruikerstesten (opstarten netwerk, verplaatsen modules en GUI)
- *Fase 5*
 - Evalueren en doen van aanbevelingen voor vervolgonderzoek (verbeterslagen voor software en beheer)

3. Materialen & Methoden

3.1 Het concept

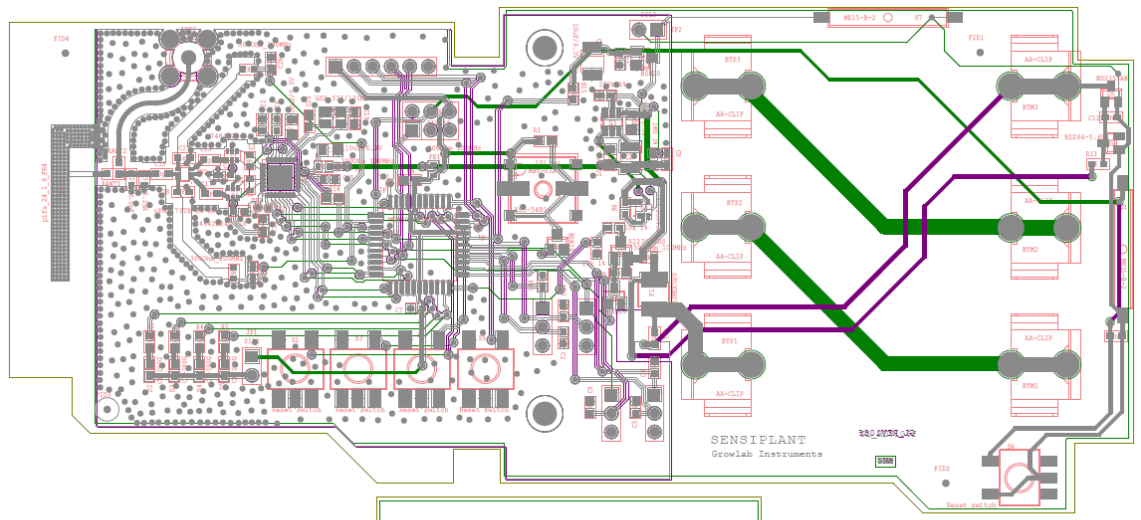
Binnen het project Sense-u-plants is een concept ontwikkeld waarbij de grondvochtigheid van potplantgewassen in de kas wordt gemeten met behulp van sensoren. De sensoren geven de gemeten grondvochtigheid door aan een aggregatiepunt, welke de gegevens weer doorgeven aan een centrale computer. De kweker kan de gegevens van de sensoren bekijken in een applicatie en op basis van de gegevens bepalen of de planten in een vak bewaterd moeten worden. Het ontwikkelde concept bestaat uit 20 sensoren, 20 radiomodules, 5 aggregatiepunten (draadloos netwerk) en software. Hiermee kan een oppervlakte van circa 2 ha afgedekt worden.

3.2 De materialen van de hard- en software

Voor de hardware zijn de volgende materialen gekozen (op basis van PvE):

- De PCB

Voor het Sense-u-plants systeem is een nieuwe Print Circuit Board (PCB) ontwikkeld (zie figuur 1). Op deze PCB zijn de microchip en radiochip overgenomen en is een aansluitblok gemaakt voor de aansluiting van maximaal 8 metingen. De PCB wordt gevoed met drie penlite (AA) batterijen die tevens de voeding van de sensor verzorgen.



Figuur 1: Overzicht van de nieuw ontwikkelde PCB

- De behuizing

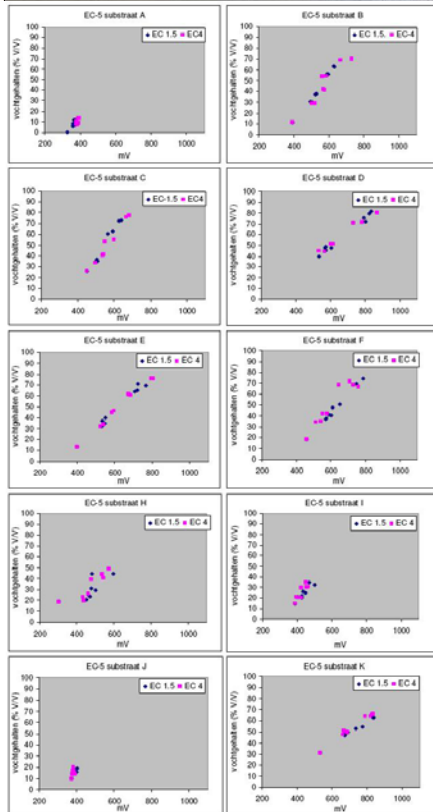
Op basis van het PvE is een nieuwe behuizing ontwikkeld, waarin de PCB een perfecte pasvorm heeft. De behuizing is spatwater- en stofdicht. In de behuizing zitten 3 schroefdraadbussen gemonteerd voor bijvoorbeeld een magneetbevestiging om zo een eenvoudige bevestiging in de kas te realiseren. De behuizing wordt wit uitgevoerd, om stralingswarmte te voorkomen en deze goed zichtbaar is tussen het gewas.



Figuur 2: De behuizing

- De sensoren

Voor het meten van het watergehalte is gekozen voor reeds bestaande sensoren van Decagon. Deze fabrikant levert watergehalte sensoren in 3 lengten; 5, 10 en 20 cm. De sensoren zijn onderhoudsvrij, meten elektronisch en zijn te kalibreren naar verschillende substraat soorten.



Figuur 9. Relatie tussen meetsignaal en volumetrisch vochtgehalte bij verschillende substraten A-K bij de twee verzadigings-EC's voor de EC-5 sensor.

Figuur 4: Kalibraties naar substraatvorm

- Intelligente software

Voor Sense-u-plants is intelligente software ontwikkeld waardoor de sensoren draadloos met elkaar communiceren. De communicatie is gebaseerd op een zelforganiserend protocol. Dat wil zeggen de sensoren bepalen zelf aan welk aggregatiepunt zij de gegevens doorgeven: de sensoren zoeken zelf naar het dichtstbijzijnde aggregatiepunt en maken hiermee elektronisch contact. De ontwikkelde software is op de PCB geïmplementeerd.

3.3 De methode

Voor het ontwikkelen van het Sense-u-plants concept is de volgende methode gebruikt:

- Growlab Instruments en TNO ICT hebben onderzoek gedaan naar de wensen en eisen van de kweker. Dit onderzoek is uitgevoerd onder 5 kwekers. Deze wensen en eisen zijn op 21 december 2006 besproken met en goedgekeurd door de begeleidingscommissie van Productschap Tuinbouw die toegekend zijn aan het project, namelijk de heren Stefan Slijkerman en Dion ten Have.
- Het concept is door Growlab Instruments en TNO ICT ontwikkeld conform het opgestelde Programma van Eisen en Wensen.
- Het eerste proof of concept van het uiteindelijke concept (test met 20 sensoren en 5 routers) is allereerst in een laboratorium situatie getest.
- Vervolgens heeft een proof of concept 2 plaatsgevonden: Sense-u-plants is in de kas getest. Hierbij zijn dezelfde testen uitgevoerd als in de laboratoriumomgeving.
- Fytagoras heeft een onderzoek uitgevoerd naar de ideale positie van de sensor in de pot.
- Sense-u-plants is samen met de kweker geëvalueerd

4. Resultaten

In het project Sense-u-plants zijn door het projectteam de volgende resultaten gerealiseerd:

- Programma van eisen en wensen van de tuinder
 - Functionele eisen
 - Het systeem meldt een te lage grondvochtigheid.
 - De sensor meet en registreert tenminste één keer per 7 minuten.
 - De output van het sensornetwerk heeft de mogelijkheid om in de toekomst aan het automatische watergift systeem gekoppeld te worden.
 - Het systeem maakt gebruik van het door TNO ontwikkelde self-organizing netwerkprotocol.
 - Het systeem kan zichzelf organiseren.
 - De eerste release werkt op 2.4 GHz.
 - Het systeem is uit te rusten met nieuwe of andere sensoren.
 - De sensor werkt minimaal 1 jaar op de batterij(en).
 - Het systeem beïnvloedt de meting van de vochtsensor niet.
 - Gebruikerseisen
 - Het product is voorzien van een gebruiksaanwijzing.
 - Het product is tussen de plantenspotten te plaatsen zonder deze te hoeven verplaatsen.
 - De hoogte van de sensor hindert de voor de teelt benodigde apparatuur niet.
 - De batterijen zijn met drie handelingen te vervangen.

- De informatie over de grondvochtigheid wordt in kleur en beperkt in tekst weergegeven.
 - Het product is met één eenvoudige handeling in/uit te schakelen.
 - Het systeem kan gebruikt worden bij potten met een diameter tussen de 7 en 21 cm.
 - De sensor heeft alleen onderhoud nodig als de batterij vervangen moet worden.
 - De gebruiker kan een sensor koppelen aan een partij, kraanvak of container (hardwarematig of softwarematig).
- Constructie eisen
 - Het product is spatwaterdicht (IP65 norm).
 - Het product is stofdicht (IP65 norm).
- Productie eisen
 - Het product wordt geproduceerd met technieken die geschikt zijn voor een serie van 10000 stuks.
- Materiaal eisen
 - Het materiaal is bestand tegen vocht (in de lucht en in de vorm van water).
 - Het materiaal is bestand tegen bestrijdingsmiddelen.
 - Het materiaal is bestand tegen UV-straling.
- Eisen ten aanzien van de kostprijs
 - Het totale startsysteem kost tussen de €10.000 en €15.000.
 - De sensor gaat per stuk niet meer dan €300 kosten (richtlijn complete verkoopprijs van sensor, PCB en behuizing).
- Graphical User Interface
 - De actuele grondvochtigheid is direct zichtbaar.
 - De snelheid van de daling van de grondvochtigheid is zichtbaar.
 - De batterijspanning is zichtbaar.
 - Een eventuele storing van de sensor is zichtbaar.
 - Gegevens van een sensor kunnen van 2 weken worden opgeroepen.
 - Gegevens van verschillende sensoren kunnen met elkaar vergeleken worden.
- Proof of concept 1

Er is een volledig werkend Proof of concept. In het laboratorium hebben diverse topologietesten plaatsgevonden. Denk hierbij aan:

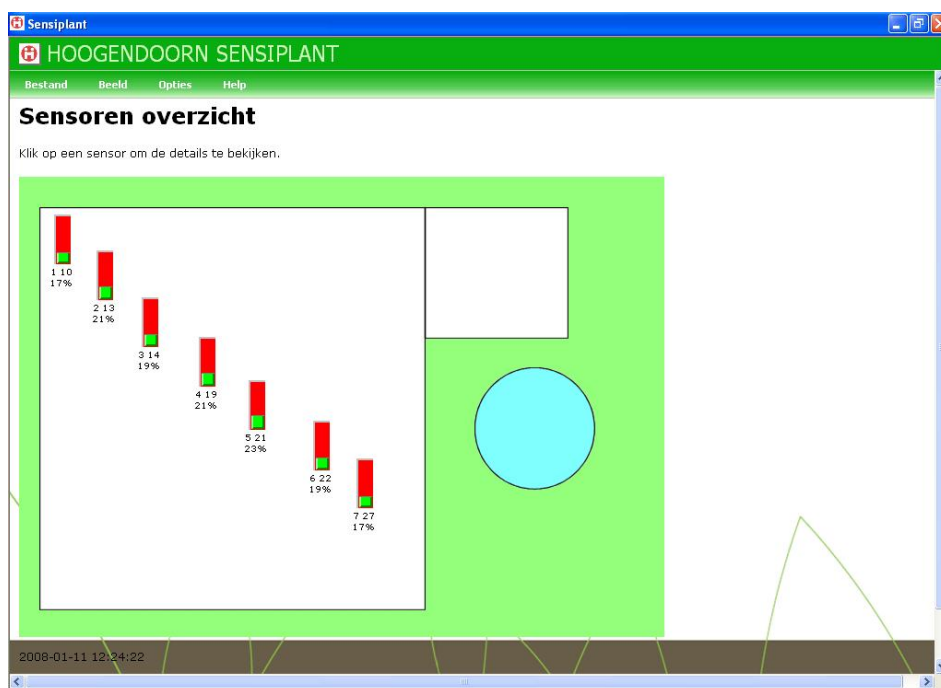
 - Netwerkopbouw testen: In deze testen is getest hoe snel de sensoren de connectie hebben gevonden met een router of een aggregatiepunt. In de testen is de connectie tot stand gekomen tussen 45 sec en 1 minuut (verwachting was 1 min).
 - Multihoptesten: In deze testen is gekeken of de multihop (van router naar router) datatransfer binnen het draadloze netwerk werkt. Dit is getest met 6 hops. Deze test is succesvol verlopen.
 - Duurtesten: Het doel van deze testen was het realiseren van een lange termijn data overdracht in het draadloze sensornetwerk. Gedurende de testperiode in het laboratorium heeft een continue stroom van data plaatsgevonden.

- Graphical User Interface.
De GUI is conform het PVE gebouwd. Ter illustratie van de GUI zijn figuur 3 en 4 opgenomen.
Figuur 3 toont een grafiek van de grondvochtigheid van een sensor.



Figuur 3: Grafiek grondvochtigheid in de GUI

Figuur 4 toont de gegevens van verschillende sensoren.



Figuur 4: Sensoren overzicht in de GUI

- Ontwikkeling nieuwe hardware (op basis van resultaten eerste testen in de kas). Naar aanleiding van de resultaten van de eerste testen in de kas zijn de volgende aanpassingen aan de hardware gerealiseerd:
 - De antennestructuur op de Print Circuit Board is volledig aangepast.
 - Het bereik is toegenomen tot meer dan 80 meter (situatieafhankelijk).
 - De hardware kan eenvoudig ge-reset worden als het systeem in storing valt.
- Optimaliseren intelligente software. De volgende verbeteringen in de software zijn doorgevoerd:
 - Automatische herstart bij gedeeltelijke netwerkuitval.
 - Instelbaarheid van netwerkparameters.
 - Immuniteit voor andere apparaten met dezelfde technologie geïmplementeerd.
 - Resilience bij slechte signaalontvangst.
- Proof of concept 2
 Gedurende één maand is het ontwikkelde systeem in de kas getest. Er is een volledig werkend Proof of concept:
 - De sensoren meten de correcte data. Dit is met een handmatig systeem getest.
 - De sensoren zijn zelforganiserend. Dat wil zeggen een sensor zoekt zelf naar de dichtstbijzijnde router om de gemeten data draadloos door te geven.
 - De sensoren geven elke 7 minuten data door.
 - De gemeten data is voor de tuinder zichtbaar in de GUI.
 - Het systeem functioneert stabiel. Gedurende de testmaand heeft het systeem zonder onderbrekingen gewerkt.
 - Met 20 sensoren en 5 routers kan in de kas een oppervlakte van 2 ha gedekt worden, dit is afhankelijk van de wens van de gebruiker.
- Onderzoek naar ideale plek van de sensor: De wetsensoren zijn gedurende 2 weken in de kas getest. De resultaten hiervan zijn:
 - Positionering van de sensor in de pot:
 Minimaal 2 cm van de rand van de pot waarbij de punt van de sensor maximaal 1 cm van de bodem verwijderd is. Er moet bij het insteken op worden gelet dat er geen luchtkanalen ontstaan tussen sensor en potgrond. De sensor is waterdicht en mag worden ingegraven.
 - Positionering van de sensor in de kas en teeltvak:
 De sensor wordt minimaal 80 cm van de rand van het teeltvak geplaatst. Ingestoken bij een plant met een bovengemiddelde grootte t.o.v. de overige planten binnen dit vak.
- Gebruikersonderzoek en evaluatie: Gedurende de testperiode met de sensoren in de kas is samen met de tuinder vastgesteld in hoeverre het product aan de gebruikseisen en wensen voldoet.
 Resultaten van dit onderzoek:
 - Het Sense-u-plants systeem voldoet aan de wensen en eisen van de gebruiker. De tuinder ziet de informatie die hij nodig heeft.
 - Het visueel controleren van het vochtgehalte van de planten (rondje door de kas) kan naar verwachting gereduceerd worden van 6 naar 1 maal daags.
 - De sensoren verplaatsen automatisch in de kas. De tuinder heeft graag inzicht waar een bepaalde sensor zich bevindt. Dit is nu niet mogelijk.

Mogelijkheden tot verbetering:

- Visueel maken van de locatie van de sensoren.
- Alarm als vochtgehalte een bepaald punt heeft bereikt.
- Automatisch bewateren van de planten aan de hand van de gegevens van het Sense-u-plants systeem.

5. Discussie

In de huidige situatie toetst de kweker het bodemvochtgehalte handmatig door een aantal keren per dag door de kas te lopen en een potplant op te tillen. Op basis hiervan bepaalt de tuinder of de planten bewaterd moeten worden. Deze rondjes kunnen grotendeels vervangen worden door de bodemvochtgegevens in de GUI te bekijken. De kweker ziet hier de informatie die hij nodig heeft. Daarnaast ziet hij niet alleen maar de gegevens van het bodemvochtgehalte van dat moment, maar ook het verloop van de bodemvocht gedurende de afgelopen periode. Hierdoor kan er nauwkeuriger bewaterd worden (op het moment dat er een afvlakking in de curve optreedt).

Niet alle rondjes door de kas kunnen vervangen worden door het ontwikkelde systeem, aangezien de kweker dan ook op andere aspecten controleert, zoals het aanwezige ongedierte.

De vrijheid van Sense-u-plants is enorm. In tegenstelling tot bekabelde sensoren kan de gebruiker de sensoren makkelijk verplaatsen en is het mogelijk de sensoren automatisch mee te laten rijden op het interne transportsysteem. Daarnaast is de prijs/kwaliteit verhouding ten opzichte van bestaande systemen enorm verbeterd. Voor minder kosten kunnen veel meer plaatsen in de kas gemonitord worden.

De kweker bepaalt nu aan de hand van de geregistreerde gegevens in de GUI of de planten bewaterd moeten worden. Hij moet nu zelf het bewateringssysteem de opdracht geven. Verbeteringen in de toekomst zijn dat de kweker automatisch een melding krijgt op bijvoorbeeld zijn telefoon dat het bodemvochtgehalte onder een bepaald niveau daalt of zelfs dat de planten automatisch bewaterd worden aan de hand van de gegevens via het ontwikkelde Sense-u-plants concept.

6. Conclusie

Het ontwikkelde Sense-u-plants concept is met succes getest. Er is een systeem ontwikkeld waarbij de grondvochtigheid van de potplantgewassen via draadloze sensoren wordt geregistreerd en deze gegevens zichtbaar zijn voor de kweker.

Het ontwikkelde concept heeft de volgende voordelen:

- De kweker heeft continu inzicht in de grondvochtigheid van de potten door de gehele kas.
- De watergift kan geoptimaliseerd worden aan de hand van de geregistreerde gegevens.
- De kweker bespaart tijd doordat alle gegevens op een centrale computer in één oogopslag zichtbaar zijn.
- De sensoren zijn eenvoudig te plaatsen en te verplaatsen.

Het systeem is eenvoudig uit te breiden bij schaalvergroting.