

Meting van ruimtelijke verdeling van temperatuur en RV met behulp van draadloze minisensoren (Smart Dust)

Deel 1: Programma van wensen en eisen voor het on-line meten van de ruimtelijke verdeling van temperatuur en RV met draadloze minisensoren

E.A. van Os, M.A. Bruins & B.A.J. van Tuijl





Meting van ruimtelijke verdeling van temperatuur en RV met behulp van draadloze minisensoren (Smart Dust)

Deel 1: Programma van wensen en eisen voor het on-line meten van de ruimtelijke verdeling van temperatuur en RV met draadloze minisensoren

E.A. van Os, M.A. Bruins & B.A.J. van Tuijl

© 2006 Wageningen, Plant Research International B.V.

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

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	3
1.1 Probleemstelling	3
1.2 Doelstelling	3
1.3 Werkwijze	4
1.4 Te behalen resultaten	5
2. Literatuuronderzoek	7
2.1 Bestaande meetmethoden	7
2.2 Oplossen van temperatuurverschillen	8
2.3 Nodes	9
2.4 Sensoren	10
2.5 Energie voorziening	11
3. Workshops	13
3.1 Onderzoekers Greenhouse Technology	13
3.1.1 Sensoren	13
3.1.2 Meten in de kas	14
3.2 Onderzoekers PPO Glas	15
3.3 Telers	17
3.3.1 Meten in een kas	17
3.3.2 Moet het hele jaar gemeten worden of incidenteel?	17
3.3.3 Nauwkeurigheid van sensoren	18
3.3.4 Voortgang project	18
4. Resultaten en discussie	19
4.1 Technische en economische haalbaarheid	19
4.1.1 Continu of incidenteel meten?	19
4.1.2 Nut van een meetsysteem	19
4.1.3 Hoe worden verschillen nu opgelost?	19
4.1.4 Verticale temperatuurverschillen	20
4.1.5 Sensoren	20
4.1.6 Nauwkeurigheid van de meting	21
4.1.7 Node	21
4.1.8 Verpakking	22
4.1.9 Energievoorziening	23
4.1.10 Kostprijzen energievoorziening	23
4.1.11 Storingen, onderhoud	24
4.1.12 Kosten volledig meetsysteem	25
4.1.13 Voortgang project en demo	26
4.2 SWOT analyse	26
5. Programma van wensen voor een meetsysteem	29
6. Conclusies en aanbevelingen	31
7. Literatuurlijst	33
Bijlage I. Enquête telers	1 p.

Samenvatting

De ruimtelijke verdeling van de kasluchttemperatuur en de relatieve vochtigheid is niet gelijk. Door de verschillen ontstaan koude en warme plekken in de kas, maar kunnen ook ziekten en onregelmatige groei van het gewas optreden. In deze studie wordt verslag gedaan van een inventarisatie onder onderzoekers en telers naar de behoefte aan een on-line draadloos meetsysteem bestaande uit minisensoren waardoor klimaatverschillen gemakkelijker zijn op te sporen.

De in de literatuur bekende systemen en meetprotocollen gaan uit van off-line metingen waarbij dataloggers worden gebruikt om data te verzamelen die naderhand moeten worden uitgelezen en geïnterpreteerd. Veel tijd is nodig om de kabels voor de dataloggers uit te leggen en weer op te ruimen. Het betreft altijd incidentele metingen, meestal als onderdeel om het Groen Label certificaat te verkrijgen. Het 'smart dust' meetsysteem bestaat uit minisensoren die draadloos signalen (temperatuur, relatieve vochtigheid) versturen die vervolgens on-line op een pc of klimaatcomputer zichtbaar kunnen worden gemaakt.

Voor de ontwikkeling van het meetsysteem zijn onderzoekers en telers in verschillende brainstormsessies onder andere gevraagd aan te geven welke parameters gemeten moeten worden, waar gemeten moet worden, bij welke gewassen gemeten moet worden, wat gevolgen zijn van klimaatverschillen, hoe resultaten moeten worden gepresenteerd, wat de nauwkeurigheid van sensoren moet zijn. De resultaten zijn beoordeeld en aangevuld met data uit de literatuurstudie. Vervolgens zijn resultaten geïntegreerd en bediscussieerd en zijn conclusies getrokken.

Het blijkt dat telers grote behoefte hebben aan een continu meetsysteem voor het meten van horizontale en verticale temperatuurverschillen om de controle op teelt en klimaat te vergroten. Het liefst zou men er ook mee willen gaan sturen. Telers willen ook graag meedoen aan deel 2 van dit project (het meten op een bedrijf). Onderzoekers kijken vooral naar wat het meetsysteem moeten kunnen en hoe de resultaten moeten worden geïnterpreteerd (welke sensoren, nauwkeurigheid, meetgrid).

De algehele inventarisatie levert op dat er grote behoefte is aan een on-line draadloos meetsysteem dat in eerste instantie temperatuur en relatieve vochtigheid kan meten. Het meetbereik van de temperatuur ligt tussen 0 en 50°C op 0,2°C nauwkeurig en voor de RV is een meetbereik tussen 80 en 100% gewenst met een nauwkeurigheid van 1%. Sensoren moeten onderhoudsarm, goedkoop en robuust zijn. De behuizing moet gemakkelijk tussen het gewas te plaatsen en weer terug te vinden zijn. Een continu meetsysteem zou uit ca. 50 sensoren per ha moeten gaan bestaan waarbij de meetresultaten als een voortschrijdend gemiddelde van een uur direct op de klimaatcomputer grafisch afleesbaar zijn. Economisch heeft het meetsysteem lage kosten (ca. €2500,-/ha per jaar) in relatie tot de te verwachten voordelen (energiebesparing tot maximaal jaarlijks €13000,-/ha, uniformere oogst, leverzekerheid, minder ziekten). Een programma van wensen en eisen voor noden, sensoren, behuizing en meetsysteem sluit dit deel 1 van het project af.

Tussen deel 1 en deel 2 van dit project is een go/no-go beslissing opgenomen. Uit deel 1 moest blijken of een on-line 3D meetsysteem technisch en economisch haalbaar is, of er behoefte is vanuit de sector en of het energiebesparing oplevert. Uit dit rapport blijkt dat aan deze voorwaarden is voldaan.

1. Inleiding

1.1 Probleemstelling

In de praktijk zijn er allerlei ideeën en vooroordelen over de ruimtelijke verdeling van de kasluchttemperatuur en -luchtvochtigheid, bijvoorbeeld: koude plekken, ventilatoren voor luchtcirculatie, koudeval bij openen van schermen, ontstaan van ziekten etc. Dit zijn zowel variaties in de horizontale als in de verticale richting van de kas, dus variaties treden op in drie dimensies (3-D). De oplossing van problemen, die hiermee zijn geassocieerd, kosten energie. Het opstellen van een programma van wensen en eisen voor het on-line meten van de ruimtelijke verdeling van temperatuur en luchtvochtigheid is opgestart omdat:

- Nog steeds ventilatoren voor luchtbeweging worden verkocht;
- Ziekten op bepaalde plaatsen in de kas optreden;
- De wens er is om temperatuurdifferentiatie op te lossen.

De huidige akoestische meetmethode (van Schaik en Schevers, 2003) is nu nog niet succesvol (d.w.z. snel te installeren, goedkoop, flexibel) en kan niet tegelijkertijd op iedere plaats in een kas de temperatuur en de relatieve vochtigheid meten. Er is behoefte aan een goedkoop, eenvoudig te installeren meetsysteem, dat op ieder willekeurig punt in een kas de temperatuur en RV kan meten en dat, in tegenstelling tot andere systemen, on-line uitgelezen kan worden. Het beoogde draadloze meetsysteem voldoet hieraan en neemt zodoende de nadelen van het akoestische systeem weg.

Met een meetsysteem kunnen bijvoorbeeld de volgende invloeden worden nagegaan/ bepaald:

- Wat is het technisch nut van ventilatoren en wanneer moeten draaiuren worden gemaakt ('s nachts of juist overdag),
- Hoe is de temperatuur- en RV-verdeling met en zonder ventilatoren,
- Wat is het effect van de schermkier-regeling op het kasklimaat

De meetresultaten kunnen leiden tot een onderbouwde aanpassing van zo'n regeling.

Een gelijkmatiger temperatuurverdeling levert energiebesparingen op van zo'n 10% (Nijs, 1997, Kempkes *et al.*, 1999, Esmeijer en Tuin, 2001). Volgens Nijs (1997) geldt dit voor meerdere gewassen.

Ook voor andere klimaatgrootheden, zoals bijvoorbeeld luchtverplaatsing en CO₂-concentratie, is inzicht in de ruimtelijke verdeling interessant. Een nieuw meetsysteem zou eenvoudig uit te breiden moeten zijn met zulke variabelen.

1.2 Doelstelling

Het project beoogt de ontwikkeling van een prototype van een:

- Goedkoop en eenvoudig inzetbaar 3-D-meetsysteem
- Om horizontale en verticale verschillen in temperatuur en RV on-line te kunnen meten
- En dat in de toekomst makkelijk uit te breiden is voor metingen van andere klimaatgrootheden.

Technische en teeltkundige doelstellingen

- Dit project bepaalt de technische en economische haalbaarheid van een 3-D meetsysteem, dat door de sector wordt geaccepteerd.
- Dit project levert een meetsysteem bestaande uit ongeveer 100 draadloze minisensoren, die zeer goedkoop en eenvoudig inzetbaar zijn.

Energiedoelstellingen

De nieuwe meetmethode is faciliterend met betrekking tot energiebesparing voor zowel nieuwe als bestaande kassen. Een betere temperatuurverdeling in een kas kan een energiebesparing opleveren van 10% (Nijs, 1997).

Nevendoelstellingen

Inzicht in de ruimtelijke verdeling van temperatuur en RV ondersteunt de tuinder bij het nemen van beslissingen bij het investeren in maatregelen waarbij de 3-D verdeling van temperatuur en RV wordt verbeterd. Een gelijkmatiger temperatuurverdeling levert ook een reductie op in het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen.

1.3 Werkwijze

Het onderzoek bestaat uit 16 fasen, verdeeld over drie delen. Hierna worden de delen kort weergegeven per fase. In de nu voorliggende rapportage wordt verslag gedaan van deel 1.

Deel 1:

- 1 Literatuurstudie:
 - Korte studie van literatuur, internetbronnen en informatie van producenten van draadloze sensoren
 - Korte studie van literatuur en internetbronnen over 3-D metingen van kasklimaatgrootheden in de glastuinbouw.
 - Rapportage
- 2 Brainstorm binnen de Greenhouse Technology groep (GT)
 - Binnen de Greenhouse technology groep is een brainstorm gehouden over de technische aspecten van draadloze sensoren (waaruit moet de sensor bestaan, toepasbaarheid in de kas, storingen op andere systemen, etc.), aanwezige kennis bij GT, het nut voor de sector van draadloos 3-D meten, economische prospect.
 - Rapportage en voorlopig programma van wensen en eisen m.b.t. technische aspecten
- 3 Brainstorm met enkele telers.
 - Samen met telers is een brainstorm gehouden over de toepassingsmogelijkheden, de gebruikersvriendelijkheid en de eventuele prijs van zo'n systeem.
 - Rapportage en programma van wensen en eisen aangevuld met wensen van de sector
- 4 Rapportage, aangevuld met programma van wensen en eisen voor een draadloos 3-D meetsysteem en een SWOT analyse

Go/NoGo (Uit fase 4, deel 1, moet blijken dat zo'n systeem aan de volgende eisen voldoet: technisch haalbaar, de sector heeft behoefte, toepassing van zo'n systeem bevordert energiebesparing, er is een markt voor.

Deel 2:

- 5 Bouw van ongeveer 100 minisensoren uit bestaande componenten.
 - Uitzoeken en bestellen componenten
 - Assemblage sensoren
- 6 Aanpassen software voor uitlezen van de sensoren
De bij Greenhouse Technology aanwezige software voor het opzetten van een draadloos uitlezen van een sensor netwerk wordt aangepast voor de glastuinbouw.

- 7 Visualiseren van de metingen
Aan de hand van het programma van wensen en eisen wordt een visualisatieprogramma ontworpen, waarmee de teler een eenvoudig dynamische beeld van (een deel van) zijn kas kan bekijken.
- 8 Testen en kalibreren van de sensoren
 - Kalibreren van de sensoren door de ijkdienst van het voormalige AFSG
 - Test in laboratorium omgeving
- 9 Opzetten proef bij een tuinder
 - Bij een tuinder wordt mede aan de hand van het programma van wensen en eisen en de wensen van deze tuinder een proef opgezet. Belangrijk is dat de proef uiteindelijk voldoende informatie geeft over de verschillende doelstellingen zoals genoemd in bij paragraaf 1.3.
 - Bij het opzetten van de proef wordt gebruik gemaakt van de richtlijnen voor het bepalen van temperatuurverschillen zoals beschreven door Nijs (1997).
- 10 Installatie van de sensoren bij de tuinder
- 11 Proef bij de tuinder
Bij de proef, zal de nauwkeurigheid van de sensoren worden nagegaan, vooral met betrekking tot verloop in de tijd. Daarnaast zal worden bijgehouden of de sensoren worden gestoord door andere apparatuur.
- 12 Metingen verwerken en evalueren
- 13 Tussenrapportage.

Go/NoGo (Als de resultaten van deel 2 veelbelovend zijn, zal een demonstratie voor een grotere groep tuinders worden georganiseerd)

Deel 3:

- 14 Opzetten demonstratie bij een tuinder
- 15 Organisatie van één of meerdere demonstratiemiddagen
- 16 Eindrapportage

1.4 Te behalen resultaten

Hieronder staan de te verwachten resultaten zoals die in het projectvoorstel zijn geformuleerd. In de hoofdstukken Resultaten en Discussie en Conclusies zal worden besproken of de te verwachten resultaten ook zijn gehaald.

Deel 1:

- Voortgangsrapportage en tussenrapportage.
- Programma van wensen en eisen voor een low-cost meetsysteem, gebaseerd op draadloze minisensoren voor 3D metingen van temperatuur en RV in tuinbouwkassen.
- Inzicht in uitbreidbaarheid van het systeem naar andere klimaatgrootheden
- Een SWOT-analyse.

Deel 2:

- Een nieuw, eenvoudig inzetbaar, low-cost meetsysteem, gebaseerd op draadloze minisensoren voor 3D metingen van temperatuur en RV in tuinbouwkassen. Dit meetsysteem kan de teler of andere gebruiker on-line voorzien in onafhankelijke metingen van temperatuur en RV op van tevoren door de gebruiker opgegeven meetpunten in de kas.
- Dit systeem kan onderzoekers ondersteunen bij de evaluaties voor 3D-modellen voor plantgroei en klimaatbeheersing.

- Een tussenrapport waarin het nieuwe meetsysteem worden beschreven en waarin de resultaten worden weergegeven van de beproeving onder praktijkomstandigheden.
- Artikel in een vakblad.

Deel 3:

- Een demonstratie
- Een eindrapport met de resultaten van de drie delen.

In dit stadium is deel 1 van het project uitgevoerd. Hieronder zijn de resultaten van het onderzoek weergegeven.

2. Literatuuronderzoek

Smart Dust: de werktitel van dit onderzoek is ontstaan binnen een werkgroep van fabrikanten van sensoren en netwerken. Deze werkgroep heet de 'Zigbee alliance' en met elkaar worden protocollen en normen ontwikkeld voor wireless sensor networks. De Zigbee alliance heeft een roadmap uitgezet voor de toekomst waarin het doel gesteld is om binnen een bepaalde termijn een techniek te ontwikkelen waarin een radio, microcomputer, sensor en energievoorziening zijn verenigd in een verpakking ten grote van een suikerkorrel. Daar komt de term smart dust vandaan. De volgende web-link geeft meer informatie: <http://www.zigbee.org/en/>

2.1 Bestaande meetmethoden

Horizontale klimaatverschillen zijn al jaren een punt van zorg bij telers. In 1997 schreef Nijs een eerste handleiding voor het opsporen van horizontale temperatuurverschillen. Temperatuur is de meest gemakkelijk te meten grootte gevolgd door relatieve vochtigheid. Verschillen in temperatuur en relatieve vochtigheid worden veroorzaakt door onvolkomenheden in de verwarming, ventilatie, scherm- of kasconstructie. Natuurlijk is een combinatie van factoren ook mogelijk. Er ontstaan warme en koude plekken in de kas die sterk worden beïnvloed door het verschil tussen binnen- en buitentemperatuur. Dit leidt vervolgens tot het verhogen van de stooktemperatuur en weer tot een groter temperatuurverschil. Nijs (1997) constateerde dat warme en koude plekken bijna altijd op dezelfde plaats voorkomen. Om de temperatuurverschillen te meten ontwikkelde zij een meetmethode met de volgende kenmerken:

- Meetpunten komen 1,5m vanaf gevel of middenpad
- De afstand tussen de meetpunten bedraagt 20-30m, resulterend in 40-60 meetpunten/ha
- Er komt een meetpunt bij meetbox
- Er wordt gemeten in substraat of grond, dat geeft een buffer en minder snel temperatuurveranderingen als in lucht. Daarnaast levert het 3-4 uur vertraging in vergelijking tot luchttemperatuur (grond meer dan substraat)
- Het is ook mogelijk om te meten in met water gevulde flesjes
- Meten onder stabiele omstandigheden: geen zon, wel 's ochtends vroeg, lage buitentemperatuur, scherm- en raamstand vastzetten. Plus één variabele: scherm open of dicht, ventilatoren aan of uit.
- Eerste meetrij aan einde herhalen voor betrouwbaarheid meting, afwijking minder dan 0,3°C
- Temperatuurverschillen: <1°C goed; 1-2°C redelijk; 2-3°C matig; >3°C slechte verdeling.

Nijs (1997) becijferde ook dat een 1°C hoger stoken ongeveer 10% meer energie kost wat volgens het huidige KASPRO programma nog steeds geldt (pers. comm. J. Campen). Financieel betekent 10% energiebesparing een financieel voordeel voor de teler van ongeveer $10\% \times 55 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times 25 \text{ ct} \times 1 \text{ ha} = \text{€ } 13750,-/\text{ha}$ volgens huidig prijsniveau ($50-55 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bij roos (onbelicht) en tomaat (KWIN, 2003)). Huidig gasverbruik ligt ca. 10% lager, waardoor het berekende voordeel op € 12500,-/ha komt te liggen (pers. comm. F. Kempkes). Meer stoken is het gevolg van regelen naar de koudste plek. Aan de andere kant wordt gesteld dat wanneer de temperatuur gelijkmatig is verdeeld, de opbrengst bij tomaat met 4% en bij paprika met 13% kan toenemen. In haar analyse geeft Nijs ook aan dat wanneer de teler productiever verschillen constateert dit als volgt kan worden geïnterpreteerd:

- In het voorjaar heeft een gedeelte van de kas een lagere productie dan de rest van de kas: lagere temperatuur door stookinvloed, dit verdwijnt in zomer.
- Hogere productie in het voorjaar en lagere productie in de zomer: dit is een gewasreactie op temperatuurverschillen.
- Hoge of lage productie in de zomer, maar geen verschillen in voorjaar: CO₂ verschillen
- Alleen verschillen in de zomer: de watergift kan de oorzaak zijn.

Via een stroomschema kunnen problemen in de kas worden opgespoord en worden maatregelen voorgesteld voor een te koude of te warme gevel, een te koud of te warm middenpad, de gehele afdeling te koud of te warm, de afdeling in het midden te koud of te warm of een te koude of te warme plek.

Dat klimaatverschillen ongunstig zijn komt ook naar voren in de regelgeving voor de Groen Labelkas van de Stichting Milieukeur. Sinds 1998 bestaat het concept Groen Labelkas dat staat voor een kas die betere milieuprestaties heeft dan de gangbare kas binnen de glastuinbouw. De tuinder krijgt belastingvoordelen en rentevermindering na verkrijgen van het Groen Label certificaat. De milieuprestaties worden beoordeeld aan de hand van een certificatieschema waarin minimale eisen zijn gedefinieerd. Één van de eisen ligt op het gebied van de horizontale temperatuurverschillen van de kaslucht. Om hier punten te behalen moeten de verschillen kleiner zijn dan 1,5°C, gemeten op een hoogte van 1,5m, in een stookafdeling bij een vaste buistemperatuur van 60°C (of een lager maximum), in een situatie met binnenscherm dicht én met binnenscherm open. Metingen hiervoor moeten als volgt worden uitgevoerd:

- Gecertificeerde en gekalibreerde dataloggers met temperatuursensors met een miswijzing van maximaal 0,2°C;
- Metingen vinden gelijkmatig verdeeld plaats over de stookafdeling, maximaal 4m van buiten- en/of tussengevel en maximaal 2m vanaf betonnen pad op 1,5m hoogte en met minstens 1 sensor per 400m². In elke stookafdeling hangt tenminste één meetbox;
- Metingen zijn 2 uur aaneengesloten met gesloten scherm en 2 uur met geopend scherm waarbij minstens eenmaal per 10 minuten een meting plaatsvindt op een hoogte van 1,5m als het gewas 1,5m of hoger is en ter hoogte van de kop van het gewas bij een lager gewas.

Verschillende bedrijven kunnen deze meetprocedure voor het verkrijgen van het Groen Label certificaat uitvoeren (o.a. Unitemp).

De huidige akoestische meetmethoden (Schaik e.a, 2003) hebben een aantal nadelen die met een draadloos meetsysteem te overwinnen zijn. Het akoestisch meetsysteem is voornamelijk toepasbaar in kleine ruimtes met afstanden tot 60 meter, hetgeen gebruik in een 3-10 ha kas voor problemen stelt. De plaats waar de akoestische instrumenten opgesteld staan moeten nauwkeurig worden ingemeten en dat maakt het systeem statisch, het is niet zo maar te verplaatsen. Daarnaast is er geavanceerde elektronica nodig voor signaalconditie en het omrekenen van het gemeten signaal naar een bruikbare waarde. Het eindresultaat van de meting met het akoestisch meetsysteem ziet er goed uit, de grafische presentatie van de verdeling van RV en T is accuraat en geeft de gebruiker een goed inzicht in de verdeling van de klimaatgrootheden.

2.2 Oplossen van temperatuurverschillen

Bij de Groen Labelkas, maar ook bij de overige nieuwbouw probeert men het ontwerp van het verwarmingssysteem zodanig te maken dat klimaatverschillen gering zijn. Toch blijken in de praktijk nog te grote verschillen voor te komen gezien de toename van het gebruik van ventilatoren in kassen (Figuur 1), met name bij toepassing van energieschermen. Visser (2006) rapporteert over telers die ventilatoren gebruiken om temperatuurverschillen tot wel



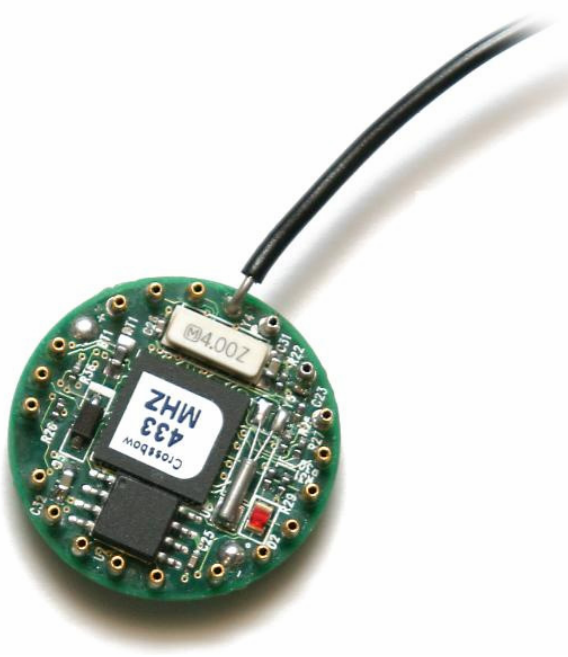
5°C te minimaliseren. De wijze waarop ventilatoren worden gebruikt is een typische vorm van end-of-pipe methode. Zijn er verschillen te zien in gewasgroei of voelt men verschillen, dan vinden telers en installateurs het zinvol om ventilatoren te gebruiken. In de praktijk blijken er grote verschillen te zijn tussen de ventilatoren en hun plaats in de kas (Visser, 2006). Ook installateur B-E De Lier geeft deze verschillen aan (LTO nieuwsbrief). De kaslucht moet ieder uur worden vervangen maar dat blijkt in de praktijk op te lopen tot 1,7 keer, afhankelijk van de installateur. Afhankelijk daarvan en van het aantal toeren (900 of 1400) varieert het aantal ventilatoren per ha tussen 10 en 18 (LTO Nieuwsbrief). Daarnaast is belangrijk of ventilatoren in serie hangen of parallel, de lengte van de worp in meters (15-20 of 35-45m) en ook de breedte. Ook per leverancier verschillen de typen ventilatoren.

Figuur 1. Ventilatoren in gebruik als medicijn voor een kwaal.

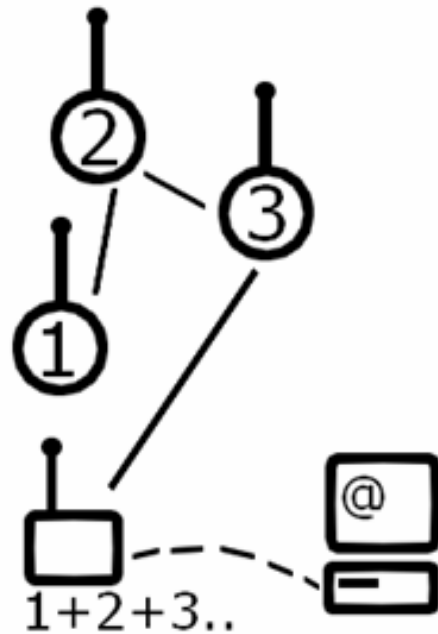
DLV Bouw adviseert in haar website om eerst het verwarmingssysteem en de sluiting van ramen en schermen op orde te brengen om daarna pas ventilatoren te installeren: die kunnen maar een deel van de temperatuurverschillen wegnemen. DLV adviseert 7-10 ventilatoren per ha met een capaciteit van 3000-4000 m³ per uur. Hieruit blijkt dat over het installeren van ventilatoren om temperatuurverschillen te minimaliseren geen eenduidig advies is te krijgen.

2.3 Nodes

In de afgelopen jaren is door verschillende fabrikanten hardware ontwikkeld dat een 'wireless sensor network' genoemd wordt. Centraal hierin staat de node (Figuur 2). Een node is een knooppunt in een netwerk van noden (Figuur 3) die via radio communicatiegegevens met elkaar kunnen uitwisselen. Omdat de noden draadloos zijn moeten ze lokaal voorzien kunnen worden van energie. De meeste noden zijn zodanig ontworpen dat hun energieverbruik zeer laag is. Dit betekent ook dat de reikwijdte van de radiocommunicatie, het zendvermogen, tussen de noden beperkt is. De korte reikwijdte (tussen de 30 en 300 meter) wordt doorgaans opgelost door de kostprijs per node laag te houden zodat met extra noden als tussenstation, de radioberichten kunnen worden doorgegeven. Een node is naast een radio altijd voorzien van een kleine computer of microcontroller die vrij te programmeren is. Aan deze microcontroller kunnen, via een elektronische interface, sensoren of actuators worden gekoppeld. Ook deze onderdelen zullen energiezuinig moeten zijn, waardoor de keuze wordt beperkt.



Figuur 2. Een node.



Figuur 3. Een netwerk van nodes die informatie sturen naar een centrale computer.

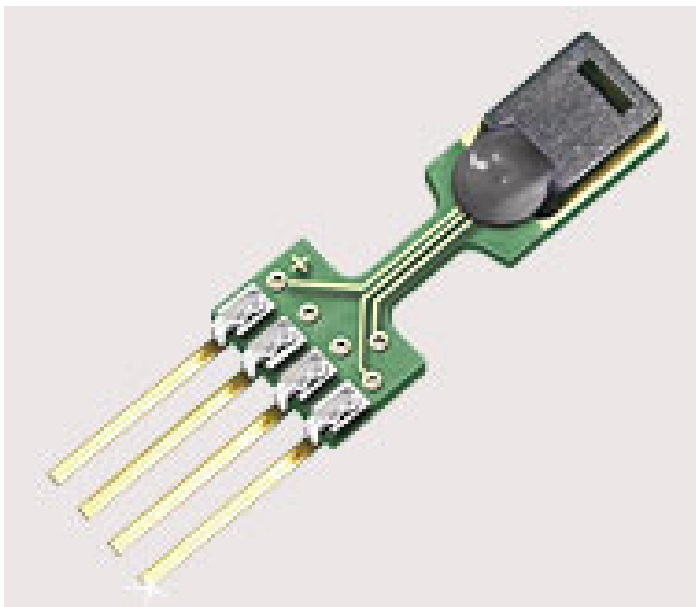
Hieronder worden websites van een aantal fabrikanten weergegeven en de beschrijving van hun hardware op dit gebied:

- Bedrijf Microstream (<http://www.microstrain.com/default.aspx>)
- Zendbereik 70m, frequentie 2,3 Ghz, verbruik 175 mA, Niet vrij-programmerbaar, geïntegreerde temperatuursensor (-20°C tot 70°C op 0,2°C nauwkeurig), met spatwaterdichte behuizing
- Xbow (http://www.xbow.com/Products/Wireless_Sensor_Networks.htm)
- Zendbereik 100m, frequentie 434 mHz tot 2,3 Ghz, verbruik 5-25 mA, vrij-programmerbaar, sensor vrij te kiezen, verpakking naar eigen ontwerp.
- Maxstream (<http://www.maxstream.net/>)

Zendbereik 30-1000m, frequentie 2,3 Ghz, verbruik 50 mA, programmeerbaar (beperkt aantal opties mogelijk), met behuizing.

- Tinynode (<http://www.tinynode.com/>)
- Zendbereik 200m, frequentie 868 mHz, verbruik 13-33 mA, vrij-programmerbaar, sensor vrij te kiezen, verpakking naar eigen ontwerp.
- RFM (<http://www.rfm.com/products/wirelessolutions.htm>)
- Zendbereik 100m, frequentie 434 mHz, verbruik 4-13 mA, vrij-programmerbaar, sensor vrij te kiezen, verpakking naar eigen ontwerp.

De verwachting is dat het aantal aanbieders de komende jaren sterk zal blijven groeien. De hierboven genoemde Xbow node wordt aangeboden voor €120,- per stuk, van de andere fabrikanten is de prijs niet bekend. Er mag vanuit gegaan worden dat de prijs hoger ligt omdat de meeste andere aanbieders de hardware hebben verpakt in een robuuste behuizing. TNO heeft ten behoeve van het Lofar Agro project (Thelen *et al.*, 2005) een kopie gemaakt van de Xbow node. De node heet Tnode en heeft dezelfde specificaties als de Xbow node, de kostprijs van de Tnode ligt op €50,-, een stuk voordeliger in vergelijking met de Xbow variant. De Xbow is alleen te verkrijgen via een adres in Zwitserland die ze importeert vanuit Amerika. De langere handelskanalen verklaren waarschijnlijk het verschil in prijs.



Figuur 4. Een temperatuur sensor.



Figuur 5. Energievoorziening via een batterij of op zonne-energie?

2.4 Sensoren

Het aantal aangeboden sensoren is enorm en er is voor ieder te meten grootte wel een sensor te vinden van zeer nauwkeurig, duur en groot tot goedkoop en klein (Figuur 4). Het gebruik van een node legt een aantal beperkingen op aan de keuze van de sensor. Hierdoor wordt de keuze in het grote aanbod een stuk kleiner. In het Lofar Agro project is in een korte marktverkenning een aantal sensoren vergeleken. Mede door gebruikservaring binnen Wageningen UR (vakgroep meteorologie en de ontwikkelwerkplaats electronica) is destijds gekozen voor een T en RV sensor van Sensirion, www.sensirion.com. Deze sensor voldoet aan de volgende basiseisen: calibratie mogelijkheid, meet tot 100% RV op 0,5% nauwkeurig, meet temperatuur van -20°C tot 80°C met een nauwkeurigheid van $0,1^{\circ}\text{C}$. Daarnaast heeft de sensor zich bewezen in het Lofar Agro project en is er op dit moment geen reden (prijs, nauwkeurigheid, betrouwbaarheid, verkrijgbaarheid) om op een andere sensor over te stappen.

2.5 Energie voorziening

Omdat de noden voorzien zijn van een microprocessor is de spanning waarop de node aangesloten moet zijn minmaal 3 Volt, dit is de spanning waarop de meeste chips werken. Tuinders hebben aangegeven dat ze zo min mogelijk onderhoud willen plegen aan een sensor netwerk. Voor een betere marktwerking is het van belang dat de energie voorziening zo lang mogelijk meegaat en zo min mogelijk onderhoud vraagt.

In principe zijn er 3 mogelijkheden om de noden van energie (Figuur5) te voorzien (Kintner-Meyer *et al.*, 2003):

- 1 Aansluiten op het voedingsnet in de kas, 230 V omzetten naar 3 V of de 24 V wisselspanning uit de meetboxen omzetten naar de gewenste spanning;
- 2 Een groot energiebuffer zoals een batterij;
- 3 Een klein energiebuffer, bijvoorbeeld een accu of condensator, met mogelijkheid tot continue opladen door een zonnepaneel.

Voor de proef in deel 2 zal optie 2 het eenvoudigst te realiseren en de robuuste keuze zijn. Er zal een oplaadbare batterijset gezocht worden die de energie gaat leveren en die in de verpakking opgeladen kan worden. De tuinder zal eens in de 3 tot 4 maanden de node moeten 'oogsten' en ze in een laadstation moeten steken. De verwachte levensduur van de batterij is een inschatting en zal afhangen van de meetfrequentie en de opzet van de software (pers. comm. D. Goense).

3. Workshops

Er is een workshop georganiseerd met onderzoekers van de Greenhouse Technology groep van PRI en een workshop met een aantal telers. Een extra workshop is georganiseerd met onderzoekers van PPO-Glas, vanwege hun praktische kennis op dit gebied.

In dit hoofdstuk zijn de opmerkingen en aanbevelingen die in de workshops zijn gemaakt integraal en zonder aanvullend commentaar weergegeven. In hoofdstuk 4 zijn uit deze integrale resultaten conclusies getrokken en worden de verschillende onderwerpen bediscussieerd.

3.1 Onderzoekers Greenhouse Technology

Binnen de afdeling Greenhouse Technology van PRI is veel kennis aanwezig over sensoren, behuizing van sensoren, klimaatregeling, klimaatverschillen en de integratie van meten en regelen ten behoeve van het kasklimaat. Aangezien over de verschillende onderwerpen verschillende ideeën bestaan is een brainstormsessie georganiseerd om de bestaande inzichten op elkaar af te stemmen en om nieuwe ideeën te genereren. Hiervoor hebben elf onderzoekers in deze brainstorm twee maal gediscussieerd. Er werden twee groepen geformeerd om een met een kleine overzichtelijke groep van respectievelijk 6 en 7 personen te discussiëren. De ene keer discussieerde de groep over de hardware van de sensoren, de andere keer over de meetpunten in de kas. Hieronder is een verslag van deze bijeenkomst gegeven.

3.1.1 Sensoren

- On-line meten en regelen: de koppeling tussen meten en regelen niet voorop stellen. Gebruik on-line meten om met de verkregen informatie scherp te regelen. Tuinders bouwen vaak een veiligheidsmarge in omdat ze geen inzicht hebben in de verdeling.
- Zinnige meting is op 0,2°C nauwkeurig. Ook prijstechnisch gunstiger (in ieder geval vroeger). Deze nauwkeurigheid is afkomstig van vroegere metingen met de droge-natte bol en de hieruit te berekenen RV. In ieder geval moet de nauwkeurigheid < 1°C zijn. Nauwkeurigheid temperatuurmeting: ± 0.5 °C. Eisen sensor voor T en RV kaslucht: afgeschermd en geventileerd (1 m/s). Dit geldt niet voor sensor voor bijvoorbeeld in de mat.
- Voor 3D metingen is het belangrijk om te weten waar de sensoren in de kas hangen. Zenden en ontvangen met radio's kan, maar de plaatsbepaling is onnauwkeurig. Plaats van de sensor moet representatief voor dát blok zijn. $1000 \text{ m}^3 / 1000 \text{ sensoren} \Rightarrow 1 \text{ m}^3 / \text{sensor}$. Onbekend is de ruimtevariatie in de kas. Wanneer er kleine variatie is, hoeven er minder meetpunten te zijn en bij een grote variatie meer.
- Bekabeling van sensoren kost 20-30 €/m inclusief storingen die op kunnen treden.
- In sensoren zit een evolutionaire trend omdat ze steeds geavanceerder worden. Voor de toekomst zit de winst in continue meten voor preciezer regelen.
- In plaats van de RV moet de deltaX, partiële waterdruk, worden gemeten. In een lege ruimte is deze constant, gelijk verdeeld. In een kas met planten hebben de planten ook invloed op deze druk, en zouden lokale verschillen kunnen ontstaan. Bij een andere T zorgt de plant voor een andere verdamping en is er een andere RV.
- Lichtintensiteit meten is niet interessant. Wel interessant is de planttemperatuur, sapstroom en assimilatie. Andere metingen: planttemperatuur, verdamping, fytonitor. Is meer iets voor de toekomst. Eenvoudige en gemakkelijke calibratie is noodzakelijk.
- Op dit moment is er geen directe link tussen T-metingen in de kas met het meetsysteem en met de klimaatcomputer. Wenselijk is het wel bij continu meten.
- Meet zoveel mogelijk variabelen en verschillende hoogtes/plaatsen bij een proef: er vallen veel meetpunten af in de loop van de tijd.

- Met continue metingen in de kas kan het regelniveau over het geheel naar boven of naar beneden worden gebracht. Bekend moet zijn wat het maximum en minimum is en regel daarop.
- Wanneer de verticale T-gradiënt bekend is, kan CO₂, licht, T en RV op elkaar worden afgestemd. Wanneer het proces in de plant bekend is, kan daar op worden gestuurd met bijv. hogere T en meer CO₂. Groeipunt zit boven. Zie de ruimtelijke T zodanig te krijgen dat, 'daar waar het gebeurt', bij het groeipunt, de ideale temperatuur is. Temperatuurverschillen variëren in de tijd (week, maand, seizoen). Er moet vaak worden gemeten om setpoints in de gaten te kunnen houden. De temperatuursensor moet voor de zon zijn afgeschermd. Uiteindelijk is de planttemperatuur bepalend. Het is niet bekend hoe planten reageren. Alle regelingen zijn gebaseerd op luchttemperatuur.
- Berekeningen moeten worden uitgevoerd met wat de meest energiezuinige methode is voor sensor en datacommunicatie. Via licht, LED?
- Draadloos- versus bussysteem. Bestudeer als alternatief ook bij een permanent systeem een combinatie van vaste voeding en draadloze communicatie. Energievoorziening: bijv. via zonnepaneel van 10x10 cm (onderdeel van de afscherming), voor een ventilator is dan minimaal 50mW beschikbaar. Eventueel kijken naar luchtverplaatsing zonder ventilator. Naast procesregeling is ook consultancy een markt.

3.1.2 Meten in de kas

- Horizontale temperatuurverschillen moet je wegwerken, meer dan 5°C zie je aan de plant. Verticale verschillen zijn minder belangrijk om te meten, ook daar komen verschillen voor, maar dat is een logisch gevolg van klimaatregelen.
- Nu hangen er in een kas van 1ha 4 meeteenheden (klimaatboxen). Extra metingen kunnen de verschillen tussen minimum en maximumtemperatuur verkleinen. Dat is ook waar de teler het meest naar kijkt en op stuurt.
- Bij continu meten hoeft de grid (afstand tussen sensoren) niet klein te zijn. In de praktijk op 1 ha om de 10x10m een sensor hangen. Voor een proef een factor 10 nauwkeuriger, misschien 1 sensor per 4x4m. Voor verticale metingen zou je 10 metingen per ha moeten doen en 5 stuks boven elkaar. Een fijnmaziger meetsysteem levert niet meer informatie op. Daarnaast is een meetset per sturingseenheid eigenlijk voldoende.
- Metingen doen kost niet veel werk, wel conclusies trekken, visualiseren en relaties leggen. En je moet er op kunnen sturen. Misschien moet je enkele rijen wel apart aan kunnen sturen (langs de gevel, of langs het middenpad). Sturen met licht zou ook wenselijk kunnen zijn: bij te weinig licht belichten, bij te veel gaan schermen en dan vertikaal lichtmeten. Met LED zou je in de toekomst de lichtintensiteit kunnen (bij-)sturen: meer of minder licht toedienen. Communicatie naar de gebruiker: plaatjes van bijvoorbeeld momentaan, voortschrijdend gemiddelde en extremen van bijvoorbeeld laatste uur. On-line meten is daarbij een groot voordeel.
- Aan de hand van de productie/m² weet je (indirect) de temperatuurverschillen in de kas. Ook plantlengte is een parameter: langere stengel: meer warmte en kortere stengel minder warmte. Gewasgewicht moet ook op temperatuur reageren. M.b.v. unster of weeggoet met registratie.
- Sensoren kunnen op bewegende delen worden geplaatst: Wanneer op de oogstkar de positie geregistreerd wordt én er wordt een registratiemeting van de oogst gedaan, kan –achteraf- worden gezien welke plaatsen in de kas achterblijven met opbrengst. Tomaten en komkommers worden 3x per week geoogst, paprika 1x en rozen dagelijks.
- In mobiele teelten kunnen sensoren op tafels en/of potten (vochtgehalte substraat, EC, bestrijdingsmiddelen) worden geplaatst.
- Incidentele metingen zijn voor de korte termijn en met continue metingen zou je kunnen regelen. Prijs van het meetsysteem wordt dan belangrijk. Incidentele metingen maken een probleem zichtbaar, waarna het kan worden opgelost. Goedkope meting maakt misschien regelbaar gevelnet mogelijk. Inzet van meetsysteem voor bijvoorbeeld gelijkmatiger oogst bij chrysanten.
- Koude plek hoeft niet constant in plaats zijn, het is afhankelijk van de oorzaak. Wanneer op dezelfde plek altijd slechte planten altijd staan: onderneem actie. Wanneer de slechte plekken door de kas 'wandelen' hoeft geen actie te worden ondernomen. De vloer van een kas heeft een afschot. Dit afschot veroorzaakt een soort

schoorsteeneffect waardoor er behoorlijke temperatuurverschillen kunnen optreden. Om dit op te heffen worden ventilatoren gebruikt. Ventilatoren zijn echter geen oplossing, maar symptoombestrijding.

- Met name moet worden gemeten in de gevel en de kop. In de rijen wordt verondersteld dat parameters uniform zijn.
- Stem de groeifactoren op elkaar af en probeer zo optimaal mogelijk het klimaat te regelen. Variatie van de windrichting veroorzaakt lokale klimaatverschillen. Met continu meten kan inzicht verkregen worden in de variatie in de kas en kan gemakkelijker scherp worden geregeld, continu worden bijgestuurd. Volstaan kan worden met 100 meetpunten per ha.
- Een on-line meetsysteem kan ook gebruikt worden voor: meten in koelcellen, koelcellen bij de kas, bij de slacht van dieren.
- Historisch gezien zijn er steeds minder sensoren per hectare gekomen. Dit project is een trendbreuk. Maar, metingen gaan ook steeds meer op individueel plantniveau plaatsvinden: eveneens een trendbreuk. Het is belangrijk, dat wanneer het onderzoek is afgelopen, dit goed op te pakken/ communiceren naar de tuinder/commercie toe.

3.2 Onderzoekers PPO Glas

- Basis moet zijn een goed ontwerp van kas en verwarmingsinstallatie. Nu wordt alleen nieuwbouw die in aanmerking wil komen voor Groen Label- certificaat doorgemeten op temperatuurverschil. Eigenlijk zou alle nieuwbouw doorgemeten moeten worden. Geconstateerde verschillen van $>3^{\circ}\text{C}$ zijn lasfouten of verkeerd uitgerekend. Vaak wordt het probleem niet opgelost door tijdgebrek (pootbare plant staat klaar, te veel werk, geen tijd). Na installatie is het de vraag of een continue meting nog nodig is. Daarnaast is continu meten alleen zinvol als direct kan worden gestuurd en dus de grootte van de regeleenheden afgestemd is op de meetplek, bijvoorbeeld:
 - gevel apart te regelen
 - ramen verschillend openen per kap of in lengte van kap
 - groeibuisnet moet net zo geregeld zijn als ondernet en als bovennet, qua grootte. Dat is nu vaak niet het geval ivm ontwerp (x aantal buizen kunnen op een pomp/regelklep). Dit gebeurt al bij nieuwbouw en komt nog vaker voor bij uitbreidingen/toevoegingen. Dit geldt overigens ook voor het scherm en de ramen.
- Anders kiest men gauw voor ventilatoren. Deze brengen de lucht in beweging. Vaak ziet men minder groeiverschillen of ziekten en dus werkt het goed. Incidenteel wordt na in gebruik name van ventilatoren het horizontale klimaat gemeten. Behalve de energie die nodig is om de ventilator te laten draaien, kan een ventilator het energieverbruik vergroten doordat de luchtbeweging langs een koud dek toeneemt, waardoor meer gestookt moet worden. Dit is belangrijk bij groenten (laag liggende buizen) en minder bij bloemen (veelal de buizen bovenin de kas, dus er zijn al grote verliezen). Een ventilator is een aspirine, het neemt de oorzaak niet weg, maar kan het symptoom (groeiverschillen) verminderen. Temperatuurverschillen worden voor ca. 70% veroorzaakt door het verwarmingssysteem en 30% door andere oorzaken (onvolkomenheden), zoals een gebroken ruit, luchtramen die kieren, rubbers die niet aansluiten.
- Een uniform klimaat is van belang ter voorkoming van ziekten (botrytis, mycosphaerella e.d.), om eenmalige oogst mogelijk te maken (chrysant, contractteelten) of bij stuurbare gewassen (temperatuur heeft invloed op de bloei, phalaenopsis). Als contract niet gehaald kan worden (= verplichting tot leveren, maar niet kunnen leveren, betekent dit duur inkopen bij collega of veilingklok en een lagere prijs bij zelf aanleveren bij klok enkele dagen later; potplanten).
- Groeiverschillen door klimaatverschillen zijn bij hoogopgaande groentegewassen snel zichtbaar door verschil in lengte. Bij siergewassen soms moeilijker als er kleine partijen op verschillende datums worden geplant. Soms stoort een teler het niet om een later hoekje te hebben (arbeidsspreiding) , maar als geleverd moet worden (contract) is dat geen optie. In chrysantenteelt is in het algemeen de verwarming al geoptimaliseerd. Daar is eenmalige oogst erg belangrijk.
- Verticaal meten is belangrijk met de ontwikkeling van gesloten kassen (slurven onderin, hoogopgaande gewassen (groeipunt, afrijping vruchten, lampen). 3 plaatsen volstaan waarschijnlijk, maar dan ook een regelgroep (dus twee groeibuisnetten?). Je ziet terugkomen dat een meetbox per 5000m² te weinig is en dat meer regelvakken (dus kleinere) noodzakelijk zijn.

- Sensoren die nuttig zijn, zijn temperatuur, RV, PARlicht, CO₂ en eventueel een wetsensor. Planttemperatuur is een volgende optie waarbij niet op één plantplek moet worden gemeten, een continugrid zou een oplossing kunnen zijn. Regeling zou daar op aan moeten passen in afhankelijkheid van gewas (intelligro; grosens). Bijvoorbeeld het sluiten van het scherm op basis van planttemperatuur of stoken.
- Een PAR lichtcel in de kas zou welkom zijn, maar niet als deze vaak moet worden schoongemaakt. In een meetset zou PAR een welkome aanvulling zijn, b.v. om het scherm open/dicht te sturen en minder op de temperatuur/RV te focussen (bij kalanchoë, Spatiphyllum, anthurium, bromelia's). In ieder geval een lichtcel per schermregelgroep.
- CO₂ is ook een aanvulling. Huidig verdeelsysteem is mager van kwaliteit, slechte verdeling, beïnvloed door tafels, goten en gewas, maar ook luchtstromen. Dus is verschil in CO₂ niveau bij klimaatverschillen ook groot. Dit speelt vooral bij groentegewassen, in mindere mate bij snijbloemen, maar juist meer bij potplanten (daar wordt alleen CO₂ gegeven als kachel aan staat (dus weinig). Dampen zijn niet geschikt. Bij potplanten vaak uitblaaspunten, dus per definitie verschillen.
- Meetfout meetapparatuur: Bij Groen Label is 0,2 °C in Pt100 de maximale afwijking, dan volgt maximaal een 3% verschil in RV als die gekoppeld is aan meting temperatuur (Van den Berg en de Ruiter, 1998). Hoe zit dat met de draadloze sensor? 0,1°C lijkt goed voor temperatuur. RV moet liefst 1% zijn, maar minder dan 3% en dan in het gebied van 50-100% en speciaal het gebied boven de 80%. B.v. 95% RV is cruciaal voor natslaan en schimmeluitbraak; nu meet de sensor 93% en neemt de klimaatcomputer geen maatregelen, terwijl de feitelijke waarde 96% is en dus schimmel in de hand werkt. Daarnaast mag de waarde niet verlopen in de tijd.
- Als er meer dan 2 °C verschil wordt geconstateerd tussen de meetpunten moet er wat aan gedaan worden. Bij minder dan 1°C verschil is het goed.
- Een grid van 20 tot 30m zoals ook Nijls al voorstelde is goed. Naar 5m hoeft men niet te gaan omdat dit een schijnnaauwkeurigheid oplevert. Grote temperatuurverschillen meet je ook al om de 20 m. Geveleffect en middenpad zijn op circa 1,5 m nog goed waarneembaar. Je hoeft dus niet aan gevel zelf te meten.
- Plaats in de kas is behalve bij de gevel en het middenpad, ook bij menggroep (warmer want slecht geïsoleerd) en op grens van twee regelgroepen, als mede midden in vak.
- Een tuinder wil een meetset hebben als het voordeel oplevert (meerwaarde), maar het moet ook direct te kopen zijn. Een concept zonder apparaat (zoals nu het Smart Dust stadium is) is niet goed, maar een apparaat zonder concept (phytotech, enkele jaren geleden) is ook niet goed. Een teler stelt gelijk de vraag waar kan ik het kopen. Als dat stadium nog niet bereikt is, dan geen demo organiseren. Teler zit niet te wachten op een leuk meetprincipe dat hij niet kan kopen of pas over 3-5jaar. Daarnaast moet het een 'hebbedingetje' zijn met snufjes (gps gestuurd, op mobieltje). Het moet door teler zelf te beïnvloeden zijn (andere ophangplek, sensoren dicht op elkaar). Voor een contractteler is het van belang om aan zijn contract te voldoen, als dit helpt, koopt hij het meteen. Aarzeling bestaat ook: 'op mijn tuin niet nodig, want...'
- Sensoren moeten onderhoudsarm/vrij zijn. Dit geldt voor alle te meten variabelen.
- Hoe zit het met storing van de sensoren op andere apparatuur (telefoon, radio (538), burens met zelfde systeem)? Verder moeten de sensoren niet in de weg hangen, niet tegen aan lopen/rijden, geen belemmering vormen voor automatisering, tegen vallen of een mes kunnen (hufferproef).
- Als WUR meting in eigen beheer doet, levert het allereerst geld op, maar onderzoek is ook betrokken bij meting en ziet nieuwe onderzoeksvragen ontstaan die anders eerst via toeleverancier of voorlichter gefilterd de onderzoeker vaak niet bereiken.
- Teler wil bij continue meting direct een plaatje krijgen met gemiddelden van afgelopen uur, maar het moet er als een soort momentane waarde uitzien (on-line meekijken). Het plaatje is een thermoplot van de plattegrond van zijn kas of meetbereik (blauw is koud, rood is warm). Max/min weergave is van belang als hij het kan oplossen. Als hij er op gaat regelen is gemiddelde voldoende, want dan volgt er een actie (door computer). Meten eens per 2-5 minuten lijkt voldoende, met een opslag van gemiddelde eens per 10 minuten. Ook al omdat verwarmingsregelgroep vaak niet sneller is dan 20 minuten.
- Data moeten in PC ook gemakkelijk te exporteren/importeren zijn door onderzoekers/voorlichters of studiegroepen.

3.3 Telers

Een discussie met telers van aubergine, gerbera, tomaat en potplanten (potchrysan, poinsettia, kalnachoë) leidde tot de onderstaande conclusies. Telers die niet konden komen is een vragenlijst gestuurd (zie bijlage 1). Hun antwoorden zijn ook hieronder weergegeven.

3.3.1 Meten in een kas

- Nieuwe bedrijven laten metingen uitvoeren om het groen label certificaat te krijgen. Doordat nieuwe bedrijven steeds groter worden, wordt controleerbaarheid steeds belangrijker: je bent er niet meer bij. Bij (grote) bedrijven worden te weinig (continue) metingen gedaan. Meestal worden gevel- of puntmetingen uitgevoerd. Het blijkt dat identieke afdelingen heel verschillend kunnen zijn. In de compartimenten zie je het, behalve aan gemeten temperaturen, ook aan de planten en je voelt het. Verschillen in de compartimenten zijn ook afhankelijk van de windrichting. Tuinders willen verschillen oplossen door te regelen en te sturen. Zo kan bijv. een verwarmingsbuis verstopt zitten.
- Trend is dat compartimenten steeds groter worden, maar tuinders vinden wel dat compartimenten beheersbaar moeten blijven. Er worden tussenoplossingen genomen om het risico te spreiden. Tuinders hebben het liefst een grafisch beeld van de temperatuurverdeling.
- Door meten weet je meer van bijv. scheuren in het scherm of een kapot raam. De stuurmogelijkheden blijven beperkt omdat verwarming op andere schaal is geregeld. Het is belangrijk de oorzaak van de afwijkingen te traceren. Zo zijn er grote afwijkingen in de raamstanden: ze zijn nooit gelijk. Ook kan trek in de kas worden veroorzaakt doordat ramen kieren: bij sluiten vallen ze niet precies in de rubbers terug. Waarschijnlijke oorzaak is torderen van de stang door de lange afstand waarover de ramen worden geregeld. Motoren zijn niet af te stellen op een fijnere regeling: de hardware kan het niet aan.
- Bij hogere kassen met een vloer op afschot (7 mm per 4m) merk je dat de warmte naar een punt trekt: een schoorsteeneffect.

3.3.2 Moet het hele jaar gemeten worden of incidenteel?

- Blijven zoeken naar de oorzaak van de verschillen in temperatuur in de kas loont. Wanneer oorzaken in kaart worden gebracht en worden opgelost, heeft dat een wisselend resultaat omdat veel processen (5-6) door elkaar heen lopen. Het voorjaar en najaar zijn de moeilijke tijden wanneer de buitentemperatuur bv 13°C is. Eén teler heeft 2 meetboxen op 50m afstand van elkaar. Deze hebben een temperatuurverschil van meer dan 4°C. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de schermdoeken een hoogteverschil van 20cm hebben. Bij gerbera's treden juist grote verschillen op wanneer het doek open gaat.
- Bij de luchtbeweging kijk je naar de ziektedruk. Bij monitoring van de ziektedruk bepaalt de tuinder een grens, wanneer die wordt overschreden wordt meer gestookt zodat bijv. natslaan wordt voorkomen. Bij de gesloten kas is er een geforceerde luchtbeweging en wordt ook geforceerd gekoeld. De gewassen gedragen zich daar anders dan bij de traditionele teelt. Het idee is dat de CO₂-concentratie gelijk is in de hele kas. Bij een laag ventilatievoud verschilt het niveau van de ramen in hoogte.
- Het lijkt een trendbreuk van de nieuwe technieken: er wordt weer teruggedaan naar de kleinere afdelingen/ compartimenten. Betrouwbare metingen zijn belangrijk: je weet wat je doet. Ventilatoren worden ingezet maar die verspreiden de ziektekiemen ook sneller. In de praktijk wordt geëxperimenteerd met schermdoeken: zowel schermkiergrootte als schermen met minder bandjes of doorlatende bandjes. Het laatste lijkt geen succes te zijn omdat ze kieren. De kou boven het doek trekt naar de gevels en 'valt' daar.

3.3.3 Nauwkeurigheid van sensoren

- Tuinders wensen een nauwkeurigheid van $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Een akoestisch systeem is geen oplossing voor het meten van temperatuur in de kas: je meet niet daar waar je de temperatuur wilt weten. Veel werk om de installatie goed aan het werk te krijgen en een 10ha kas is te groot.
- Gelijke temperatuur in de kas geeft een uniformere tomaat: beter marktperspectief. Per kg product ben je goedkoper uit. Voor het draadloos meetsysteem moet worden uitgezocht in hoeverre de communicatie gevoelig is voor storingen (frequentie van uitzenden, GSM) in de kas en de aanwezigheid van vocht, ijzer en een gewas.
- Bij de mobiele teelt van gerbera's zou de temperatuurmonitoring plaats kunnen vinden door een temperatuursensor mee te sturen met de tafel. Samen met locatiebepaling kan worden nagegaan waar een botrytis-uitbraak vandaan komt. Gewasbescherming zal daardoor minder hoeven te worden ingezet en geeft een meer uniforme oogst. Bijvoorbeeld wanneer je op gewicht levert: geeft (veel) hogere financiële opbrengst. Algemeen geldt dat bij buitentemperaturen lager dan 5°C , in de kas geringere temperatuurverschillen worden gemeten dan bij hogere buitentemperaturen.
- Het verwarmingssysteem en het schermdoek (wat kiert) staan los van het meetsysteem maar horen er wel bij. Bij het opsporen van de oorzaken moet systematisch te werk worden gegaan (verwarming en verschillen in lichtspleet bij ramen). De tuinder heeft het idee dat mogelijk een tweede scherm in de kas tot kleinere temperatuurverschillen zal leiden.
- Tuinders hebben interesse in het meten van vochtigheid wanneer de temperatuurmetingen tot 1°C nauwkeurig zijn. De tuinder heeft een investering van 1500€/ha voor een vaste installatie over. Een verplaatsbare installatie mag meer kosten.

3.3.4 Voortgang project

- Een demonstratie voor tuinders op het bedrijf vinden ze pas zinnig wanneer de sensoren binnen een half jaar op de markt komen. De tuinders willen wel meewerken aan een praktijktest van de metingen op hun bedrijf. De proef zal in de zomer/ het najaar starten. De tuinders stellen het op prijs twee praktijktesten uit te voeren: bijvoorbeeld één bij tomaten en één bij gerbera's.
- Telers hebben interesse in voortgang project en willen op hun tuin wel een meetset uitproberen. Omdat het energiebesparing oplevert, een duidelijk positieve bijdrage geeft aan het marktgericht produceren en met de gewas-bescherming op de grens kunt gaan zitten.
- De Lofar aardappelproef (meer info via google met de zoekopdracht: 'lofar agro') waar draadloze sensoren voor temperatuurmetingen worden ingezet zal via internet te volgen zijn:
 - <http://www.durkgardenier.nl/stock/lofar/> voor recente foto's.
 - <http://dutigw.st.ewi.tudelft.nl/mockup/> voor een overzicht van metingen (site niet altijd in de lucht).
- In een kas ligt weergave van de demo-resultaten op internet iets genuanceerder: een tuinder maakt iets van zijn bedrijfsgegevens openbaar, bij een buitenteelt is het klimaat iets dat hem overkomt. Nader overleg is hierover t.z.t. gewenst.

4. Resultaten en discussie

4.1 Technische en economische haalbaarheid

4.1.1 Continu of incidenteel meten?

Zowel gebruikers als onderzoekers zijn ervan overtuigd dat horizontale klimaatverschillen in eerste instantie bij de bouw moeten worden opgelost. Eerst een goed ontwerp en bij de oplevering een meting van temperatuurverschillen zoals voor de Groen Labelkas certificering is vereist. Te overwegen valt om een dergelijke meting voor alle nieuwbouw verplicht te stellen. Vervolgens blijken nog steeds temperatuurverschillen op te treden. Telers noemen 1-2°C; verschillen van meer dan 3°C zijn fouten in de aanleg (lasfouten, verstopte buizen of kleppen), kapotte ruiten of scheuren in het scherm. Wanneer temperatuurverschillen niet meer worden veroorzaakt door de hiervoor genoemde problemen, gaan de meningen van de tuinders verschillen over de noodzaak van een continue meting. Zij die dan nog steeds grote temperatuurverschillen hebben willen wel continu meten, zij die geen verschillen hebben vinden een incidentele meting voldoende. Grote temperatuurverschillen treden vaker op bij kassen met een grote poothoogte (5-6m) en daar waar het aantal ruimten afneemt (sommige telers willen graag één kasruimte van 5-10 ha, maar wel met verschillende stookgroepen). Daarnaast speelt ook het probleem in het ontwerp, maar zeker na aanbouw/uitbreiding van de kas, het verschil in grootte van stook- en luchtingsgroepen. Het blijkt dat de groottes van de stookgroep voor de buisrail, de groeibuis en de luchtingsgroep alle drie vaak van elkaar afwijkende maten hebben. Als gevolg hiervan kan het opheffen van een koude plek met een minimumbuis in een ander gedeelte leiden tot een te hoge temperatuur. Daar wordt dan weer extra gelucht of treden andere teeltkundige gevolgen op. Energieverspilling is het echter zeer zeker. Hier een oplossing voor maken valt buiten het bestek van dit project. Het zou echter aanbeveling verdienen om met de hulp van KASPRO uit te rekenen in hoeverre met kleinere regelgroepen en sturingsmogelijkheden per groep het binnenklimaat optimaler geregeld kan worden, waarbij de compartimentsgrootte en kashoogte, maar ook variabelen als een gangbare of een gesloten kas en het aantal klimaatgroepen geoptimaliseerd kunnen worden. Dan kan, wat eigenlijk de teler wil, de oorzaak van de meetverschillen worden aangepakt. Hij kan zodanig gaan sturen dat er een uniform klimaat ontstaat.

4.1.2 Nut van een meetsysteem

Telers hechten een groot belang aan het opheffen/voorkomen van klimaatverschillen. Afhankelijk van het gewas wordt gewezen op energiebesparing, ziekten, contractteelt en uniforme oogst. Gewassen als cycloam, poinsettia, saintpaulia, hortensia, maar ook gerbera zijn gevoelig voor de ontwikkeling van botrytis op koude plekken in de kas. Phaeanopsis en kalanchoë zijn gewassen die onder invloed van de temperatuur in bloei komen. Een steeds belangrijker argument is de contractteelt aan het worden. Levering van een bepaalde hoeveelheid planten of bloemen vóór Moederdag levert gevaar op door temperatuurverschillen. Niet kunnen leveren betekent duurder aankopen bij een collega of op de veiling en het gedeelte dat later marktklaar is tegen een lagere prijs afzetten. In de groenteteelt is verkoop op een bepaalde sortering in vruchtgewicht in gebruik gekomen. Verschil in temperatuur betekent een spreiding in de sortering (tomaat) en dus minder van het te leveren product. Gewassen voor eenmalige oogst (chrysant) leveren bij temperatuurverschillen geen uniform product. Het gedeelte bij de gevel is bijvoorbeeld te laat oogstrijp en moet nog enkele dagen blijven staan. Het gevolg is dat grondbewerking en herplanting ook weer vertraging oplevert, terwijl een gedeelte van de kas leeg ligt. Wél in één keer leeggoogsten van de kas met een niet uniform gewas leidt tot imagooverlies voor het product en de desbetreffende teler en tot lagere prijzen voor de teler.

4.1.3 Hoe worden verschillen nu opgelost?

De meeste temperatuurverschillen komen voor langs de gevel, op het middenpad en bij de menggroepen, waarbij de problematiek het meest in de winter optreedt. Dit is een indicatie dat de oorzaak bij het verwarmingssysteem moet

worden gezocht. Als de verschillen groter zijn dan 3°C moet de oorzaak eerder worden gezocht in kapotte ramen, scheuren in het scherm of een buis die niet meeloopt. Om de verschillen goed te kunnen meten is bij een continue meting een grid van 20-30m tussen de meetpunten voldoende. Een afstand van 5m leidt tot een schijnnaauwkeurigheid. Indien echter in detail op een bepaalde plek inzicht in het verloop moet worden gekregen dan kan een grid van 4x4 m nuttig zijn. Uit de discussie kwam naar voren dat er een onderscheid is tussen een continue opstelling, een incidentele opstelling om een specifiek probleem op te lossen en een onderzoeksoptelling. De grid wordt dan fijner en er komen meer sensoren.

Telers geven aan dat gebruik van minimumbuis, groeibuis en ventilatoren het meest worden gebruikt om verschillen op te heffen of althans kleiner te maken. Of het voldoende is weet men niet. Slechts zeer af en toe wordt dit nagemeten, een mobiel meetsysteem zou hierbij kunnen helpen. Zowel de groeibuis als een minimumbuis kosten direct energie als de koude plekken moeten worden weggewerkt. Schattingen komen uit op 5-10% extra energie, waarbij KASPRO en Nijs (1997) berekenen dat 1°C temperatuurverschil 10% energieverschil is. Dit laatste als inderdaad over het gehele jaar 1°C te hoog gestookt wordt. Gezien de problematiek komen de meeste temperatuurverschillen voor in het stookseizoen, deze kunnen met gemak oplopen tot 2-3°C. Dus 10% energiebesparing door het opheffen van de temperatuurverschillen lijkt redelijk. Ventilatoren worden in verschillende maten en verbanden opgehangen en ook in verschillende aantallen per ha. De adviezen over aantal en capaciteit variëren ook. Iedereen is het er echter over eens dat ventilatoren een mooi medicijn zijn dat in staat is (een deel van) de pijn (temperatuurverschil) weg te nemen. De oorzaak wordt niet weggenomen. Behalve de directe energiekosten voor het draaien van de ventilatoren veroorzaakt de extra luchtbeweging meer stroming langs het kasdek. Hierdoor gaat energie verloren.

4.1.4 Verticale temperatuurverschillen

Door deskundigen wordt verschillend gedacht over het nut van verticale metingen. Echter, in de gesloten kas (slurven) of met verschillende eisen van een gewas (rijping tomaten en groei top van de plant) zou beheersing op meerdere verticale niveaus gewenst zijn. Door in een experiment naast horizontale metingen ook op relevante plaatsen verticale metingen uit te voeren wordt inzicht verkregen in de ruimtelijke temperatuurverdeling. Hierdoor wordt bekend of meten op één temperatuurhoogte volstaat.

In de tablettenteelt wordt de temperatuur gemeten direct onder het tablet (wanneer treedt condensatie op), tussen de potten in (risicoplaats voor ziekteuitbraak) en boven de tabletten (om de luchttemperatuurmetingen uit te voeren). In de hoge teelt is de temperatuur in de kop van de plant belangrijk, omdat het niet wenselijk is dat verbranding optreedt door een te hoge temperatuur. Maar bij hoogopgaande gewassen wil je graag onderaan de plant de temperatuur meten om de ziektedruk te volgen..

In bovenstaande gevallen is het wel van belang onderscheid te maken tussen onderzoek en praktijk. Een routinematig meetnet voor een teler is iets anders (o.a., grofmaziger) dan een meetnet voor onderzoekers om detailinformatie te verkrijgen rond een bepaalde situatie. Meten bij de meetgoot kan op die manier ook veel extra informatie opleveren. Het lijkt niet nodig om in de hele kas op verschillende verticale niveaus een meetnet te hangen. Juist deel 2 van dit project kan daarin handvatten geven over hoe en waar te meten en hoeveel sensoren zinvol zijn voor de ene of de andere situatie. Voor een teler kan een meetsysteem van nut zijn op het moment dat hij van teeltsysteem veranderd (van vast systeem naar een mobiele goot, van gangbaar naar een gesloten kas). Extra informatie helpt dan om het nieuwe klimaat zo optimaal mogelijk te regelen.

4.1.5 Sensoren

Zowel telers als onderzoekers vinden temperatuur de belangrijkste parameter die moet worden gemeten, daarna volgen RV en CO₂. Sommige onderzoekers en telers zien ook mogelijkheden voor het in de kas meten van PAR-licht, vooral als klimaat op lichtniveau geregeld kan gaan worden. Temperatuur moet worden gemeten tussen de kop van de planten of bij het groeipunt. De uiteindelijk te kiezen sensoren moeten te kalibreren zijn, over een lange periode

stabiel kunnen meten, weinig tot geen onderhoud vragen en voldoende nauwkeurig zijn. Daarbij moet de kostprijs van de sensoren aanvaardbaar zijn.

Omdat de sensor gekoppeld wordt aan de node legt de node een aantal beperkingen op aan de keuze van de sensor. De volgende punten zijn daarbij van belang:

- laag energie verbruik (gewenst is 1 tot 5mA bij 3 V per meting);
- gebruiksspanning van 3 V of minder;
- elektromechanisch aan te sluiten zijn op de node (de sensor moet te voorzien zijn van een passende connector).

Daarnaast zijn ook de volgende eisen aan de sensoren naar voren gekomen:

- Een klein formaat, ongeveer passend in een buis met een diameter van 5 cm. zodat node en sensor daarin te integreren zijn;
- Calibratie vooraf zodat ze bij de tuinder direct zijn in te zetten;
- Nauwkeurig op 0,2°C en beter dan 1% RV in het gebied tussen de 80 en 100% RV;
- Kunnen meten tot 100% RV;
- Bestendig zijn tegen kasklimaat en vallende druppels vanaf het kasdek;
- Eenvoudig verkrijgbaar;
- Eenvoudig uit te wisselen bij defect.

Het meten van CO₂ met draadloze minisensoren kan, in een volgende fase, verder worden uitgewerkt. Hierbij moet worden gedacht aan het in kaart brengen van de stromingen vanuit een modern en aangepast doseersysteem, waarbij ook weer bepaald moet worden of het voor de teler interessant is of alleen voor het onderzoek. In feite geldt hetzelfde voor PAR licht en planttemperatuur. Voor het meten van PAR licht is nu al bekend dat de kwaliteit van de sensor een zeer grote invloed heeft op het meetresultaat en de prijs van het systeem.

4.1.6 Nauwkeurigheid van de meting

Telers sturen op de grens van ziektedruk. Hierdoor is een nauwkeurige meting noodzakelijk om bijv. natslaan van de planten te voorkomen. De nauwkeurigheid van de metingen moet <0,2°C zijn, dit is gebaseerd op de droge-natte bol meting. De RV sensor moet in het gebied tussen de 80-100% nauwkeurig kunnen meten; het liefst met een meetfout van minder dan 1%. Hoe nauwkeuriger de metingen, hoe groter de winst voor de tuinder kan zijn doordat beter te sturen is op de minimale en maximale grenzen van het kasklimaat. De winst vertaalt zich naar lager energieverbruik, minder verbruik van gewasbeschermingsmiddelen of een uniformer product bij contractteelt op gewicht. Een voorbeeld is de tomatenteler die tomaten op gewicht x moet afleveren. Slechts 40% van zijn oogst voldoet aan dit criterium en de rest moet via de veiling voor een lagere prijs worden verkocht. Wanneer klimaatverschillen minimaal zijn zal hij een grotere gedeelte van zijn oogst onder contract kunnen afzetten.

4.1.7 Node

In principe is de keuze enorm tussen alle aanbiedende fabrikanten maar zijn de nodes min of meer gelijk aan elkaar. Met alle verschillende stukken hardware is een draadloos meetsysteem op te bouwen en zullen de verschillen liggen tussen de reikwijdte van het radiosignaal, energieverbruik, de gebruikte software, toepasbaarheid van sensoren en de kostprijs. Binnen Wageningen UR is voor open teelten in het Lofar Agro project ervaring opgedaan met een node van TNO ook wel Tnode genoemd. Deze node is een kopie van de Amerikaanse Xbow node. Het voordeel van de Tnode t.o.v. de Xbow node is de lagere kostprijs (€50,- i.p.v. €120,-) en dat de kennis zich in Nederland bevindt. In het Lofar Agro project is hardware ontwikkeld om buitenklimaat gegevens te kunnen verzamelen met een draadloos sensornetwerk. Deze ervaring zal in dit project gebruikt gaan worden. Dit betekent dat er in eerste instantie gekozen zal gaan worden voor de Tnode wat een ontwikkeltijd van 2 maanden bespaart in software, verpakking en energie voorziening (zie ook Medema, 2005).

Een belangrijk onderscheid tussen de nodes is de nauwkeurigheid van de omzetter van het analoge meetsignaal naar een digitale waarde door de ADC (analog to digital converter). De nauwkeurigheid wordt aangegeven in het aantal bits. Vaak is dit 10, 12 of meer. De Tnode heeft een ADC van 10-bit. Bij een 10-bit ADC kan de microprocessor $2^{10} = 1024$ stapjes maken. Dit betekent dat een signaal van 0 tot 1 Volt opgedeeld kan worden in $1/1024 \approx 0,001$ V. Mocht het nodig zijn om een kleiner signaal te kunnen meten lukt dat niet met deze ADC en zal een ander type gekozen moeten worden. Dit heeft gevolgen voor de sensorkeuze. Stel dat de temperatuur in de kas gemeten gaat worden op $0,1^{\circ}\text{C}$ met een bereik van 10 tot 50°C . Dit betekent dat de ADC $(50-10) \times (1/0,1) = 400$ stappen moet kunnen maken en een ADC van 9 bit nodig heeft ($2^9 = 512$). Solarimeters hebben vaak een grotere gevoeligheid en een groter meetbereik. De maximale straling kan oplopen van 100 tot 1400 W/m^2 . Bij een meting van de straling op 1 W/m^2 nauwkeurig is een ADC nodig van $(1400-100) = 1300$ stappen = ADC van 11 bit ($2^{11} = 2048$) en zal de Tnode met een 10-bit ADC van 1024 stappen niet meer voldoen.

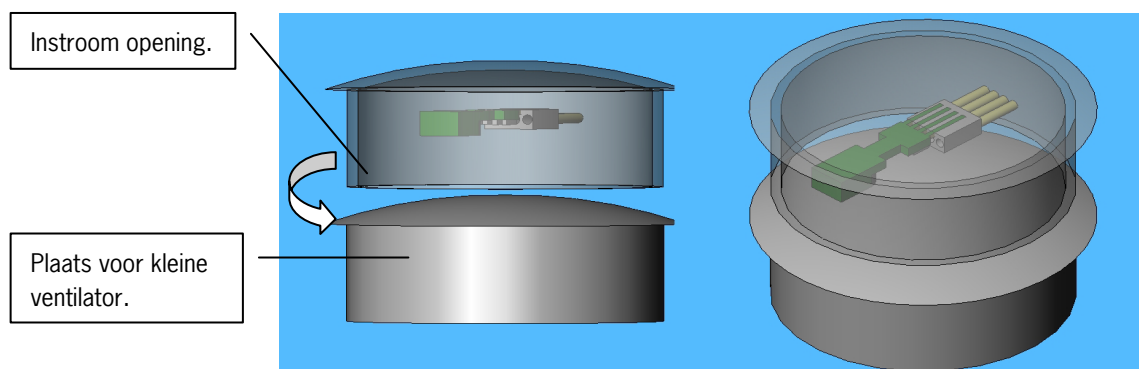
4.1.8 Verpakking

De verpakking van de node en sensoren zal wezenlijk anders zijn in vergelijking met de Lofar Agro node. De Lofar Agro node is gebruikt in een aardappelveld dat er anders uitziet dan een hoogopgaand gewas of een potplantenteelt op tabletten in een kas. Voor de verpakking van de node zijn de volgende punten van belang:

- Moet makkelijk te plaatsen zijn in verschillende teelten
- Moet te bevestigen zijn in de buurt of aan een plant
- Te bevestigen zijn aan een ander constructiedeel van de kas of teeltmiddelen
- Bestendig zijn tegen kasklimaat (hoge RV en T, directe straling)
- Robuust zijn
- Weinig tot geen uitstekende delen hebben
- De sensor beschermen tegen vuil en condenswater
- De sensor in contact brengen met het te meten medium
- Makkelijk te produceren zijn
- Lage kostprijs hebben
- Van buiten af toegang bieden tot de energiedrager in de verpakking zodat deze 'ververst' kan worden door opladen of uitwisseling daarvan.

Door de gestelde eisen zullen vooraf door de fabrikant verpakte nodes afvallen omdat deze niet kunnen voldoen aan boven gestelde eisen. Er zal gezocht worden naar een kunststof verpakking omdat deze doorgaans makkelijk te maken/repareren zijn en de grondstof een lage kostprijs heeft. Door het gebruik van kunststof clips, die in ruime mate en veel types te verkrijgen zijn, zal daarin gezocht worden naar een stabiel en variabel in te stellen bevestigingsmechaniek.

De sensorbehuizing zal deels open moeten zijn om langs de T en RV sensor een luchtstroom mogelijk te maken (dit kan door gebruik van een ventilator of door venturi werking) en deels dicht genoeg om de sensor te beschermen tegen directe straling en condenswater. De behuizing zal dan lijken op een klein weerhuisje of taps toelopende kunststof huls met ventilator (Figuur 6).



Figuur 6. Voorbeeld van een behuizing.

4.1.9 Energievoorziening

Op dit moment worden verschillende nieuwe ontwikkelingen uitgetoetst om inzicht te krijgen over hoe in de toekomst draadloze sensor netwerken efficiënter met energie kunnen omgaan. Een voorbeeld hiervan is:

- PicoRadios for Wireless Sensor Networks, The Next Challenge in Ultra-Low Power Design, Jan M. Rabaey, Josie Ammer *et al.*, 2003.
- http://bwrc.eecs.berkeley.edu/Research/Pico_Radio/

In dit onderzoek wordt door slim gebruik van software, die de communicatie regelt tussen noden, bespaard worden op het energie verbruik van de node. De truc is om de zend- en luistertijd van de noden tot een minimum terug te brengen. Daarnaast worden nieuwe radiochips ontworpen die op een lagere spanning kunnen werken. Voorlopig zijn deze ontwikkelingen nog niet publiekelijk beschikbaar en daardoor niet toepasbaar in dit project.

In het literatuuronderzoek (hoofdstuk 2) zijn 3 opties genoemd die hieronder worden besproken.

- *Optie 1*, nodes aansluiten op het vaste net, valt direct af. Deze keuze zou het sensor netwerk te veel afhankelijk maken van de aanwezige installatie bij de tuinder die niet overal gelijk zal zijn. Daarnaast zullen vanuit de bestaande elektrische aansluitpunten in de kas naar de noden alsnog kabels aangelegd moeten worden waardoor het voordeel van een mobiel meetsysteem wegvalt. Ook de hoge kostprijs, installatie- en onderhoudskosten van €2,- p/m nemen het voordeel van een lowcost meetsysteem weg.
- Daarentegen is optie 1 een onderhoudsvrije en robuuste methode om de noden van energie te voorzien omdat er na de aanleg vanuit mag gaan worden dat de technische installatie niet zal wijzigen. Voor een tuinder die een vaste installatie wenst kan deze optie overwogen worden.
- *Optie 2*, batterij, is aantrekkelijk door de lage kostprijs per set batterijen en de betrouwbaarheid daarvan. Een nadeel is dat de 3 Volt vraagt om meerdere batterijen te koppelen om deze spanning te kunnen bereiken. Ook ontladen batterijen zich niet geheel voorspelbaar. Door verschillen in elektrische circuits zal de ene batterij sneller uitvallen dan de andere. Gelukkig is door software op een node de batterijspanning op afstand op te vragen en kan er zodoende een alarm gegeven worden wanneer een batterij van een node dreigt op te raken.
- *Optie 3*, accu met zonnepaneel, is aantrekkelijk doordat een zonnepaneel voortdurend voor energie kan zorgen en er daardoor geen onderhoud gepleegd hoeft te worden aan de energievoorziening. Dit is helaas maar ten dele waar. Bij slecht weer, 's nachts en bij sterke vervuiling gaat een zonnepaneel slechter gaan presteren of levert helemaal geen energie. Daarnaast is zelfs in een kas niet overal zonlicht aanwezig. Voor het inzetten van een zonnepaneel zijn veel extra onderdelen nodig zoals een houder en klemmechanisme voor het paneel, een klein energiebuffer, en oplaadelektronica die de spanning en stroom omzet naar een bruikbare signaal voor het energiebuffer. De vele onderdelen maken de kostprijs per sensor te groot en het ontwerp te complex (Kintner-Meyer and Brambley, 2003).

Combinatie van opties, batterij voeding en discontinue opladen

Optie 2 en 3 kunnen geïntegreerd worden door een batterij voeding te kiezen en deze oplaadbaar te maken. Dit zou betekenen dat de tuinder eens in de 3-4 maanden zijn noden moet 'oogsten' en ze in een lader moet steken. De tuinder kan op dat moment een wisselset inzetten zodat oude noden direct vervangen kunnen worden door verse. Het meetsysteem hoeft er op die manier nooit uit te liggen. Het voordeel van dit systeem is dat de batterij aanschaf eenmalig is en de noden verzekerd zijn van energie. Een nadeel is dat een extra laadstation aangeschaft/ontworpen moet worden. De verwachting is dat dit uit verkrijgbare modellen opgebouwd kan worden.

Naast de bovengenoemde technieken is op dit moment geen andere manier gevonden om de noden van energie te voorzien. Daarom wordt in eerste instantie uitgegaan van optie 2, een batterij, omdat deze een lage kostprijs met een hoge betrouwbaarheid combineert.

4.1.10 Kostprijzen energievoorziening

Bij de onderstaande berekeningen is er vanuit gegaan dat er twee sensoren (temperatuur, RV) per node zijn en 50 nodes per ha.

Kostprijs vaste voeding

Om de node aan te sluiten op het lichtnet zijn de kosten als volgt opgebouwd:

- kabels: €2 p/m. (geschat wordt dat er per sensor gemiddeld 30 meter benodigd is.
- regelelektronica om 230 V of 24 V terug te brengen naar 3 V: €9,- per sensor.

Totaal komt de kostprijs voor energievoorziening op €69,- per sensor, los van de 130 W jaarverbruik wat zeer gering is. Per ha is dit €3450,-

Via de volgende weblink kan een afweging gemaakt worden in de kostprijs van de opties 2 en 3 (batterij en zonnepaneel): www.solarbuzz.com/

- Het verbruik van een node is ongeveer 5mA continue bij 3 Volt, dit is 0,015 W. Per jaar is dit: $0,015 \times 24 \times 365 = 130W$
- De kostprijs voor een paneel ligt nu ongeveer op €5,80 per Watt.
- De kostprijs voor een spanningsomzetter is nu €0,68 per Watt
- Laadregelaars kosten €4,76 per Ampère
- Het rendement van een spanningsomzetter is ongeveer 60% (www.Tracopower.com)
- Het rendement van een laadregelaar is ongeveer 40% (www.conrad.nl/solarpower).

Kostprijs zonnepaneel

Dit betekent voor de kostprijs van een zonnepaneel per Watt (ca. 10x15cm) van:

- $(5,8 + 0,68 + 4,76 \times (0,13/1)) \times (1/(0,6 \times 0,4)) = €30,-$

(Dit is een theoretische prijs, in de handel zijn op dit moment 1 Watt panelen te verkrijgen voor €80,-)

Hierbij komen de kosten zoals bij de uiteenzetting van optie 3 nog bij (klem, behuizing, electronica), deze worden geschat op 100% van de kostprijs van een 1 Watt paneel: €30,-. Hierbij zal de kostprijs van een zonnepaneel tussen de €60,- en €110,- komen te liggen. Dat betekent per ha € 3000,- - 5500,-.

Kostprijs batterij

Een veelgebruikte batterij is een lithiumthionyl accu met een capaciteit van 7,6 Ah bij een spanning van 3,6 V. Deze is veel gebruikt omdat met een enkele batterij direct de spanning van 3,6 V te halen is en een zeer hoge energie dichtheid heeft. Het nadeel van dit type is dat de inhoud zeer giftig is en explosief verbrand als de verpakking openbreekt. De kostprijs van de batterij is €9,-. (www.sonnenschein-batterie.de). Per jaar zijn de kosten voor een batterijvoeding ongeveer: $(130W/(7,6 \times 3,6)) \times 9 = €42,-$. Per ha betekent dit €2100,-.

Dit maakt de afweging voor een zonnepaneel in de nabije toekomst interessant. Volgens verschillende websites waar de prijzen van panelen wordt bijgehouden is een trend zichtbaar dat de energiedichtheid van een paneel toeneemt en de prijs afneemt (<http://www.solarbuzz.com/index.asp>).

4.1.11 Storingen, onderhoud

Er wordt gestreefd naar een sensor die minimaal onderhoud nodig heeft. De proef in beoogd deel 2 van dit project zal moeten uitwijzen in hoeverre de sensor in de loop van de tijd vervuilt. Via de software is het mogelijk om aan de tuinder te melden dat iets niet goed gaat met node, een foute meting, lege batterij of andere storingen. Voor onderhoud is het dan handig om te weten waar de radio zich bevindt. Er wordt veel onderzoek verricht naar plaatsbepaling met behulp van draadloze sensoren maar de resultaten zijn helaas nog niet bruikbaar in dit stadium (Visser, 2005). Om de radio's snel terug te kunnen vinden kunnen ze voorzien worden van een felle contrasterende kleur en een uniek nummer bestaande uit grote cijfers.

Naast elektromechanische storingen kunnen kasdelen of de planten het radiosignaal verstoren. Dit is overigens nog niet gebleken uit eerdere testen. Het verschil tussen een GSM of normale radio die vaak wel storen in de kas is dat een draadloos sensor netwerk op een andere frequentie werkt, vaak op 868 MHz. De golflengte van deze frequentie is 17 cm. Daardoor zal een kasdek waarin de constructiedelen verder uit elkaar staan dit signaal niet kunnen storen. Ook staan de noden direct met elkaar in het zicht, de zender en ontvanger staan in de kas. Bij een GSM of radio staat de zendende antenne buiten de kas en de ontvanger is in de kas, de tussenliggende kas werkt dan als een schild.

4.1.12 Kosten volledig meetsysteem

In Tabel 1 en 2 is een eerste globale kostprijsberekening gemaakt voor de draadloze sensor die bestaat uit een basisstation en 50 sensoren per ha. In één sensor zitten momenteel zowel de temperatuurmeting als de RV.

Tabel 1. kostprijs van een draadloze sensor en basisstation naar onderdelen.

Onderdelen draadloze sensor	Kostprijs in €	Onderdelen basisstation	Kostprijs in €
Batterij	9	Node (andere taak)	50
Batterijclip	0,50	Antenne	130
Node	50	Antenne kabel	10
Sensor (T+RV)	21	Koppeling naar pc.	150
Ventilator	10	Behuizing	50
Behuizing node	5	Klein materiaal	25
Behuizing sensor	5	Node (andere taak)	50
Bevestigingsclip	0,50		
Montage print	2,50		
Klein materiaal	5		
Totaal	€ 109	Totaal	€ 465,-

De totale investering van het draadloos meetsysteem komen per ha op:

- Draadloze sensoren (50x108) + Basisstation (415) = €5455,-.

Momenteel is de sensor de meest kritische wat betreft levensduur, deze wordt geschat op 2 jaar. De overige onderdelen gaan voorlopig 5 jaar mee. Elke twee jaar komt de installateur de sensoren vervangen (sensoren worden uit de behuizing getrokken, een nieuwe wordt teruggeplaatst). De batterij raakt na 3-4 maanden leeg, maar wordt weer opgeladen, voor het ophalen, opladen en weer terug zetten van sensoren wordt 4 uur arbeid gerekend. Rente 4% over gemiddeld geïnvesteerd vermogen, onderhoud: 10%. De lopende kosten zijn in Tabel 2 uiteengezet.

Tabel 2. Jaarlijkse kosten van 50 draadloze sensoren per ha.

Soort kosten	Bedrag in €
Afschrijving sensor $(50 \times 21) / 2 =$	525
Afschrijving draadloze sensor $(50 \times (108.5 - 21)) / 5 =$	875
Arbeid om batterijen op te laden: $4 \times 4 \text{ uur} \times €17.5 =$	280
Arbeid om sensoren te vervangen.	200
Rente kosten: $2 \times (5455 / 100) =$	110
Onderhoudskosten: $10 \times (5455 / 100) =$	545
Totaal	€2535

De tuinder streeft naar minimale kosten en maximale informatie. In de workshop heeft een tuinder een bedrag genoemd dat een vaste installatie €1.500,- per ha mag kosten, een verplaatsbare mag meer kosten. Bij een energiebesparing van 10% wordt een kostenbesparing van ca. €12.000,- - 13.000 per ha gehaald. Dit betekent dat de investeringsruimte voor een draadloos meetsysteem, inclusief afschrijvingen, rente en onderhoud ca. 2-4x de genoemde bedragen kunnen zijn. Daarnaast moet bij commercialisatie nog rekening worden gehouden met een verdubbeling van de kostprijs. Uit bovenstaande kostprijsberekening blijkt dat de investering ca. € 5455,- bedraagt en de jaarkosten ca. € 2535,-. Hieruit blijkt dat een draadloos meetsysteem al snel rendabel kan zijn.

4.1.13 Voortgang project en demo

Temperatuurverschillen komen voor in alle teeltsystemen. De inhoud van de kas kan grote invloed hebben op de kwaliteit en de reikwijdte van het radiosignaal. Dit kunnen de technische installaties zijn zoals tabletten bij een pottenteelt of een grote bladdichtheid zoals bij een tomatenteelt. Dit maakt het wenselijk om de proef in deel 2 van het project bij twee totaal verschillende gewassen uit te voeren.

Bij het ontwerpen van de sensor met behuizing is het wenselijk om zoveel mogelijk in de buurt te komen van een later commercieel verkrijgbaar product. Hiervoor zal uitgegaan worden van courante en makkelijk verkrijgbare materialen. Dit verkort de ontwikkeltijd naar een commerciële marktintroductie. Dit heeft als doel om de interesse bij tuinders na een succesvolle proef tot de commerciële marktintroductie vast te houden. Als de proef in deel 2 van het project succesvol is kan al contact worden gezocht met potentiële vermarkters en met de bedrijven die momenteel de incidentele metingen uitvoeren.

4.2 SWOT analyse

In Tabel 3 is een SWOT analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities en Threats) gegeven van de sterkten en zwakten en de kansen en bedreigingen van het on-line draadloos meetsysteem.

De in Tabel 3 gegeven SWOT-analyse geeft de mogelijkheden van het draadloos meetsysteem aan. Veel telers bij veel gewassen kunnen er voordelen van hebben. Wel is het belangrijk de gegevens goed en duidelijk te presenteren op de klimaatcomputer. Door de veelheid van fabrikanten en leveranciers is het belangrijk dat vooraf betrouwbare keuzes worden gemaakt en dat randvoorwaarden duidelijk worden omschreven. Aangezien alle onderdelen los te koop zijn zullen, bij succes, meerdere leveranciers met verschillende systemen op de markt komen. Voor de tuinder moet het duidelijk blijven waar hij op moet letten. Als de teler zoveel informatie krijgt waardoor hij door de bomen het bos niet meer ziet of dat het meetsysteem tot storingen leidt, kunnen we beter stoppen, maar aan ons de taak om heldere resultaten te krijgen en de onderdelen te kiezen die storingen voorkomen.

Tabel 3. SWOT analyse meetsysteem.

	Kansen Opheffen klimaatverschillen Energiebesparing Op tijd leveren Minder ziekten Lokaal sturen klimaat Meer op contract kunnen leveren Meetsysteem ook buiten kas toepasbaar	Bedreigingen Teveel informatie Gebruiksonvriendelijk Storingen Vast systeem Iedereen kan het bouwen Te veel onderhoud
Sterkten Draadloos On-line Goedkoop Nauwkeurigheid Aan te passen aan individuele wensen	<i>Aanvallen</i> • Voor telers met klimaatproblemen • Voor veel gewassen • Betere sturing klimaat • Nieuwe mogelijkheden klimaatregeling, meer groepen, wel duurder • Gesloten kassen • Nu geschikt maken voor temperatuur en RV, later ook CO₂, PAR e.a.	<i>Oppassen</i> • Up-to-date, heldere grafieken met juiste info voor gebruiker • Voordelen draadloos beschrijven • Prijs niet ten koste laten gaan van kwaliteit • Met een meetsysteem wordt niet de oorzaak weggenomen (nadere acties nodig) • Goede kwaliteit onderdelen kan tot een duurder meetsysteem leiden dat niet wordt gekocht, terwijl een goedkoop meetsysteem tot slechte prestaties kan leiden
Zwakten Zendbereik node Onderhoud Energievoorziening Behuizing Niet-hufterproof Nieuwe technologie	<i>Aanpassen</i> • WUR kiest juiste nodes en sensoren (kwaliteit!) • WUR ontwikkelt type behuizing en energievoorziening • Type behuizing speciaal maken voor glastuinbouw en van gewasgroepen laten afhangen	<i>Wegwezen</i> • Teveel info op de verkeerde plek en op het verkeerde moment • Stoort huidige klimaatregeling

5. Programma van wensen voor een meetsysteem

Vanuit de discussie met telers en onderzoekers komt naar voren dat een on-line 3D-meetsysteem zeer gewenst is. De sensoren en het meetsysteem zouden aan de volgende voorwaarden moeten voldoen:

Noden

- Niet verpakt door een fabrikant.
- Vrij programmeerbaar zodat andere sensoren naast een T en RV sensor aan te sluiten zijn en een koppeling naar de klimaatcomputer op te bouwen is.
- Elektromechanische aansluit mogelijkheid voor verschillende sensoren.
- Bekende techniek zodat een korte ontwikkeltijd bereikt wordt.
- Goede ondersteuning van de fabrikant zodat bij problemen in de ontwikkeling een snelle oplossing gevonden kan worden.
- Automatische plaatsbepaling van noden.
- Kostprijs rond de €50,-
- Bestand tegen kasklimaat.

Sensoren

- Onderhoudsarm, bij defect snel te verwisselen.
- Lange levensduur, meer dan 1 jaar.
- Temperatuur meetbereik tussen de 0 en 50°C op 0,2°C nauwkeurig.
- RV meetbereik tussen de 80 en 100% op 1% nauwkeurig.
- Laag energieverbruik minder dan 5 mA bij 3 V per meting.
- Aan te sluiten op een node, de sensor moet te voeden en aan te sturen zijn door de node.

Behuizing

- Makkelijk en overal te plaatsen.
- Te verbinden aan de plant en/of aan constructiedelen van de kas.
- Geschikt voor mobiel telen.
- Felle contrasterende kleur.
- Duidelijke nummering op buitenkant.
- Weinig/geen uit stekende delen.
- Goedkoop.
- Lichtgewicht, minder dan 0,1 kg.
- Bestaat voornamelijk uit kunststof.
- Langdurig bestand tegen hoge lichtintensiteit.
- Robuust, bestand tegen vallen van 4 meter.
- Sensor beschermen tegen kasklimaat.
- Sensor in contact brengen met het te meten medium.
- Toegang bieden naar batterij.
- Ontwikkelen naar professioneel gebruik, geen prototype.

Meetsysteem

- Voor een continue meting ca. 50 meetpunten per ha
- Voor een incidentele meting kleinere afstand tussen sensoren voor meting op bepaalde plek
- Koppeling naar klimaatcomputer
- Grafische weergave van metingen
- Aantal metingen per tijdseenheid in te stellen
- Alarm geven bij vreemde of fout lopende metingen.
- Alarm geven bij defecte energie voorziening van de node.
- Locatie van de node aangeven in pad en afstand van het hoofdpad.

6. Conclusies en aanbevelingen

Projectdoelstellingen

In dit rapport wordt verslag gedaan van deel 1 van het project 'Meting van ruimtelijke verdeling van temperatuur en RV met behulp van draadloze minisensoren'. Hierin wordt verslag gedaan van de in het projectplan (zie 1.4) genoemde fasen 1 t/m 4. Alle vier fasen (literatuurstudie, brainstorm met onderzoekers en met telers en rapportage) zijn uitgevoerd. Als extra zijn nog gesprekken gevoerd met specialisten van PPO-Glas. De op te leveren resultaten zijn behalve de voortgangsrapportage deze eindrapportage. In dit document staat in hoofdstuk 4 de SWOT analyse en in hoofdstuk 5 het programma van wensen.

Telers

Vanuit de telers kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Het meten van de temperatuurverdeling in de kas is nuttig en vergroot de controle van de teelt en het klimaat;
- Behalve temperatuur en RV zijn ook CO₂, PAR-licht en planttemperatuur nuttige parameters. De laatste worden hier niet verder uitgewerkt;
- On-line weergave via de klimaatcomputer is noodzakelijk;
- Sensoren moeten onderhoudsarm, eenvoudig in gebruik en verplaatsbaar zijn;
- Behalve meten zou je er, aanvullend, op moeten kunnen (gaan) sturen;
- Grote bereidheid om deel te nemen aan een proef (deel 2 van dit project). Nadruk wordt gelegd op een test bij twee geheel verschillende gewassen;
- Demonstratie voor een groter publiek pas doen als het meetsysteem binnen ca. een half jaar commercieel beschikbaar is;

Onderzoekers

Uit de discussie met onderzoekers zijn de volgende conclusies te trekken:

- Basisontwerp kas en verwarmingsinstallatie moet goed zijn om klimaatverschillen te minimaliseren;
- Bij elke nieuwbouw zou een controle meting moeten plaatsvinden;
- Nauwkeurigheid van temperatuursensor moet minder dan +/- 0.2°C en voor RV minder dan 3% afwijking zijn;
- Meetgrid van 1 sensor per 20-30m is bij continue meting voldoende, voor onderzoek is een grid van 10x10m tot 4x4m gewenst;
- Onderzoek is gewenst om sensoren op bewegende delen (tabletten, potten, goten) te plaatsen;
- Ventilatoren zijn een medicijn en nemen oorzaak niet weg. Met meetsysteem is oorzaak op te sporen;
- Weergave van meetresultaten op klimaatcomputer als gemiddelde van het afgelopen uur als voorschrijdende reeks met daarbij gemiddelden van minimum en maximum waarden in de vorm van een thermoplot geprojecteerd op de plattegrond van de kas.

Technische en economische haalbaarheid

Uit het literatuuronderzoek en de brainstorm met onderzoekers en telers zijn eisen en wensen opgesteld voor een draadloos meetsysteem. Het meetsysteem gaat bestaan uit een basisstation per bedrijf en ca. 50 sensoren per ha. Het basisstation koppelt de sensoren met een pc of de klimaatcomputer. Vooralsnog is er vanuit gegaan dat een sensorset bestaat uit een meting van temperatuur (meetbereik tussen de 0 en 50°C op 0,2°C nauwkeurig) en relatieve vochtigheid (meetbereik tussen de 80 en 100% op 1% nauwkeurig). Verder moeten de sensoren onderhoudsarm, goedkoop en robuust zijn. De behuizing moet makkelijk terug te vinden zijn in het gewas, makkelijk te plaatsen zijn aan de plant of een kasonderdeel en bestand tegen het kasklimaat. Daarnaast moeten sensoren en batterij gemakkelijk vervangen kunnen worden. Het totale meetsysteem moet uit ca. 50 sensoren per ha gaan bestaan waarbij de meetresultaten overzichtelijk grafisch worden weergegeven op de (klimaat)computer. Bij foutieve metingen of uitval moet een alarm worden gegeven.

Economisch blijkt het meetsysteem een lage kostprijs per ha (€2535,-) te hebben in relatie tot de te verwachte financiële voordelen (energiebesparing (10% besparing levert ca. €12.000,-/ha op), minder ziekten, op tijd kunnen leveren bij contractteelt).

Uit de SWOT-analyse blijkt dat het draadloze meetsysteem een nuttige tool kan zijn bij vele kwekers met klimaatproblemen en ingezet kan worden bij vele gewassen. Doordat er veel fabrikanten en leveranciers zijn is het belangrijk dat nauwkeurigheid en betrouwbaarheid aan minimale eisen blijven voldoen. Een voordeel is wel dat hierdoor de prijs laag blijft. Voor WUR ligt hier een taak om de randvoorwaarden voor een draadloos meetsysteem duidelijk te omschrijven in samenspraak met de gebruiker weet waaraan een goed product moet voldoen.

In het projectvoorstel is tussen deel 1 en deel 2 en go/no-go moment opgenomen. Uit het nu uitgevoerde deel 1 moest blijken dat een 3-D meetsysteem aan de volgende eisen kan gaan voldoen: technisch haalbaar, de sector heeft behoefte aan een meetsysteem, toepassing van het systeem bevordert energiebesparing en er is een markt voor. Uit dit rapport blijkt duidelijk dat aan genoemde eisen is voldaan.

7. Literatuurlijst

- Berg, G.A. van den, H.W. de Ruiter, 1998.
Normering van meetnauwkeurigheden van klimaatmetingen in praktijkkassen. PBG-rapport 146.
- Certificatieschema Groen Label Kas, 2005
(code GLK.7), Stichting Milieukeur, 58p.
- Esmeijer, M., R. Tuin.
Het kan vriezen, het kan dooien, horizontale temperatuurverdeling in kassen kan nog een stuk beter. Vakblad voor de Bloemisterij 3 (2001), pp. 42-43.
- Kempkes, F.L.K., N.J. van de Braak, C.M.J. Bloemhard.
Effecten van buisligging bij de teelt van chrysanten, onderzoek naar verticale temperatuur- en vochtverschillen, energiegebruik en groei. PBG rapport 238, 1999.
- Kempkes, F.L.K., N.J. van de Braak, J.C. Bakker, C.M.J. Bloemhard.
Effecten van buisligging bij de teelt van tomaat, onderzoek naar verticale temperatuur- en vochtverschillen, energiegebruik en groei. PBG rapport 98-134, 1998.
- Kintner-Meyer, M., M. Brambley, T. Carlon, N. Bauman., 2003.
Wireless Sensors: Technology and Cost-Savings for Commercial Buildings. Pacific Northwest National Laboratory, U.S. Department of Energy Office of Building Technology, 9p.
- KWIN, 2003.
Kwantitatieve informatie voor de glastuinbouw, 2003 – 2004..
- Leipsig, J. van.
De blazende hulp van de glasgroenteteler. Groenten & Fruit, nr 8, p. 46-47, 2006.
- Medema, D., 2005.
Draadloos meten goedkoper en sneller. Vakblad voor de Bloemisterij, nr 48, p. 50.
- Nijs, L., 1997.
Handleiding voor het opsporen en oplossen horizontale klimaatverschillen. PPO Glas (PBG), Naaldwijk, rapport 112, 32p.
- Schaik, W.H.J. van, M.L.H. Schevers.
Ruimtelijke Temperatuurmeter in kassen met ClimaView™, Innovations Handling, Eindhoven, 2003.
- Thelen, J., D. Goense, K. Langendoen. 2005.
Radio wave propagation in potato fields. 1st Workshop on Wireless Network Measurements, Riva del Garda, Italy.
- Visser, O., 2005.
Localisation in Large-Scale Outdoor Wireless Sensor Networks, Master's Thesis, TU Delft
- Visser, P., 2006.
Ventilator steeds belangrijker. Groenten & Fruit, nr 7, p. 26.
- Wubben, J., F. van Noort, M. Esmeijer, K. Weening, 2004.
Code of practice voor botrytis in gerbera. PPO Naaldwijk
(http://www.syscope.nl/upload/project_alinea_749.pdf).

Bijlage I.

Enquête telers

Enkele tuinders die hadden aangegeven niet op de brainstorm aanwezig te kunnen zijn is een vragenlijst gestuurd. Deze is hieronder weergegeven.

Enquête: draadloos meetsysteem voor het meten van horizontale klimaatverschillen

Horizontale en verticale klimaatverschillen kunnen leiden tot verschillen in productie, kwaliteit en het optreden van ziekten. Wij willen een prototype ontwikkelen van een goedkoop en eenvoudig te gebruiken meetsysteem. Het meetsysteem bestaat uit meerdere draadloze sensoren die onder andere temperatuur en vochtigheid kunnen meten.

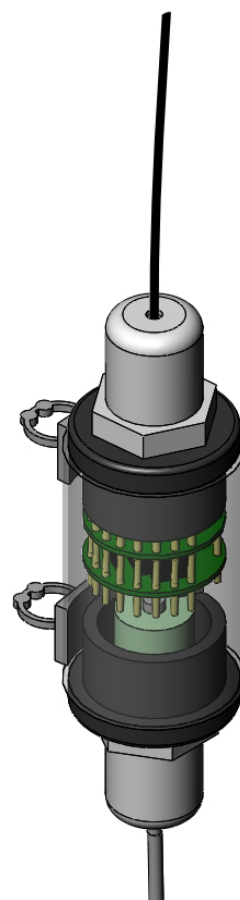
In onderstaande enquête willen we uw mening vragen om te komen tot een programma van wensen en eisen voor dit meetsysteem.

Huidige situatie:

- Welk gewas teelt u?
- Wat is de bedrijfsgrootte?
- Hoeveel verwarmingsnetten zijn er en hoe hoog zijn ze geplaatst?
- Heeft u nu problemen met klimaatverschillen?
- Waar in de kas treden deze verschillen op: middenpad, gevel, meengroep, ergens anders?
- Wat zijn gevolgen: ziekte, opbrengstverschillen, geen uniforme oogst, andere?
- Heeft u een idee van de grootte van de verschillen: 1, 2 of 5 graden?
- Wanneer in het jaar treden verschillen op: zomer, stookseizoen?
- Zijn er ook verticale verschillen?
- Hoe denkt u dat de verschillen ontstaan: ontwerp, verwarmingssysteem, helling kas, wind, anders?
- Wat doet u er nu aan om het op te lossen/verminderen: stoken naar koudste plek, ventilatoren, luchten, schermen. Anders?

Techniek

Hiernaast ziet u een voorbeeld van een sensor. Het is de bedoeling dat in een kas iedere 10 tot 30 meter zo'n sensor geplaatst of opgehangen wordt. De sensor is ongeveer zo groot als een tube tandpasta en kan onder andere temperatuur, RV en andere klimaatparameters meten. Deze sensoren geven de klimaatdata aan elkaar door via een radiosignaal, alle data worden uiteindelijk verzameld op de klimaatcomputer. Daarop wordt een overzichtelijk plaatje gepresenteerd.



Gebruikerseisen/ randvoorwaarden

- Welke parameters moeten gemeten worden: temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, dauwpunt, CO₂, planttemperatuur, straling of andere?
- Op welke plek moeten de sensoren komen te hangen: in kop van de plant, boven de tafel, tussen de potplanten, in het middenpad, lang de gevel, elders?

- Wil je een continu overzicht hebben op je eigen klimaatcomputer (b.v. elke ochtend een grafiek van de afgelopen uur/dag en ook de momentane situatie) of eens per jaar een incidentele meting uit laten voeren door een bedrijf?
- Wat mag een meetsysteem kosten: investering, onderhoud?
- Welke voordelen verwacht u van dit meetsysteem: energiebesparing, minder ziekten, uniformere oogst, gelijkmatiger arbeidsfilm, iets anders?
- Ziet u nog meer toepassingen voor dit meetsysteem?

Bedankt voor het invullen van de vragenlijst!