



Meten op een uniforme manier

Spreken we dezelfde taal

Jouke Campen en Frank Kempkes

Rapport WPR-1164

Referaat

"Welke metingen moeten standaard worden uitgevoerd bij elk experiment en op welke wijze zodat verschillende experimenten eenvoudiger met elkaar vergeleken kunnen worden?" Deze vraag stond centraal in dit project. Tijdens een experiment worden vele metingen uitgevoerd waarvan een groot deel proef specifiek zijn. Voor de vergelijking kunnen metingen worden gebruikt die automatisch worden geregistreerd en minimaal onderhoud vereisen. Op basis van deze metingen is een goed vergelijk te maken voor een aantal parameters, zoals de relatie tussen licht en producten en gasgebruik en het temperatuurverschil tussen binnen en buiten.

Abstract

"Which measurements should be done within every experiment and how, to compare experiments more easily?" This being the background of this project. During every experiment numerous measurements are done of which most experiment depended. Measurements which can be utilized to compare experiments should be recorded automatically without demanding substantial attention. Based on these measurements, experiments can be compared based on the relation between light and production, and gas usage and temperature difference for example.

Rapportgegevens

Rapport WPR-1164

Projectnummer: 3742295300

DOI: <https://doi.org/10.18174/574599>

Thema: Kasklimaat en energie

Dit project/onderzoek is mede tot stand gekomen in het kader van programma Kas als Energiebron, het innovatie- en actieprogramma van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Glastuinbouw Nederland en mede gefinancierd door Stichting Kennis in je Kas

Disclaimer

© 2022 Wageningen, Stichting Wageningen Research, Wageningen Plant Research, Business unit Glastuinbouw, Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk T 0317 48 56 06, www.wur.nl/plant-research.

Kamer van Koophandel nr.: 09098104

BTW nr.: NL 8113.83.696.B07

Stichting Wageningen Research. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, 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 Stichting Wageningen Research.

Stichting Wageningen Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Adresgegevens

Wageningen University & Research, BU Glastuinbouw

Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk

Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Introductie	7
2	Standaard metingen	9
2.1	Proefopzet	9
2.2	Buiten condities	10
2.3	Klimaat metingen	11
2.3.1	Temperatuur en luchtvochtigheid	11
2.3.2	CO ₂	11
2.3.3	Belichting	11
2.3.4	Bevochtiging	12
2.3.5	Lichtmetingen	12
2.3.6	Pygometer	12
2.4	Verbruiksgegevens	13
2.4.1	Verwarming	13
2.4.2	Koeling	13
2.4.3	Ontvochtiging	13
2.5	Gewasmetingen	13
2.6	Watermetingen	15
2.7	Wortelmilieu metingen	15
2.8	Nutriëntengebruik	16
2.9	Integrale gewasbescherming	16
3	Relevante data voor een vergelijking	19
4	Dataopslag	23
5	Conclusie	25
	Literatuur	27
	Bijlage 1 Workshop 7 December 2020	29

Samenvatting

Dit project heeft als doel te bepalen welke standaard metingen er moeten worden uitgevoerd in de diverse experimenten die worden gedaan in het kader van kas als energiebron om deze experimenten met elkaar te kunnen vergelijken. Door de inzet van de klimaatcomputer worden reeds een groot aantal parameters geregistreerd en opgeslagen. Daarnaast worden er standaard ook waarnemingen in de kas gedaan aan het gewas en het gebruik van middelen.

Met deze set van waarnemingen kunnen twee experiment specifieke parameters worden vastgesteld namelijk de relatie tussen de lichtsom en de productie en ook de relatie tussen de lichtsom en de wateropname van het gewas. Deze parameters zijn afhankelijk van het gewas, het ras, het kasklimaat, ziektes en het wortelmilieu. Een vergelijk met andere proeven laat zien wat de invloeden van deze parameters in op de beide relaties. Voor diverse proeven gedaan in het kader van kas als energiebron zijn deze relatie bepaald. En daaruit is bijvoorbeeld te concluderen dat het ras een invloed heeft op deze relaties. De bestaande metingen (lichtsom, productie en wateropname) zijn voldoende echter niet altijd wordt de lichtsom nabij het gewas gemeten. Deze meting zou standaard opgenomen moeten worden in de metingen. Als aanvulling hierop zou de droge stof productie bepaald moeten worden.

Op basis van het temperatuurverschil tussen de kaslucht en de buitentemperatuur met een invloed van de straling kan een directe relatie gevonden worden met het energieverbruik voor de verwarming. Deze analyse helpt om kasontwerpen met elkaar te vergelijken.

Naast deze parameters voor de vergelijking van proeven zijn er geen andere parameters vast te stellen om deze allemaal proef specifiek zijn. Uiteraard kunnen deze metingen welke worden vergeleken met andere proeven waarin deze metingen ook zijn uitgevoerd. Maar dit gebeurt in de meeste gevallen al.

1 Introductie

Vanuit het programma Kas Als Energiebron worden bij meerdere partijen een groot aantal onderzoeksprojecten uitgezet. Waarnemingen in deze projecten zijn altijd zuiver gericht op het behalen van het projectresultaat met een bijna één dimensionale benadering. Daardoor is er voor andere vragen (op een later tijdstip) vaak net te weinig informatie beschikbaar. Daarnaast is het de ambitie van KaE om de metingen vanuit onderzoeksprojecten te gebruiken als illustratiemateriaal in de cursussen en trainingen HNT die georganiseerd worden in het kader van KaE.

Door in overleg met betrokken onderzoekspartijen tot een "uniform meetprotocol" te komen, moet het mogelijk zijn meetresultaten van proeven breder inzetbaar te maken zodat uiteindelijk de zelfde taal gesproken kan worden. Het uniform meetprotocol is een opsomming van sensoren en een begin van beschrijving van gewas specifieke waarnemingen. Voor een algemene toepassing en interpretatie van de metingen moet hier een beschrijving van de wijze van meting, kalibratie van sensoren e.d aan worden toegevoegd. Vervolgens moeten de data op een uniforme wijze worden verwerkt en tenslotte moeten alle gegevens kunnen worden geïnterpreteerd, ook daar andere partijen.

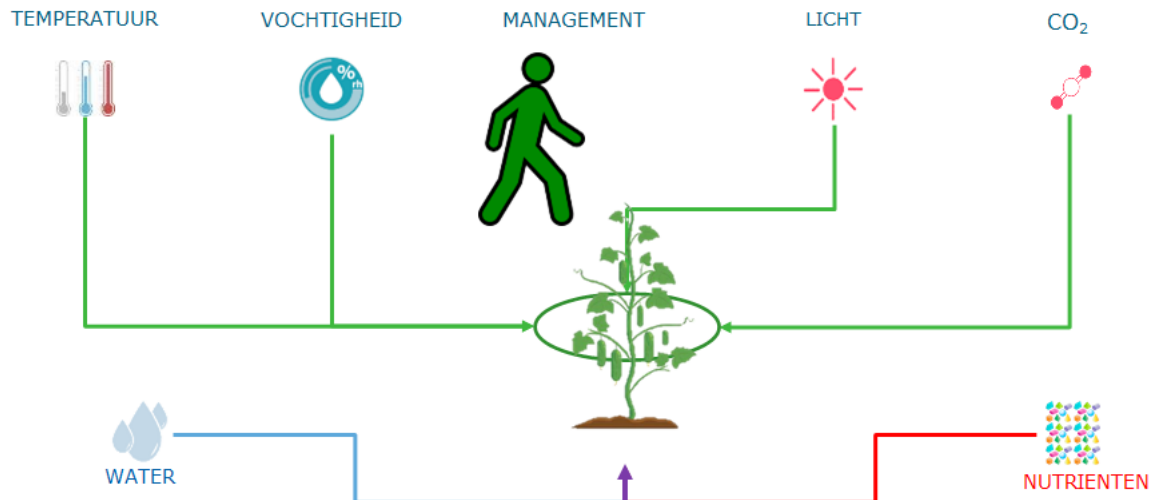
Ook in de praktijk zie je een zeer grote variatie in het gebruik van sensoren. Ten eerste wordt daar veel minder gemeten maar om de principes van HNT goed te kunnen hanteren, zou uniformeren zeker kunnen helpen. De één heeft bijvoorbeeld wel een pyrgometer, maar geen meetbox boven het scherm of een planttemperatuur meter. Anderen hebben wel iets maar weten niet goed wat ze ermee moeten of hoe de informatie te interpreteren. Een standaard meetprotocol, waar ook in het programmateam HNT al vaker over gesproken is, en voldoende kennis om de metingen te interpreteren wordt dan ook node gemist.

Metingen aan klimaat en gewas zijn tot nu toe vaak eenzijdig gericht, waarbij we juist meer de integrale benadering moeten opzoeken. Zijn er bijvoorbeeld systeemaspecten rondom de klimaatmaatregeling die we nu hebben maar ziekten/plagen juist in de kaart spelen? Wellicht moet het klimaat anders ingericht worden om ziekten/plagen te voorkomen of zelfs een kans te geven. Niet het meetprotocol zelf zal deze vraag oplossen maar door de vraag te analyseren kan in het meetprotocol mogelijk wel de juiste metingen worden beschreven. Uitwerking van de lijst metingen van de notitie naar een uniform meetprotocol tot een algemene handleiding voor en interpretatie van metingen zodat resultaten van experimenten en teelten beter kunnen worden toegepast bij de door ontwikkeling van het nieuwe telen.

De hoofdvragen zijn:

- Wat moeten de standaard metingen tijdens een experiment zijn welke relevant zijn voor een vergelijking op een later moment?
- Welke data moet worden bewaard, met welke frequentie en hoe lang?

2 Standaard metingen



Figuur 2.1 Parameters van belang voor de teelt.

Gewas productie hangt van vele factoren af zoals in bovenstaande figuur te zien is. In het onderzoek wordt de invloed van deze factoren bepaald. Het eenduidig kwantificeren van deze factoren is echter niet eenvoudig. Bijvoorbeeld wat is de luchttemperatuur tijdens een experiment. Die hangt sterk af van de locatie waar de geventileerde meting plaatsvindt. Dit zelfde geldt voor de andere factoren die het klimaat bepalen, vochtigheid, lichtniveau en CO₂. Voor licht speelt ook nog dat het spectrum van belang is. Het is niet mogelijk in een kasomgeving deze factoren volledig inzichtelijk te maken, daarvoor zou een oneindig hoeveelheid sensoren nodig zijn.

Om experimenten toch met elkaar te kunnen vergelijken, is het nodig een specifieke set data beschikbaar te hebben. Deze metingen zullen standaard uitgevoerd moeten worden tijdens een experiment voor het programma Kas als Energiebron.

In het kader van dit project is een Excel sheet ontwikkeld waarin de diverse metingen kunnen worden ingevoerd na afloop van een experiment. Middels deze sheet moet het eenvoudiger worden experimenten met elkaar te vergelijken.

2.1 Proefopzet

Het is van belang van elk experiment een goede beschrijving van de kas en de techniek welke wordt ingezet. In het eerste tabblad van de Excel sheet worden de parameters van de proef beschreven. Deze parameters zijn: Afmetingen kascompartiment: Breedte lengte, hoogte

Verwarmingssysteem: Diameter buizen, aantal buizen, Gevelverwarming ventilatiesysteem, bevochtigingssysteem, koeling en/of ontvochtiging, belichting (capaciteit, verdeling, spectrum), kasdek materiaal, transmissiemeting, Teeltsysteem, watergeef systeem (type, capaciteit), schermen (types, gebruik), CO₂ system (capaciteit, verdeling), grond afdek materiaal

Plaatsnaam	Eleiswijk
Kasnaam/afdeling	2save energy
Project	een sterk gewas met weinig
Noord	o
Oost	o
Gewas	Komkommer
Ras	Hi Power
Zaaien	dd/mm/yy
Planten	15-7-2016 dd/mm/yy
1e oogst	25-7-2016 dd/mm/yy
Kop verw.	dd/mm/yy
Ruimen	21-11-2016 dd/mm/yy
Plant dichtheid	2.25 plants/m ²
Oppervlak	450 m ²
Hoogte goot	5.5 m
Dek type	Speciaal
Transmissie	71 %
Datum transmissie me	30-6-2016 dd/mm/yy
Luchting	Raam
Kasoppervlak per raam	m ²
type belichting	Geen
capaciteit	W
PAR	umol/s
bron warmte	ketel
oppervlak	m ² /m ²
bron CO ₂	zuiver
capaciteit	150 kg/(ha.h)
Substraat	Rock wool
type irrigatie	Drip
capaciteit	2 l/m ²
type scherm	energie
%alu	0 %
%plastic	100 %
%open	0 %
type ontvochtiging	condens
capaciteit lucht	7.4 m ³ /(h.m ²)
capaciteit vernevelinc	0 l/(m ² h)
type koeling	nee
capaciteit	26 W/m ²

Figuur 2.2 Voorbeeld van de informatie van een kasexperiment in de 2saveenergy kas uit 2016.

Ook de gewasparameters zoals ras, plantdichtheid, stengeldichtheid, substraat, plantdatum, ruimdatum, zaaidatum moeten in deze lijst worden opgegeven.

2.2 Buiten condities

De buitenomstandigheden bepalen het klimaat en ook de hoeveelheid licht in de kas en zijn daarom van cruciaal belang om te meten. De klimaatcomputer welke het klimaat in de kas regelt heeft ook een weerstation waarmee de buitencondities worden gemeten. De frequentie data welke worden opgeslagen is meestal elke 5 minuten, dit is voldoende. De volgende gegevens worden opgeslagen:

- Temperatuur [°C].
- Vochtmeting [%].
- CO₂ [ppm].
- Globale straling [W.m⁻²].
- PAR [μmol.m⁻².s⁻¹].
- Windrichting [°].
- Windsnelheid [m.s⁻¹].
- Pyrgeometer (uitstraling), [W.m⁻²].

De sensoren moeten op een hoogte worden geïnstalleerd waarbij er geen verstoringen voor de metingen. Onderhoud van het weerstation is van belang. Kalibratie zou minimaal eens per jaar moeten plaatsvinden en het schoonmaken van de stralingssensoren op basis van het weer. Indien het vaak regent worden deze sensoren automatisch gereinigd, maar gedurende lange periodes van droogte en stof in de lucht zouden deze sensoren eens per maand moeten worden gereinigd. Op basis van de 5 minuut waardes kunnen dagelijkse waardes worden afgeleid welke ingevoerd worden in de Excel sheet. Deze parameters zijn hieronder weergegeven en worden later ook nog gebruikt in de analyse.

datum	Buiten		Tbuiten [oC]			Rvbuiten	Windsnelheid [m/s]	
	glob. Str.	PAR	gemid.	min.	max.	%	gemid.	max.
	J/cm ²	mol/(m ² d)						

Figuur 2.3 Relevante parameters welke op dag basis worden weergegeven.

2.3 Klimaat metingen

De klimaatmetingen worden meestal in de klimaatcomputer geregistreerd. Deze kunnen vervolgens via een database zoals let's grow worden uitgelezen of via de computer zelf. Meestal worden elke 5 minuten de waardes geregistreerd.

2.3.1 Temperatuur en luchtvochtigheid

De klimaatcomputers werken op basis van setpoints. Deze setpoints en de uiteindelijk gerealiseerde waardes worden door de klimaatcomputer registreert. De metingen worden gedaan door meetboxen. Voor een onderlinge vergelijking van proeven is het van belang deze meting op eenduidige manier te doen. Vuistregels hierbij zijn:

- De meetboxen worden centraal in de kas opgehangen. Indien een andere locatie wordt gebruikt moet dit worden gemeld. De boxen moeten mechanisch geventileerd worden.
- Hoogte van de meetboxen ten opzichte van de grond wordt bepaald door het gewas. Bij hoog opgaande gewassen wordt ter hoogte van de kop van het gewas gemeten. Bij andere gewassen nabij het gewas.

De metingen bestaan uit:

- Temperatuur [°C].
- Vochtmeting [%].

De meetboxen moeten middels een handmeter of een aparte meetbox worden gekalibreerd. Dit moet eens in de 6 maanden gebeuren. Het filter in de meetbox moet tijdens de kalibratie ook worden schoongemaakt.

2.3.2 CO₂

De meetbox voor de CO₂ wordt op dezelfde locatie als de temperatuur en RV sensor, in sommige gevallen is deze gecombineerd. Dit betekent dat de box centraal net boven het gewas wordt geplaatst. De meting is :

- CO₂ concentratie [ppm].

De meetboxen moeten middels een handmeter worden gekalibreerd. Dit moet eens in de 6 maanden gebeuren.

De bron van de CO₂ dosering moet worden vermeld en ook de doseercapaciteit. Op basis van de dosertijd en doseercapaciteit wordt bepaald hoeveel CO₂ er wordt gedoseerd.:

- Bron: zuiver, WKK, ketel
- Doseercapaciteit [kg/(ha h)]
- Tijd dosering [h]

2.3.3 Belichting

Van de lampen moet worden beschreven:

- Hoeveelheid lampen per m² kasoppervlak. Een lamp is 1 unit.
- Vermogen van 1 unit [W/unit].
- PAR van 1 unit [$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$].
- Spectrum van de unit [$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$] 400-500 nm, 500-600nm en 600-700 nm. Bij spectra buiten dit bereik ook de intensiteit en bandbreedte vermelden.
- Gebruik van de lampen [h].

Lichtmetingen zijn misschien wel de meest complexe metingen aangezien er meerdere factoren van belang zijn. Naast de locatie waar de meting wordt uitgevoerd wat erg afhangt van de constructie, het gewas, zoninvloeden, en de bron van het licht, is ook de bron van het licht een belangrijke factor. Er is in 2010 een lichtmeet protocol opgesteld om een objectief en onderling vergelijkbare beoordeling van de lichtbehandelingen te krijgen. Dit protocol is niet gemaakt voor natuurlijk licht.

Licht in de kas wordt gemeten als de hoeveelheid PAR (Photosynthetic Active Radiation), ook genoemd PPF (Photosynthesis Photon Flux Density). Dit is de stroom van fotonen (quanta) in het golflengtegebied van 400 tot 700 nm, uitgedrukt in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Een veel gebruikte eenheid voor (globale) straling is W m^{-2} , de hoeveelheid energie, b.v. in zonlicht, voor het licht en warmte energie dat van de zon afkomstig is. Voor het meten van licht in de kas wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van een kwantum sensor die PAR (tussen 400-700 nm) meet in $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Een PAR meter dient regelmatig schoongemaakt en gekalibreerd te worden (de leverancier adviseert 1x per jaar) en een bekende cosinuscorrectie heeft (dit is een meetcorrectie voor schuin invallende licht). Bij langdurige experimenten dient een PAR meting vóór en ná het experiment uitgevoerd te worden. Belangrijk is dat metingen die vergeleken moeten worden, steeds gemeten worden met hetzelfde type (geijkte) sensor en liefst met echt dezelfde sensor.

De meetprocedure is beschreven in de genoemde rapportage.

2.3.4 Bevochtiging

Van verneveling wordt geschreven:

- Aantal nozzels per m^2 .
- Hoeveelheid mist [l/uur per nozzle].
- Tijd dat de nozzle aanstaat [s].

De werking van de nozzles moet elk kwartaal worden gecheckt aangezien deze verstopt kunnen raken. Voor de vergelijking tussen projecten is het van belang te weten hoeveel vocht er is verneveld per dag. Het effect is terug te zien in de luchtvochtigheid.

2.3.5 Lichtmetingen

De transmissie van de kas wordt bepaald door met een lichtsensoren door de gehele kas te lopen. Gedurende deze meting wordt buiten een lichtsensoren geplaatst welke de hoeveelheid zonlicht buiten meet. Deze metingen worden bij voorkeur uitgevoerd wanneer de beschikbare hoeveelheid gelijkmatig is, dus op een helder dag of op een volledig bewolkte dag.

Een permanent lichtsensoren (PAR), bij voorkeur een lijn sensor met meerdere sensoren zodat er al gemiddeld wordt, in de kas bepaald de totale hoeveelheid straling welke in de kas valt. Deze wordt bij voorkeur tussen de kop van het gewas en de onderste tralie geplaatst. De meting moet elke jaar worden gekalibreerd. De sensor moet onder de schermen en lampen worden geplaatst.

2.3.6 Pygeometer

Deze meter meet in het gebied van 4500-100000 nm. Als de uitstraling op een gegeven moment te groot is, kan er besloten worden om de doeken te gaan sluiten om afkoeling van de kas én het gewas tegen te gaan. Met een uitstralingsmeter is het mogelijk om deze afkoeling écht voor te zijn, in vergelijking met een infraroodmeter gewastemperatuurmeter die reactief meet.

2.4 Verbruiksgegevens

Naast de metingen aan installaties welke reeds hier boven genoemd zijn (verneveling, belichting, CO₂ dosering) is het van belang de warmtestromen te monitoren. Voor de projecten in het kader van Kas als Energiebron zijn deze metingen uiteraard van groot belang.

2.4.1 Verwarming

Vooraf voor het programma Kas als Energiebron is het belangrijk te meten hoeveel energie er wordt ingezet voor de verwarming. Er wordt vaak verschillende verwarmingsnetten gebruikt in de kas. Voor het vergelijk met andere projecten is het niet van belang deze individueel te meten echter de totale warmte input moet wel gemeten worden en geregistreerd door de klimaatcomputer. In het algemeen wordt er met warm water verwarmd waarbij de warmteafgifte kan worden vastgesteld door de ingaande en uitgaande watertemperatuur te meten in combinatie met het debiet. Er zijn hiervoor energiemeters op de markt echter de debietmeter in deze systeem functioneert matig door vervuiling. Aangezien het debiet meestal constant is volstaat een eenmalig meting van het circuit waarbij uiteraard uit wordt gegaan van de ingaande en uitgaande temperatuur van het water in dit circuit.

2.4.2 Koeling

Indien actieve koeling wordt ingezet is het van belang ook deze energiestroom nauwkeurig te bepalen. Een metingen van de ingaande watertemperatuur van de koeling in combinatie met de flow is meestal voldoende om de koelcapaciteit vast te stellen. Naast deze metingen zou de hoeveelheid condens gemeten moeten worden. Deze metingen complimenteren elkaar zodat ze ook als check gebruikt kunnen worden.

2.4.3 Ontvochtiging

Er zijn in de loop der tijd verschillende ontvochtigingsmethodes toegepast in de glastuinbouw. Traditioneel wordt ventileren ingezet. Dit principe wordt nauwkeuriger uitgevoerd door buitenluchtaanzuiging. In dit geval kan de tijd welke de ventilator aanstaat in combinatie met zijn capaciteit een maat zijn voor de ventilatie. Ook dit wordt geregistreerd door de klimaatcomputer. Bij condensatie ontvochtiging kan de hoeveelheid onttrokken warmte op een zelfde wijze worden vastgesteld als bij de koeling. Ook hier geldt dat een meting van de condens hoeveelheid ook gemeten zou moeten worden. De eventuele naverwarming valt onder de verwarming van de kas.

2.5 Gewasmetingen

Gewasmetingen hangen uiteraard sterk af van het gewas. Stengeldikte, bladdikte en gewasgroei worden meestal bepaald tijdens de experimenten met vruchtgroenten. De gewasgroei en vorming van bladeren wordt voornamelijk gebruikt om te bepalen of er vruchtsnoei en of bladsnoei moet plaatsvinden. Dit om de plant in balans te houden.

Periodieke metingen bij tomaat

Wekelijks worden de bladlengte van het blad onder de bloeiende tros en de toename in plantlengte van 5 planten per behandeling bepaald, evenals het gewicht en aantal geogste trossen of losse vruchten. Droge stof metingen van de vruchten de plantonderdelen worden momenteel niet altijd gedaan. Toch zou dit in ieder geval 1 keer per proef wenselijk zijn.

Destructieve plantmetingen

In sommige experimenten worden ook destructieve metingen gedaan. Drie stengels per behandeling destructief gemeten waarbij stengellengte, aantal bladeren, aantal trossen en vruchten, en het vers- en drooggewicht van alle organen worden bepaald. Afhankelijk van de proef worden deze metingen een aantal maal gedaan. De bladoppervlakte wordt gemeten van alle bladeren per stengel met de LI3100C (LI-COR, Lincoln, Nebraska USA). Van de bladeren 6-8 en 16-18 (geteld vanaf de top, bladlengte minimaal 5 cm) wordt apart de lengte, breedte en droge stofgehalte bepaald. De jonge vruchten (diameter tussen 1-3 cm) zijn apart gewogen en gedroogd. De monsters worden gedroogd in een geventileerde droogstoof bij 80°C. Dit soort metingen hoeven geen standaard meting te worden.

Fotosynthese metingen

De fotosynthesesnelheid wordt bepaald aan 4 volgroeide, onbeschaduwde bladeren. De metingen zijn uitgevoerd met de LI-COR 6400XT en 6400-40 fluorescentie meetkop.

De bloktemperatuur wordt ingesteld op 22°C, de relatieve luchtvochtigheid van 70%, de CO₂ concentratie in de bladkamer was 700 ppm en de flow van 200 µmol/s. De fotosynthese wordt bepaald onder 10 lichtniveaus (2000, 1500, 1200, 900, 600, 300, 200, 100, 50 en 0 µmol/m²/s) met een 9:1 rood/blauw spectrum. Bij elke lichtstap wordt ook de chlorofylfluorescentie bepaald.

Het effect van de lichtintensiteit op de fotosynthesesnelheid kan beschreven worden met onderstaande functie (Farquhar *et al.* 1980):

$$A_{SS} = \left(\epsilon R + (A_{\max} + R_d) - \sqrt{\left((\epsilon R + A_{\max} + R_d)^2 - 4\Theta \epsilon R (A_{\max} + R_d) \right)} \right) / (2\Theta)$$

waarin:

- A_{SS} : Bruto CO₂ opnamesnelheid (µmol m⁻² s⁻¹).
- A_{\max} : asymptotische waarde van de netto CO₂ opnamesnelheid bij hoog lichtniveau (µmol m⁻² s⁻¹).
- R_d : respiratie (µmol m⁻² s⁻¹) (in deze formule heeft een negatieve waarde).
- ϵ : initiële lichtbenuttingsefficiëntie (µmol CO₂ m⁻² s⁻¹ / µmol PAR m⁻² s⁻¹).
- Θ : krommingsfactor.
- R : fotosynthetisch actieve straling (µmol m⁻² s⁻¹).

Chlorofyl metingen zijn specifiek voor een proef en er is geen noodzaak deze in elke proef uit te voeren.

Overige gewasmetingen

De totale gewasverdamping kan eenvoudig worden bepaald door de irrigatie hoeveelheid minus de drain te bepalen. Meetgoten kunnen worden voor een momentane wateropname/gewasverdamping meting worden ingezet maar ook dit is niet nodig voor elke proef.

Gewasstemperatuur. Een infrarood meting welke meet in het spectrum van 8000-12000 nm. Deze meting wordt vaak uitgevoerd en de data gelogd middels de computer maar de meting wordt nauwelijks gebruikt. Van belang is dat de camera goed gericht wordt op het gewas. Dit is ook vaak de reden waarom deze meting niet wordt ingezet omdat hij niet betrouwbaar is als er niet regelmatig een check wordt gedaan of hij nog goed hangt. Deze meting hoeft geen standaard meting te zijn.

Een sapstroom meting wordt voor specifieke proeven gedaan en behoeft veel aandacht. Als standaard meting heeft deze niet ingevoerd te worden.

De vrucht kwaliteit en houdbaarheid voor vruchtgewas wordt soms gemeten. Daarbij wordt refractie (°Brix), titreerbaar zuur (mmol H₃O⁺/100g fruit), percentage sap van vruchtwand en de stevigheid van de vruchtwand (Fbp, N) gemeten. Ook deze metingen hoeven niet standaard uitgevoerd te worden. Hetzelfde geldt voor de houdbaarheid van bloemen.

Conclusie

Een groot aantal gewasmetingen wordt reeds standaard in de experimenten uitgevoerd. Een droge stof meting van het product zou standaard moeten worden gedaan omdat dit kan worden gerelateerd aan de fotosynthese efficiency zoals in hoofdstuk 3 beschreven.

2.6 Watermetingen

De hoeveelheid irrigatie en drain wordt door de klimaatcomputer geregistreerd. Voor de vergelijking van deze getallen met andere experimenten zal een registratie op dagbasis voldoende zijn.

De gewasverdamping kan worden afgeleid uit de hoeveelheid irrigatie minus de drain. Door buffering van water in de mat werkt dit alleen op dagbasis. Voor een vergelijk tussen experimenten is dit echter voldoende en hoeft er niet in elke experiment een weegoot te worden gebruikt om de verdamping nauwkeuriger vast te stellen.

In het geval van koelers waarbij er waterdamp condenseert, zal de hoeveelheid condens moeten worden gemeten zoals eerder opgemerkt.

2.7 Wortelmilieu metingen



Figuur 2.4 Grosens meter.

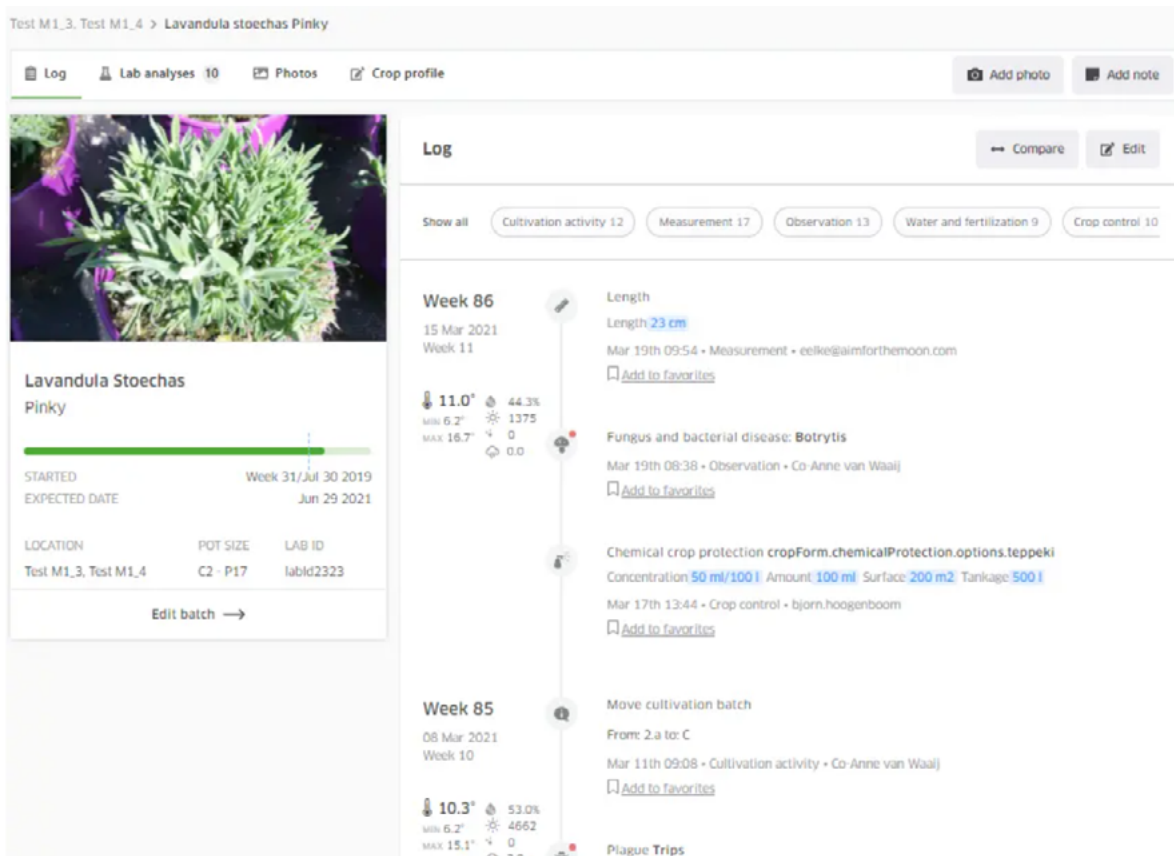
Het wortelmilieu vormt een belangrijke parameter voor de productie. Er zijn verschillende sensoren op de markt beschikbaar welke de EC, pH en temperatuur in het substraat kunnen meten. Deze metingen worden momenteel niet standaard ingezet. Voor alsnog lijkt hier ook geen behoefte aan.

2.8 Nutriëntengebruik

Het verbruik van de nutriënten wordt niet bijgehouden in onderzoek niet specifiek gericht op voeding. Wateranalyses worden wel regelmatig gedaan van het irrigatiewater en de drain. Op basis van deze analyses wordt de samenstelling van het irrigatiewater aangepast.

De EC en pH van het voedingswater en de drain worden ook gemeten en door de klimaatcomputer geregistreerd.

2.9 Integrale gewasbescherming



Figuur 1.5 Voorbeeld van het programma Log&Solve.

Voor de gewasbescherming worden nog weinig sensoren ingezet. Er wordt gewerkt aan apps waarmee het scouten wordt geautomatiseerd maar deze zijn nog niet volledig uit ontwikkeld. Voor de administratie wordt gewerkt met een Log&Solve van Klasmann-deilmann. Daarnaast wordt geëxperimenteerd met Natutec Scout app van Koppert.

De dosering van biologische bestrijders gebeurt nu voornamelijk op basis van een schema en de dosering zoals aangegeven op de verpakking. Door scouting wordt de balans tussen de insecten en de biologische bestrijders in de gaten gehouden. Wanneer deze balans uit evenwicht raakt dan worden extra biologische bestrijders ingezet of indien noodzakelijk wordt er chemisch ingegrepen. In het algemeen wordt er in het onderzoek veel meer biologische bestrijders ingezet als in de praktijk.

Tellingen worden gedaan door vangplaten en door individuele planten verspreid over de kas te monitoren. Er is geen standaard voor deze metingen in het onderzoek.

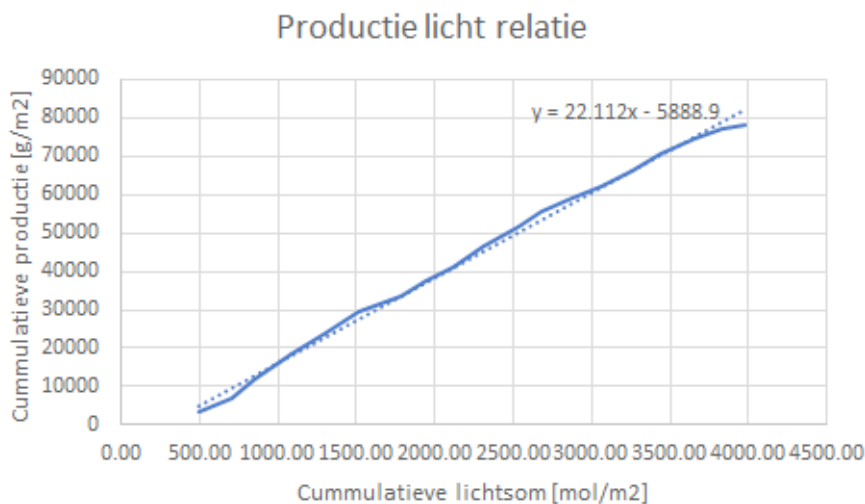
Tijdens het scouten wordt er vastgesteld welke insecten en bestrijders er zijn en of deze in aantal toe of afnemen. Het belangrijk dat dezelfde persoon dit doet voor de referentie. Welke middelen worden ingezet worden in het logboek genoteerd.

Belangrijk is om gedurende het experiment alle parameters te monitoren. Uitschieters omdat een regeling niet werkte of door bijvoorbeeld stroom uitval moeten worden gerapporteerd in het logboek en kunnen in veel gevallen ook uit de data worden gehaald.

3 Relevante data voor een vergelijking

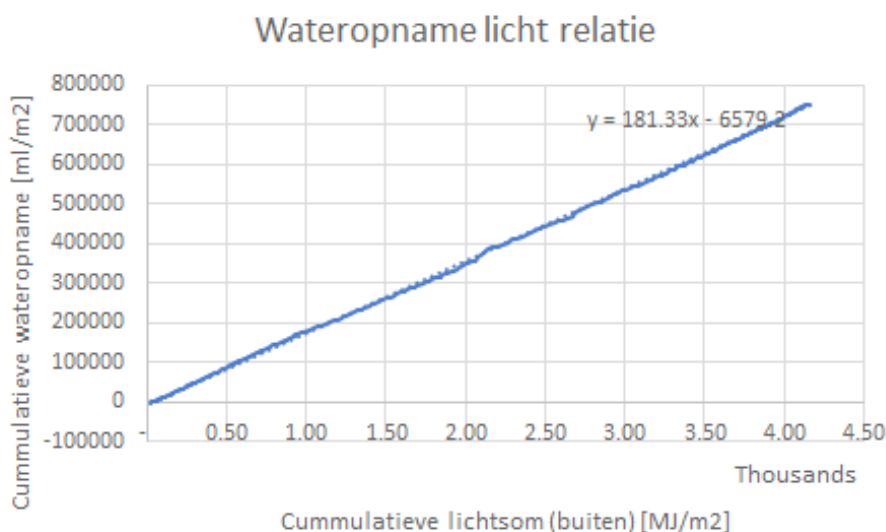
Er wordt reeds een hoop data (automatisch) geregistreerd tijdens de experimenten zoals in de vorige paragraaf te zien is. Met deze data kunnen vergelijkingen worden gemaakt tussen verschillende proeven.

Een analyse welke altijd uitgevoerd kan worden en welke meestal niet uitgevoerd wordt is de relatie tussen de lichtsom en de productie. Deze relatie moet lineaire zijn als er geen veranderingen in de teelt plaatsvinden. Deze relatie biedt ook de mogelijkheid om proeven direct met elkaar te vergelijken. Hierbij wordt gekeken hoeveel gram product er geproduceerd worden met 1 mol licht. Voor een aantal proeven welke in het verleden zijn gedaan is deze relatie bekeken.



Figuur 3.1 De relatie tussen licht (binnen) en productie in de winterlichtkas met Komkommer start april 2020.

In bovenstaande figuur is duidelijk de lineaire relatie tussen de productie en het hoeveelheid licht te zien. In dit geval wordt er dus 22 gr komkommer geproduceerd per mol licht. Deze helling wordt beïnvloed door het ras wat wordt gebruikt, de CO₂ concentratie in de kas en de beschikbaarheid van andere parameters zoals water of nutriënten.



Figuur 3.2 De relatie tussen licht (buiten) en wateropname in de winterlichtkas met Komkommer start december 2016, jaarrond teelt..

Een zelfde soort analyse kan worden gemaakt voor het watergebruik en de lichtsom. Deze relatie is in bovenstaande figuur weergegeven. Ook deze relatie geeft een kwantitatieve indicatie van de proef. Voor een aantal experimenten welke in de afgelopen jaren zijn uitgevoerd in het kader van het programma kas als energiebron zijn de relaties tussen licht en productie en tussen licht en water gebruik vastgesteld. In onderstaande tabel zijn deze weergegeven.

Tabel 3.1

Kas	Start	Gewas	Lichtbenutting (binnen) [g/mol]	Lichtbenutting (buiten) [g/mol]	Wateropname ivt licht (buiten) [ml/MJ]	Gemiddelde CO ₂ concentratie [ppm]
Bubbelfolie	08-2021	Courgette	8.8	4.4	128	634
Bubbelfolie	01-2019	Framboos	2.9	1.7	164	427
2saveenergy	12-2015	Komkommer (Hi Jack)	22.7 (71%)	16.1	189	555
2saveenergy	07-2016	Komkommer (Hi Power)	21.5 (71%)	15.2	181	616
Winterlicht	09-2016	Komkommer (Hi Power)	22.6 (72%)	16.3	249	626
Winterlicht	12-2016	Komkommer (Hi Power)	21.8 (72%)	15.7	182	646
Winterlicht	12-2017	Komkommer (Hi Power)	22.5 (72%)	16.2	177	659
Winterlicht	09-2019	Komkommer (Hi Power)	22.5	AL	AL	688
Winterlicht	04-2020	Komkommer (Hi Power)	22.1	14.0	173	512
Winterlicht	10-2020	Komkommer (Hi Power)	23.3	AL	AL	626
Winterlicht	04-2021	Komkommer (Character)	18.9	11.9	191	428
2Saveenergy	12-2017	Paprika (Maranello)	9.9 (71%)	7.0	163	618
Venlow	12-2011	Tomaat (komeett)	14.6 (65%)	9.5	NA	698
2saveenergy	01-2017	Tomaat (Capricia)	11.5 (71%)	8.2	252	601
Delphy	08-2018	Tomaat	13.8 (60%)	8.3	NA	
607-CO ₂	12-2019	Tomaat (Merlice)	17.5	9.5	295	573

AL: Belichting.

De lichtbenutting is weergegeven voor het licht beschikbaar in de kas en buiten. De straling buiten is altijd beschikbaar, gemeten straling binnen niet altijd. In dat geval is gekeken naar de transmissie van de kas. Het gebruik van het scherm moet hierbij natuurlijk worden meegenomen. De waarde op basis van het licht beschikbaar in de kas geeft een indicatie over de teelt. Dit getal kan verschillen omdat de CO₂ concentratie bijvoorbeeld niet gelijk was gedurende de proef. De waarde op basis van de beschikbare zonneinstraling kan worden gebruikt om kassystemen direct met elkaar te vergelijken.

De komkommer proeven laten zien dat de lichtbenutting nauwelijks verschilt voor het zelfde ras. Belichting gaat een iets hogere efficiency was mogelijk te maken heeft met het spectrum van de lampen.

In de tomatenproeven lijkt het ras een invloed te hebben op de efficiency.

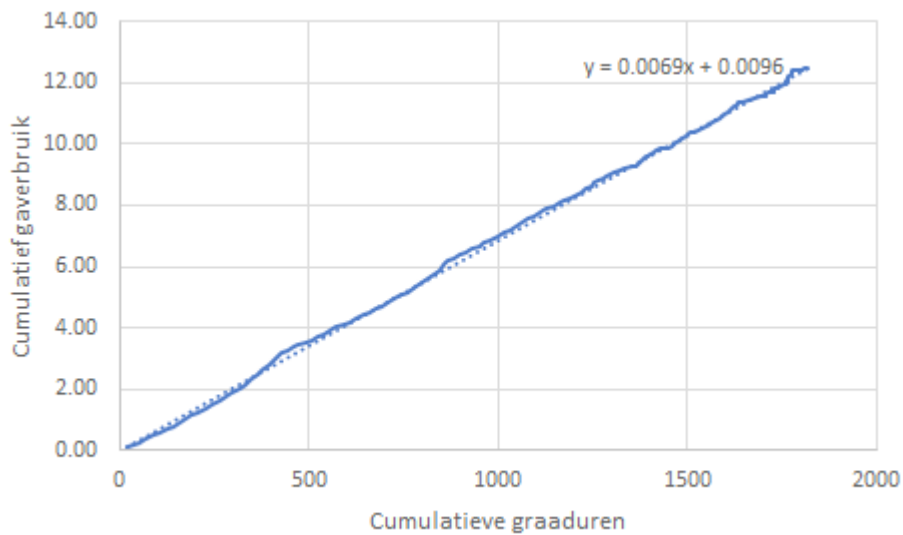
Voor sierteeltgewassen en potplanten zou deze vergelijking ook gemaakt kunnen worden.

Een vergelijking van het energieverbruik is in het kader van het programma kas als energiebron ook gewenst. Echter een vergelijking onderling is lastig omdat het buitenklimaat niet uniform is. Ook zijn de bronnen van de verwarming vaak niet uniform. Zo kan de verwarming komen van een warmtepomp welke elektriciteit gebruikt of van een ketel welke gas gebruikt.

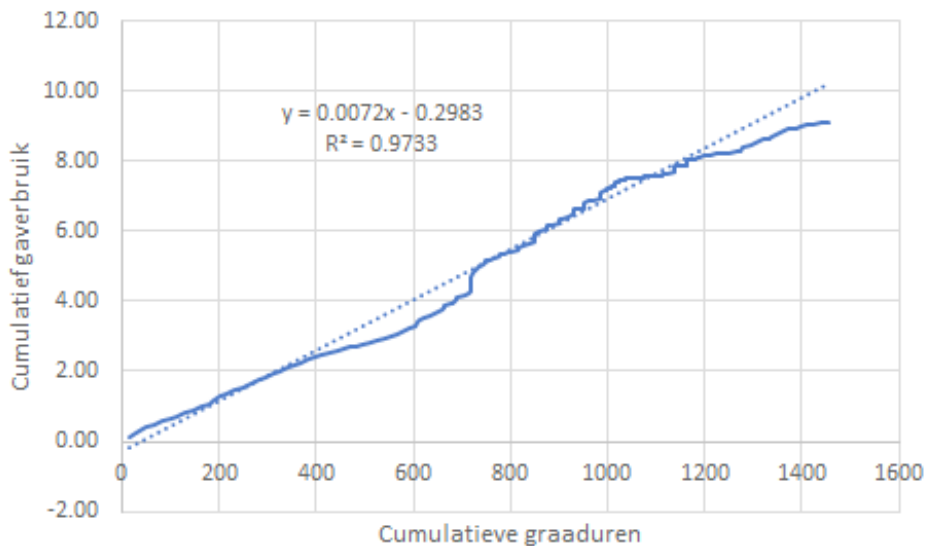
De graaduren worden berekend door:

Graaduren=Cumulatieve(max(0, kasluchttemperatuur – buitenlucht -1 – Straling /factor).

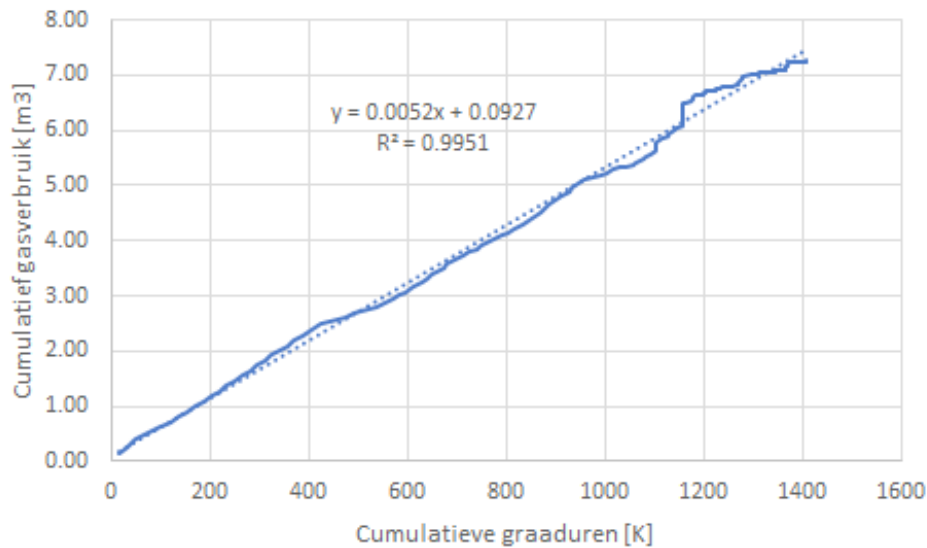
Dit uitgezet tegen het cumulatieve gasverbruik laat een redelijk verband zien.



Figuur 3.3 Cumulatief gasverbruik uitgezet tegen graaduren tijdens het experiment Winterlicht komkommer start dec 2016, hierbij is de factor op 100 gezet.



Figuur 3.4 Cumulatief gasverbruik uitgezet tegen graaduren tijdens het experiment Winterlicht komkommer start dec 2016, hierbij is de factor op 50 gezet.



Figuur 3.5 Cumulatief gasverbruik uitgezet tegen graaduren tijdens het experiment Venlow tomaat start dec 2011, hierbij is de factor op 70 gezet.

De venlow energy kas is duidelijk energiezuiniger als de winterlicht kas. Het is duidelijk dat ook deze vergelijking een beeld kan geven hoe energiezuinig het experiment is uitgevoerd waarbij het buitenklimaat wordt meegenomen.

Andere vergelijkingen zoals op het gebied van gewasbescherming zijn niet eenvoudig omdat deze ook afhangen van externe factoren zoals hygiëne en ziektedruk in de omgeving.

Deze relaties zijn vast te stellen op basis van gegevens welke automatisch in elke proef worden gelogd. Er is gekeken naar andere relaties die mogelijk gemaakt zouden kunnen worden met de bestaande data of additionele data maar andere relaties kunnen niet worden vastgesteld welke een vergelijking van de proeven onderling eenvoudig zouden maken.

4 Dataopslag

Naast de metingen is het ook belangrijk deze metingen te bewaren om een manier dat deze op een later moment eenvoudig kunnen worden opgehaald om te worden vergeleken met andere metingen. Ten behoeve van de uniformiteit is er een excel sheet gemaakt waarin de meest voorkomende metingen tijdens een experiment kunnen worden opgenomen en welke ook informatie geeft over het experiment en de inzet van apparatuur. Deze excel kan grotendeels automatisch worden gevuld door met data uit de klimaat computer. De informatie welke in de apps wordt verzameld kan ook in deze sheet worden opgenomen op het moment dat deze helemaal uit ontwikkeld.

Voor een aantal proeven welke in het verleden zijn uitgevoerd in het kader van het programma kas als energiebron is de Excel template ingevuld.

De klimaatdata wordt verzameld uit de klimaatcomputer. Dit kan als standaard worden beschouwd. De productie gegevens worden in het algemeen reeds op weekbasis genoteerd en ook zo in de sheet opgenomen. De irrigatie en drain volgen ook uit de klimaat computer. Momenteel wordt de EC en pH niet meegenomen in de analyse en dit zou eenvoudig kunnen omdat deze gegevens ook worden opgeslagen.

De samenstelling van de voedingsoplossing wordt niet opslagen. Deze voedingsoplossing betreft een standaard oplossing welke in de fertigatiecomputer is ingegeven. De noodzaak om deze gegeven te loggen wordt momenteel niet gezien, mits het geen afwijzing van de standaard oplossing betreft.

De parameters gerelateerd aan de klimaatcontrole worden reeds gelogd door de klimaatcomputer en kunnen daarmee ook eenvoudig worden meegenomen. Het betreft hier:

- Setpoints van temperatuur, vochtigheid, en CO₂.
- Gebruik van het scherm.
- Gedoseerde hoeveelheid CO₂.
- Gebruik ontvochtigingsnunit.
- Gebruik verneveling.
- Verwarming, energie hoeveelheid.
- Indien aanwezig koeling, energie hoeveelheid.

Extra metingen hier op te nemen ter controle zijn aanbevolen:

- Extra meetbox.
- Lichtsensor onder het scherm (indien niet aanwezig).
- Temperatuurmeting van de verwarming.
- Temperatuurmeting van de koeling.

Voor de gewasbescherming wordt bijgehouden welke middelen worden ingezet (chemisch en biologisch). Geen extra registraties zijn nodig op dit gebied in het kader van dit project. De apps welke momenteel ontwikkelt worden zullen de administratie verbeteren. Deze apps zullen ook worden ingezet voor de gewaswaarnemingen. Metingen aan het wortelmilieu worden niet systematisch gedaan. Sensoren welke de EC, pH, waterinhoud en temperatuur van het substraat meten zijn beschikbaar maar worden niet standaard ingezet. Voor de EC en pH wordt vooral gekeken naar de drain. In standaard telen waarbij het wortelmilieu niet specifiek veranderd is er geen noodzaak deze condities te monitoren. Voor het geval waarbij het klimaat rond de wortels anders is, is dit wel aan te bevelen.

De analyse welke in het vorige hoofdstuk is gedaan laat zien dat maar een beperkt deel van deze metingen echt gebruikt kan worden voor een vergelijk. Toch is het ook goed de andere metingen op deze standaard manier op te slaan zodat vergelijkbare experimenten (zelfde gewas, ras, onderzoeksveld) met elkaar kunnen worden vergeleken.

Vaak zal voor een vergelijking ook een meer gedetailleerde metingen nodig zijn. Niet op dagbasis maar op uur basis of zelfs op 5 minuten basis. Daarvoor is een database ontwikkeld waarin de meeste metingen en instellingen beschikbaar in de klimaatcomputer worden gelogd om een eenduidige manier. Elke waarneming is gelogd in een Matlab database met een tijdsaanduiding. Middels een script in Matlab kan eenvoudige een waarneming uit deze database gehaald worden. Deze database wordt automatisch gevuld met alle beschikbare data die via verschillende kanalen (let's grow; mailings; losse files) wordt aangeleverd. Middels deze database is het dus mogelijk proeven onderling te vergelijken.

5 Conclusie

Tijdens een onderzoek wordt er vaak naar een specifieke factor gekeken. De aandacht gaat ook voornamelijk op aan dit onderwerp. Metingen welke automatisch meelopen tijdens het onderzoek en welke worden vastgelegd in de klimaatcomputer zijn dan ook beschikbaar voor een vergelijking met andere onderzoeken. Echter aangezien de nadruk niet op deze metingen lag is de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de metingen minder groot. Een groot aantal metingen zoals die van het klimaat worden eenduidig uitgevoerd en zijn ook van belang voor de proefomgeving. Deze kunnen dus goed gebruikt worden. Voor de overige metingen is het goed een aantal extra sensoren te installeren zodat de metingen in tweevoud (verschillende manieren) worden uitgevoerd.

Toch zal het vergelijk van een proef met een proef in het verleden lastig blijven omdat er altijd wel zaken zijn welke verkeerd worden geregistreerd. Indien de klimaatcomputer de lampen bijvoorbeeld aanzet maar de schakelaar in de kas staat niet aan, dan wordt er geregistreerd dat het gewas wordt belicht terwijl dit in werkelijkheid niet zo is. En zo zijn er vele voorbeelden te noemen waarbij dit gebeurde. Uiteraard kan dit worden opgevangen door een logboek bij te houden waarin deze fouten worden genoteerd maar ook dat zal niet altijd gebeuren. Kortom exacte data zal er niet uit een proef komen en daarmee zal altijd rekening gehouden moeten worden indien met een vergelijking doet. Extra metingen in de kas zoals een lichtsensor in de kas waarmee er ook wordt geregistreerd of de lampen daadwerkelijk aanstaan zorgt voor een betere meetset.

Andere extra metingen standaard opnemen welke veel onderhoud behoeven is niet zinvol aangezien deze geen aandacht krijgen tijdens het experiment. Alleen extra metingen welke automatisch worden geregistreerd door de klimaatcomputer en die weinig onderhoud behoeven zouden moeten worden opgenomen. Deze metingen moeten wel relevant zijn voor een vergelijking met andere experimenten.

Ten slotte laat de analyse uit hoofdstuk 3 zien dat er met de bestaande data een goede vergelijking gemaakt kan worden tussen proeven voor de relatie tussen productie en licht en de relatie tussen wateropname en licht.

Literatuur

Tom Dueck & Sander Pot, 2010.

Lichtmeetprotocol, Lichtmetingen in onderzoekskassen met LED en SONT belichting, Wageningen UR Glastuinbouw, Plant Dynamics & Wageningen Universiteit TPK redactie: <http://edepot.wur.nl/178465#:~:text=3.1-,Metingen%20in%20een%20onderzoekskas,van%20de%20lichtverdeling%20op%20gewashoogte>.

<https://www.anthura.nl/growing-advise/meten-is-weten/>

Anja Dieleman, Kees Weerheim, Marjolein Kruidhof, Caterina Carpineti, Emilie Fradin, Faline Plantenga, Mark van Hoogdalem, Kirsten Leiss 2021.

Duurzame teeltsystemen met LEDs.

Kees Weerheim en Anja Dieleman, juli 2018.

Verrood licht in tomaat: een praktijkproef.

Bijlage 1 Workshop 7 December 2020

Aanwezig: Lisianne Arie de Gelder, Jan Voogt, Frank Kempkes, Robert Solleveld Esther Meinen

Er is een hoop discussie over welke metingen er gedaan zouden moeten worden. Veel metingen doen is prima, maar deze moeten ook allemaal worden bijgehouden en opgeslagen. Dat zal in de praktijk lastig zijn. Onderdelen die besproken worden zijn:

Spectrum van de lampen opnemen in de installatie omschrijving. Helemaal gezien de hele ontwikkeling in de LED.

Gewas ontwikkeling: Erg gewas specifiek. Extra stengel meenemen. Wijder zetten.

Welke standaard metingen: Verticale temperatuur gradient als standaard. Ook een temperatuur meting boven het scherm zou standaard moeten zijn. Toch is het de vraag of deze metingen echt nodig zijn voor een vergelijk met andere projecten. Alleen in het geval dat er speciale klimaat regelingen zijn zou dit interessant zijn.

Meer algemene informatie over de proef en de projectleider. Links naar rapportage

In MPS wordt op een commercieel bedrijf reeds de gewasbescherming genoteerd.

Robert geeft aan dat er ook een monitoringstool komt via Let's Grow.

Uniform meet protocol

Vergelijk van proeven eenvoudiger maken



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Doel van deze workshop

- Eenduidig meetprotocol
- Overeenstemming krijgen over:
 - Wat meten?
 - Hoe meten? Waar plaatsen we de sensoren, meet frequentie
 - Welke data zijn nodig voor een vergelijk?

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Wat meten we allemaal?

- Klimaat metingen
- Gewaswaarnemingen
- Waterstromen
- Wortelmilieu
- Nutrientengebruik
- Gewasbescherming



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Standaard Excel sheet met de metingen



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Hoe meten we?

- Document met meet instructies
 - Plaatsing sensoren
 - Meet nauwkeurigheid sensoren
 - Calibratie sensoren
 - Eenheden

Wordt zo'n document echt gebruikt?

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen University & Research,
BU Glastuinbouw
Postbus 20
2665 ZG Bleiswijk
Violierenweg 1
2665 MV Bleiswijk
T +31 (0)317 48 56 06
www.wur.nl/glastuinbouw

Rapport WPR-1164

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.