

Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente
Vestiging Naaldwijk
Kruisbroekweg 5, Postbus 8, 2670 AA Naaldwijk
Tel. 0174-636700, fax 0174-636835

ISSN 1385 - 3015

NORMERING VAN MEETNAUWKEURIGHEDEN VAN KLIMAATMETINGEN IN PRAKTIJKKASSEN

Protocol met normen voor meetsystemen en procedure voor controlemeting

Project 004 1313

H.W. de Ruiter
A.A. Rijdsijk

Naaldwijk, november 1997

Rapport 101
Prijs f 20,-

Rapport 101 wordt u toegestuurd na storting van f 20,- op gironummer 293110 ten name van Proefstation Naaldwijk onder vermelding van 'Rapport 101, Normering meetnauwkeurigheden van klimaatmetingen'.

ISN 9a7627

INHOUD

VOORWOORD	5
1. INLEIDING	6
2. PROTOCOL MET NORMEN VOOR MEETSYSTEMEN	7
2.1 Algemeen	7
2.2 Normen voor meetsystemen in de kas	7
2.2.1 Luchttemperatuur	7
2.2.2 Luchtvochtigheid	8
2.2.3 CO ₂	9
2.2.4 Buistemperatuur	10
3. PROCEDURE CONTROLEMETING IN DE PRAKTIJK	12
3.1 Luchttemperatuur	12
3.1.1 Met stabilisatieblokje	12
3.1.2 Zonder stabilisatieblokje ('bij-gebrek-aan-beter' methode). .	12
3.1.3 Correctie van afwijkingen	13
3.2 Luchtvochtigheid	13
3.2.1 Controle psychrometer met stabilisatieblokje	13
3.2.2 Controle psychrometer zonder stabilisatieblokje	13
3.2.3 Capacitieve luchtvochtigheidsvoeler	14
3.2.4 Correctie van afwijkingen	14
3.3 Buistemperatuur	14
3.3.1 De regelvoeler	14
3.3.2 De registratievoeler	15
3.4 CO ₂ -meting	15
3.4.1 Controle met een ijkgas	15
3.4.2 Controle met een gekalibreerde CO ₂ -meter.	15
3.5 Overwegingen bij de opstelling van de procedure 3.1 t/m 3.4 . . .	16
3.5.1 Aard van de controle	16
3.5.2 Meetonzekerheid	17
3.5.3 Procedures	18
3.5.4 Routinemeting op langere termijn	18
3.6 Gebruikte controle-apparatuur	19
4. RESULTAAT PRAKTIJKMETINGEN	20
4.1 Bevindingen en aanbevelingen n.a.v. praktijkmetingen	20
5. DISCUSSIE EN CONCLUSIE	23
6. AANBEVELINGEN	25
7. LITERATUUR	26

BIJLAGE 1.	Aantal meetpunten, meetbereik en haalbare/wenselijke nauwkeurigheid per grootheid.	27
BIJLAGE 2.	IMAG-DLO keurmerk meetbox.	28
BIJLAGE 3.	Achtergrondinformatie CO₂-meting	30
BIJLAGE 4.	Invulformulier meetrapport	31

VOORWOORD

Binnen het project 'Normering van meetnauwkeurigheden van klimaatmetingen in praktijkkassen' is een protocol met normen opgesteld voor de nauwkeurigheid waaraan klimaatmetingen op glastuinbouwbedrijven zouden dienen te voldoen, alsmede een procedure voor het verrichten van controlemetingen. Dit project is mede gefinancierd door de NOVEM.

Het project werd uitgevoerd door een werkgroep, bestaande uit medewerkers van het PBG (G.A. van den Berg en A.A. Rijdsijk), het IMAG-DLO (J.C. Bakker en G.J.W. Visscher), DICOTU (J.O. Voogt en M. Pabst) en de NTS (J. Enthoven).

De controlemetingen op praktijkbedrijven en verdere uitwerking werden uitgevoerd door H.W. de Ruiter (PBG).

Gebruikte afkortingen

-DICOTU	De branchevereniging van fabrikanten van Digitale Computers in de Tuinbouw
-DLV	Dienst Landbouw Voorlichting
-IMAG-DLO	Instituut voor Milieu- en Agritechniek - Dienst Landbouwkundig Onderzoek
-NTS	Nederlandse Vereniging van Tuinbouw Studieclubs
-NOVEM	Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu b.v.
-PBG	Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente
-TFDL	Technische & Fysische Dienst voor de Landbouw (inmiddels FD)

1. INLEIDING

In de glastuinbouw worden tijdens het teeltproces continu metingen ten behoeve van de regeling van het kasklimaat verricht. Onderzoek op praktijkbedrijven in de afgelopen jaren (Van Haasteren, 1985; Van Holsteijn, 1993; Van Holsteijn en Zuidgeest, 1988 en 1989; De Ruiter, 1993) heeft aangetoond dat er grote verschillen tussen de bedrijven kunnen bestaan in de meetnauwkeurigheid van de gebruikte sensoren ten behoeve van de buitenklimaatmetingen en de meting van de kasklimaatfactoren temperatuur, luchtvochtigheid en CO₂. Hierdoor kunnen grote afwijkingen ten opzichte van de ingestelde waarde optreden. Behalve de meetsensoren kunnen ook de bekabeling, transmitters en software aanleiding geven tot onnauwkeurigheden (Strauch, 1991; Nunnink, 1993).

Onnauwkeurigheden in het meetsysteem betekenen voor de teler dat optimalisatie van de kasklimaatregeling niet goed mogelijk is. Een afwijking in de meting betekent dat onnodig energiegebruik optreedt, of dat de energie-efficiëntie afneemt. Genoemde afwijkingen hebben ook grote gevolgen voor de interpretatie van de meetgegevens ten behoeve van bedrijfsvergelijking, waardoor verkeerde conclusies kunnen worden getrokken.

Het opstellen van eisen waaraan huidig gangbare meetsystemen voor de kasklimaatregeling, zowel uit technisch als teelttechnisch oogpunt zouden moeten voldoen, vroeg om een nadere studie. Op basis van geformuleerde eisen is een protocol met normen opgesteld voor de overall nauwkeurigheid van het totale meetsysteem, inclusief de positie van de sensor. Of de aanwezige meetapparatuur aan de gestelde normen voldoet moet behalve door fabrikanten en leveranciers ook door gebruikers of een neutraal controlerende instantie kunnen worden nagegaan. Daarom is ook een procedure voor controlemetingen opgesteld.

Dit onderzoek beperkt zich tot de belangrijkste metingen in de kas, namelijk luchttemperatuur, luchtvochtigheid, CO₂-concentratie en buistemperatuur.

2. PROTOCOL MET NORMEN VOOR MEETSYSTEMEN

2.1 ALGEMEEN

Door de werkgroep is een aanzet gemaakt voor het opstellen van eisen voor de nauwkeurigheid van meetsystemen in de kas. Dit omvat ook het aantal meetsensoren per kasafdeling en de positie van de sensoren. Deze opzet is daarna in breder verband ter discussie gesteld. Hierbij zijn de DICOTU en andere computerleveranciers, de DLV, het IMAG-DLO, de NTS en het PBG betrokken.

Dit project beperkt zich tot de metingen van de kasluchttemperatuur, luchtvochtigheid, CO₂-concentratie en buistemperatuur. Bij het opstellen van de eisen is gekeken naar de relevantie van de meetnauwkeurigheid uit het oogpunt van klimaatbeheersing en bedrijfsvergelijking. Verder is rekening gehouden met de praktische haalbaarheid. De apparatuur moest met een redelijke inspanning aan de gestelde normen kunnen voldoen, zodat binnen dit project ook controlemetingen uitgevoerd konden worden. Indien voor een meting een hogere nauwkeurigheid is vereist dan praktisch haalbaar is, dan is dit vermeld.

Onderhoud

Dit project richt zich alleen op de nauwkeurigheid van het meetsysteem en geeft geen richtlijnen ten aanzien van de meetapparatuur. Welke sensor wordt gebruikt en hoe deze met de computer is verbonden staat vrij. Als het totale systeem maar aan de gestelde norm voldoet. Richtlijnen voor onderhoud kunnen per sensor verschillen. De richtlijnen die de leverancier van de sensor opgeeft dienen hierbij aangehouden te worden.

Voor de verbinding tussen sensor en computer (transmitter, bekabeling e.d.) geldt hetzelfde als voor de sensor. Ook hier zijn er verschillen tussen systemen die ieder hun eigen onderhoudsvoorschriften vragen. Het is de verantwoordelijkheid van de leverancier de voorschriften ten aanzien van aanleg en onderhoud zo op te stellen dat het gehele meetsysteem onder alle omstandigheden aan de gestelde eisen blijft voldoen.

2.2 NORMEN VOOR MEETSYSTEMEN IN DE KAS

2.2.1 Luchttemperatuur

Meetnauwkeurigheid

De vereiste meetnauwkeurigheid is gesteld op + of - 0,2 °C, binnen het regelgebied van 5-25 °C. Het totale meetbereik van de meetapparatuur is gesteld op minimaal 0 tot 40 °C.

Motivatie: Een nauwkeurige meting is van belang voor bedrijfsvergelijking en voor het regelen van het klimaat op het bedrijf. Een temperatuurverschil van 1 °C betekent ongeveer 10% verschil in energieverbruik. Dit is zowel uit oogpunt van energiebesparing als economie van belang. Verder is een nauwkeurige temperatuurmeting vooral van belang voor een planmatige productie. Bovengenoemde nauwkeurigheid lijkt praktisch gezien het meest reëel uit oogpunt van geringe horizontale temperatuurverschillen in de kas. Bij een goede horizontale temperatuurverdeling zijn de verschillen in de kas niet groter dan 1 °C.

Meethoogte

De algemene praktijk is, dat de voelers voor luchttemperatuur en relatieve vochtigheid zijn ondergebracht in een geventileerde meetbox.

De meetbox moet zo opgehangen worden dat lucht aangezogen wordt uit het bovenste 1/3 deel van het gewas. Bij lage gewassen als sla en radijs wordt op een hoogte van 1 à 1,5 m gemeten.

Motivatie: De meeste fotosynthese en verdamping vindt plaats in het bovenste deel van de plant (Rijsdijk, 1995; De Graaf, 1991). Verder is de kop van het gewas het belangrijkste voor de gewasontwikkeling.

Voor een onafhankelijke regeling van verwarming en ventilatie wordt aangeraden op twee hoogten te meten. Voor de verwarming is met name de temperatuur onder in de kas van belang, voor ventilatie die boven in het gewas. Verder is een meting op twee hoogten gewenst bij hoog opgaande gewassen waar op verschillende hoogten andere temperatuuroptima gelden: een meting onder in het gewas (bijvoorbeeld afrijping vruchten bij tomaat en voorkomen condensatie) en bij de top van het gewas (temperatuur bepaald door in- en uitstraling).

Op dit moment blijft de meting nog beperkt tot één hoogte. Zodra uit onderzoek meer bekend is over het effect van een verticale temperatuurgradiënt kan dit alsnog in het protocol opgenomen worden.

Aantal meetpunten

Eén meetpunt per verwarmingsgroep is voldoende.

Motivatie: Meer dan één meetpunt heeft geen zin, want ingrijpen kan alleen per regelgroep. Om doelmatig te kunnen regelen is het noodzakelijk eventuele horizontale klimaatverschillen op te lossen.

De grootte van een verwarmingsgroep is een veelvoud van een scherm- of ventilatiegroep. De scherm- en ventilatiegroep mag niet groter zijn dan ongeveer 2500 m². Technisch gezien is deze 'grens' nodig om te voorkomen dat door torsie verschillen in scherm- of raamopening ontstaan. Uit oogpunt van de teelt is dit niet nodig. Het scherm, de ramen en de verwarming worden dus geregeld over de oppervlakte van de verwarmingsgroep. Een verwarmingsgroep mag niet groter zijn dan ongeveer 5000 m² om te voorkomen dat er ongelijkheid ontstaat in de warmteverdeling. Groter zou theoretisch wel mogelijk zijn, mits de aanleg perfect is. Dit laatste blijkt echter meestal niet het geval te zijn.

Onderhoud

Volgens specificaties van de fabrikant (zie 2.1).

2.2.2 Luchtvochtigheid

Meetnauwkeurigheid

De vereiste meetnauwkeurigheid is gesteld op + of - 3% RV, binnen het regelgebied van 70-90% RV. Het totale meetbereik is minimaal 40 tot 100 % RV.

Motivatie: Gelet op de stookkosten bij het droogstoken van het gewas op basis van RV moet de meting zo nauwkeurig mogelijk zijn, maar vanwege de nauwkeurigheid van de droge- en nattebol temperatuurmeting (en in de praktijk beschikbare capacitatieve meting) is +/- 3% RV het maximaal haalbare.

Meethoogte

Meting op dezelfde plaats als de kasluchttemperatuur.

Motivatie: De absolute luchtvochtigheid zal onder en boven in het gewas niet veel verschillen. Eén meetpunt is voldoende. De RV onder in het gewas is het belangrijkste i.v.m. natslaan. De luchtvochtigheid onder in het gewas kan uitgerekend worden als daar een tweede kasluchttemperatuur wordt gemeten.

Aantal meetpunten

Eén per verwarmingsgroep (zie kasluchttemperatuur).

Opmerking:

Naast de RV wordt gebruik gemaakt van de term vochtdeficit ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) om de luchtvochtigheid in uit te drukken. De nauwkeurigheid en het meetbereik zijn niet zonder meer over te zetten van RV naar vochtdeficit, omdat hierbij ook de temperatuur een rol speelt. Bij de controlemeting wordt naar RV gekeken, daar de klimaatcomputers in de praktijk hier ook vanuit gaan.

Onderhoud

Volgens specificaties van de fabrikant (zie 2.1).

2.2.3 CO₂

Meetnauwkeurigheid

De vereiste meetnauwkeurigheid is gesteld op + of - 30 ppm, binnen het regelgebied van 300-1000 ppm. Het totale meetbereik is minimaal 0 tot 3000 ppm. De gewenste nauwkeurigheid is 10 ppm, binnen het regelgebied van 300-1000 ppm. Deze nauwkeurigheid is met de huidige meters niet haalbaar.

Motivatie: In de zomer is een nauwkeurige meting van het grootste belang. Bij een concentratie rond de buitenwaarde (350 ppm) en volle zon ($700 \text{ W}/\text{m}^2$) betekent een concentratieverschil van 20 ppm een verschil in fotosynthese van ongeveer 4%. De huidige meetapparatuur voldoet niet aan die eis. De nauwkeurigheid hiervan is maximaal 30 tot 50 ppm. Deze onnauwkeurigheid kan geld kosten doordat de CO₂-unit niet aanslaat als dit nodig is.

De CO₂-meter heeft een nauwkeurigheid uitgedrukt in een percentage van de volle schaal. Het is dan ook belangrijk om de meter aan te passen aan de teelt. In de sla-teelt wordt bijvoorbeeld met heteluchtverwarming gewerkt, wat inhoudt dat de CO₂-concentratie nogal kan oplopen. Bij gebruik van een instrument met een meetbereik van 10.000 ppm betekent 1% van de volle schaal 100 ppm, een in het zomerseizoen (te) onnauwkeurige meting. Voor elke teelt moet dan ook naar het juiste bereik worden gestreefd.

Voor het behalen van de hierboven gestelde nauwkeurigheid is een meter nodig met een herhalingsnauwkeurigheid van 3% in een meetbereik van 1000 ppm.

Het is noodzakelijk dat de horizontale drukverdeling in de doseerdarmen in orde is. De druk mag niet meer dan + of - 10% afwijken.

Opmerking: De nauwkeurigheid van de CO₂-meters die momenteel in gebruik zijn, is te klein om in de zomer op te regelen of om te gebruiken voor registratie. Oorzaken van de onnauwkeurigheid bij de huidige meters zijn o.a. luchtdrukverschillen en luchttemperatuur. Ze kunnen alleen gebruikt worden om de CO₂-dosering te stoppen als de concentratie te hoog wordt. Als de meter op deze manier wordt toegepast (dat betekent dat in de zomer niet naar de meter wordt gekeken, maar op basis van de straling de dosering wordt gestart en gestopt) is er

geen directe noodzaak de meter te vervangen. Er zijn wel nauwkeuriger instrumenten te koop, maar die zijn momenteel ongeveer vijf maal zo duur dan de in de tuinbouw gebruikte meters. In bijlage 3 staat meer specifieke informatie omtrent de onnauwkeurigheid van CO₂-meters.

Meethoogte

Het aanzuigpunt voor de meting moet hangen op een derde van de gewashoogte onder de kop. Bij lage gewassen als sla en radijs wordt op een hoogte van 1 à 1,5 m gemeten.

Motivatie: De concentratie in de bovenste helft van het gewas is van het grootste belang voor de fotosynthese. De meting moet minimaal een meter vanaf de doseerdarmen om invloed van de dosering te voorkomen (als dit in tegenspraak is met het bovenstaande kan de meting ook bij de kop van het gewas plaatsvinden).

Aantal meetpunten

Eén meetpunt per kasafdeling is voldoende.

Motivatie: Meer dan één meetpunt heeft geen zin, want ingrijpen kan alleen per afdeling. De drukverdeling van het doseersysteem moet zo gelijk mogelijk zijn om verschillen in horizontale richting te voorkomen (De Ruiter, 1993). Het meetpunt dient tussen het gewas in de omgeving van het midden van de afdeling te hangen. Bij eventuele afwijkingen in de drukverdeling geeft dit het beste de gemiddelde concentratie.

De aanzuigtijd mag niet te lang zijn (bij dosering van 100 m³/ha/u (= 180 kg CO₂) en weinig fotosynthese neemt de concentratie bij gesloten ramen met ongeveer 35 ppm/min toe). Voor een goede regeling mag de aanzuigtijd niet langer dan 3 minuten zijn.

Het economisch rendement van CO₂ hangt af van de gewasopname (afhankelijk van CO₂-concentratie in de kas) en het ventilatieverlies (o.a. afhankelijk van CO₂-concentratie buiten).

Onderhoud

Volgens specificaties van de fabrikant (zie 2.1). Er dient minimaal eenmaal per drie maanden een nulpunts- en een volle-schaal ijking uitgevoerd te worden; de volle-schaal ijking met een concentratie in het belangrijkste regelgebied.

Voor meer informatie kan het 'Handboek Verwarming Glastuinbouw' van het Nutsbedrijf Westland N.V. geraadpleegd worden.

2.2.4 Buistemperatuur

Meetnauwkeurigheid regelvoeler

De meting van de buistemperatuur (bedoeld voor regeling) moet een nauwkeurigheid hebben van +/- 2 °C, binnen een regelgebied van 30-90 °C. Het totale meetbereik is voor open systemen 0-100 °C, voor gesloten systemen is dit 0-120 °C.

Motivatie: De buistemperatuurmetering voor de regeling is gemonteerd in de buurt van de mengklep, na de pomp. Deze voeler is bedoeld om op te regelen en is niet geschikt om de gemiddelde buistemperatuur in de kas te bepalen. Het verschil in aanvoer- en retourtemperatuur is echter belangrijker dan een zeer nauwkeurige meting. De temperatuurverdeling moet over het gehele net zo uniform mogelijk zijn. De tweede reden dat de meting van de regelvoeler minder nauwkeurig hoeft te zijn, is dat er voor de eindregeling naar de ruimtetemperatuur wordt gekeken en niet naar de buistemperatuur.

Meetnauwkeurigheid registratievoeler

De meting van de buistemperatuur (bedoeld voor registratie) moet een nauwkeurigheid hebben van $\pm 0,5$ °C, binnen het regelgebied van 30-70 °C. Het totale meetbereik is voor open systemen 0-100 °C, voor gesloten systemen is dit 0-120 °C.

Motivatie: De buistemperatuurmeting voor de registratie moet in de kas zelf gebeuren (Van Holsteijn, 1995). Een juiste meting is van groot belang (ondermeer voor bedrijfsvergelijking). Een verschil in buistemperatuur van 2,5 °C heeft ongeveer hetzelfde effect als een verschil in kasluchttemperatuur van 1 °C. Dat is circa 10% verschil in energiegebruik. Aan de hand van een meting van de werkelijke buistemperatuur kan ook de momentane warmte-afgifte worden berekend.

Meetplaats regelvoeler

De temperatuurmeting ten behoeve van de regeling moet in het circuit, na de pomp gemeten worden.

Motivatie: Na de pomp heeft een goede menging plaatsgevonden. De voorkeur gaat uit naar montage in een verticale buis in verband met laminaire stromingen.

Meetplaats registratievoeler

De meting van de gemiddelde buistemperatuur moet in het midden (tussen aanvoer en retour, bij een bocht) van een representatieve spiraal in een verwarmingsgroep plaatsvinden.

Motivatie: Middeling van aanvoer- en retourtemperatuur is niet bruikbaar om de gemiddelde buistemperatuur te berekenen. Deze metingen worden makkelijk verstoord door stromingen. Een representatieve spiraal wordt gevonden door de verwarming op een vaste buistemperatuur te zetten en in het midden van een aantal spiralen (± 10) de buistemperatuur te meten. Bij een buis die het gemiddelde goed weergeeft wordt de voeler aangebracht. Hierbij wordt rekening gehouden met eventuele laminaire stromingen (vlak na de bocht meten). Overigens zijn in de praktijk nagenoeg nog geen registratievoelers gemonteerd.

Aantal meetpunten

Zowel voor regel- als registratievoeler één meting per verwarmingsnet.

Onderhoud

Volgens specificaties van de fabrikant (zie 2.1).

3. PROCEDURE CONTROLEMETING IN DE PRAKTIJK

3.1 LUCHTTEMPERATUUR

Bij de meting van luchttemperatuur zijn twee situaties denkbaar, die tot verschillende controlemethodes leiden. Gemeten kan worden met of zonder een stabilisatieblokje. Meting mét stabilisatieblokje verdient verreweg de voorkeur omdat het stabilisatieblokje n.l. een constante temperatuur heeft.

Het stabilisatieblokje is een koper- of aluminiumblokje van 5x5x8 cm. De maten zijn niet strikt voorgeschreven; ze zijn eerder bedoeld om een indruk van de te gebruiken maat te geven. Aanpassing van de dimensies aan de beschikbare ruimte in een meetbox is zeker denkbaar. De voelers dienen nauw in de boorgaten te passen en zondig door gebruik van een warmte geleidende pasta contact te maken met het blok. Hoewel niet noodzakelijk, is het in verband met mogelijke temperatuurverschillen aan te raden het blok te isoleren om direct contact met de hand zoveel mogelijk te vermijden.

3.1.1 Met stabilisatieblokje

Is de voeler met voldoende kabellengte los te nemen, dan is een eenvoudige controle mogelijk. De temperatuurvoeler wordt daartoe tegelijk met een tot op 0,05 °C gekalibreerde controlevoeler in twee op circa 2 cm naast elkaar gelegen boorgaten in het stabilisatieblokje gestoken. Wanneer de aanwijzingen van de voelers over een periode van twee minuten stabiel zijn kan de temperatuur worden afgelezen. Onder praktische omstandigheden kan het gebeuren dat er een groot verschil is tussen de temperatuur van het stabilisatieblokje en de ruimte-temperatuur. Om op 0,1 °C te ijken mag de temperatuur van het blokje niet meer verlopen dan 0,1 °C per 5 minuten. Er moet namelijk voldoende tijd zijn om de meting op de klimaatcomputer te controleren. Dat betekent dat het blokje onder ongunstige omstandigheden eerst moet acclimatiseren in de kas. Dit duurt echter uit praktisch oogpunt te lang. Mogelijke oplossingen hiervoor zijn o.a. : 1) met de hand het blokje op ruimtetemperatuur wrijven, 2) met een elektronisch verwarmingselement het blokje op ruimtetemperatuur brengen c.q. houden, 3) het blokje in een isoleerbox vervoeren, die met een verwarmingselement op temperatuur gehouden wordt. Ook bij niet te demonteren voeler(s) is het aan te raden zich af te vragen of gebruik van een stabilisatieblok mogelijk is, door het op een of andere wijze op de voeler(s) te schuiven.

3.1.2 Zonder stabilisatieblokje ('bij-gebrek-aan-beter' methode)

Let op: dit is een methode die alleen toegepast dient te worden als de methode met het stabilisatieblokje niet mogelijk is. Bij een niet-demontabele voeler die het gebruik van een stabilisatieblok niet toelaat ligt de zaak namelijk een stuk moeilijker. Bij gunstige klimaatomstandigheden (stabiel klimaat) en met veel geduld leidt de volgende procedure mogelijk tot een bevredigend resultaat. Aangezien het resultaat beïnvloed kan zijn door allerlei (toevallige) omgevingsinvloeden, zoals plaats van opnemers en waarnemer en fluctuaties, is deze methode eigenlijk alleen toegestaan bij-gebrek-aan-beter.

Zet de controlevoeler zo dicht mogelijk naast de te controleren voeler, waarbij 'zo dicht mogelijk' een kwestie is die van de omstandigheden zal afhangen. Zorg er echter voor dat de voelers niet met elkaar in contact komen en/of de behuizing van de meetbox raken. Dit kan namelijk de meting beïnvloeden. Wacht totdat de controlevoeler in evenwicht is met de omgeving. Meet hierna eenmaal per minuut gedurende 10 minuten. Verschilt het gemiddelde van de eerste vijf metingen meer dan 0,2 °C van het gemiddelde van de tweede vijf metingen, herhaal dan de meetserie. Bereken het gemiddelde van de door beide temperatuurvoelers gemeten temperaturen.

3.1.3 Correctie van afwijkingen

Is het verschil tussen meet- en controlevoeler groter dan 0,2 °C, dan dient de oorzaak hiervan aan het licht gebracht te worden. Mogelijke oorzaken zijn o.a.:

- De temperatuurvoeler valt buiten zijn specificaties.
- Effect van opwarming van de voeler door de meetstroom.
- Invloed van o.a. variërende stoorvelden en omgevingsomstandigheden op kabelweerstand en meeteenheid.
- Verandering in de software van de PC (meetperiode, offset, kanaalnummer e.d.).
- Zie ook hoofdstuk 6, Aanbevelingen.

3.2 LUCHTVOCHTIGHEID

De te controleren meetbox kan een psychrometer met droge en natte bol bevatten, dan wel een capacatieve luchtvochtigheidsvoeler. In beide gevallen kan de controle plaatsvinden met een IMAG-psychrozender, een andere gekalibreerde psychrometer of een gekalibreerde referentie luchtvochtigheidsvoeler. Bevat de meetbox een psychrometer, dan is controle van droge- en natteboltemperatuur met het stabilisatieblokje de beste mogelijkheid (zie 3.1.1).

3.2.1 Controle psychrometer met stabilisatieblokje

Een eerste controle is of de beide voelers na verwijdering van het kousje binnen 0,2 °C dezelfde temperatuur aanwijzen. Denk eraan na de controle eventuele resten van warmtegeleidende pasta vooral van de natte bol te verwijderen. Breng hierna een nieuwe kous aan en controleer de werking van de ventilator. In principe kan hiermee tevens "de kous af" zijn, nl. indien de meetbox van een bekend en onderzocht type is (zie hoofdstuk 6, Aanbevelingen). Zoniet, dan treedt de in 3.1.2 beschreven en meer van toevalligheden afhankelijke procedure in werking.

3.2.2 Controle psychrometer zonder stabilisatieblokje

Plaats de referentiepsychrometer zo dicht mogelijk bij de meetbox. Wacht tot er een evenwichtssituatie is ontstaan. Lees vervolgens gedurende tien minuten eenmaal per minuut af. Verschilt het gemiddelde van de eerste vijf waarnemingen meer dan 2% RV met het gemiddelde van de tweede serie van vijf, herhaal dan de meetserie. Probeer als waarnemer een minimale afstand van 2 m tot de meetbox te bewaren.

Houd bij een eventueel gemeten verschil rekening met het verschil in beide drogeboltemperaturen, met andere woorden bereken het gemeten dauwpunt.

3.2.3 Capacitieve luchtvochtigheidsvoeler

Controle ter plaatse is hier alleen mogelijk door vergelijking met de referentie op de in 3.1.2 beschreven manier, die in 3.2.2 nader is uitgewerkt voor vochtmeting. Met een eenpuntsmeting is in feite onvoldoende vast te stellen welke ingreep, in geval van een te grote miswijzing, tot de juiste bijstelling leidt. De voeler dient dus gedemonteerd en elders over een groter meetbereik gekalibreerd te worden. Een veiliger methode is, gebruik te maken van een tweede (door de leverancier of elders) gekalibreerde voeler en deze procedure een- of tweemaal per jaar, afhankelijk van de praktijkervaring, te verwisselen.

N.B. Het is denkbaar dat er ondanks het feit dat er geen verschil groter dan 2% RV wordt gemeten, in een andere praktijksituatie een grotere afwijking wordt gevonden. Het is in verband hiermee aan te raden een "niet-keurmerk" meetbox (zie hoofdstuk 6, aanbevelingen) met droge- en nattebol te controleren in een praktijksituatie met een zo laag mogelijke RV, en in situaties van wel en geen zon-instraling. Voor een capacitieve voeler geldt in principe hetzelfde. Hierbij is controle op een ander tijdstip bij een tweede RV die niet in de buurt van de eerder gemeten waarde ligt aan te raden.

De conclusie mag worden getrokken, dat controle-ter-plaatse van de RV-aanwijzing tot op 2 à 3% een zware eis is. Gebruik van een "keurmerk" meetbox verkleint de meetonzekerheid aanzienlijk.

3.2.4 Correctie van afwijkingen

Wanneer de gemiddelden van beide instrumenten meer dan 3% RV verschillen (bij een verschil in drogeboltemperaturen van ten hoogste 0,2 °C) dient de oorzaak te worden opgespoord en verholpen. Mogelijke foutenbronnen zijn de kwaliteit van het kousje, de lengte ervan, bevochtiging en ventilatie.

3.3 BUISTEMPERATUUR

3.3.1 De regelvoeler

Nauwkeurige controle van de voeler voor het meten van de aanvoertemperatuur, bedoeld voor de regeling, is voor het maken van een vergelijking tussen bedrijven van minder belang dan de gemiddelde buistemperatuur. Er kan hier dan ook met een grotere onnauwkeurigheid (2 à 3°C) genoeg worden genomen. Soms is controle mogelijk door een aanwezige klokthermometer in de buurt van de regelvoeler te demonteren en er, eventueel met behulp van een aanpassingsstuk, een controlevoeler voor in de plaats te zetten. Ontbreekt deze mogelijkheid, en is de regelvoeler niet te demonteren, dan is controle van het meetsysteem met behulp van een vaste weerstand(sbank) de enige mogelijkheid.

3.3.2 De registratievoeler

Indien een voeler is geplaatst voor het meten van de gemiddelde buistemperatuur dan moet deze, binnen het regelbereik, tot op 0,5 °C te controleren zijn. Dit kan bij een demontabele voeler op de in 3.1 beschreven manier. Uiteraard moet de controlemeting wel in het regelgebied van de voeler plaatsvinden. Is de voeler moeilijk of niet demontabel, of staan bedrijfsomstandigheden demontage niet toe, dan moet de constructie zodanig zijn uitgevoerd, dat de controlevoeler vlakbij de meetvoeler in een dompelbuis of een metalen deel dat als goede vervanging van het in 3.1 beschreven stabilisatieblok mag worden beschouwd worden gestoken. Afhankelijk van de afmetingen van de voeler kan het blok vergroot worden tot bijv. 5x5x12 cm.

3.4 CO₂-METING

De controle op een juiste aanwijzing van de CO₂-meter kan op twee manieren worden uitgevoerd, n.l. met behulp van een ijkgas of door vergelijking met een gekalibreerde CO₂-meter.

3.4.1 Controle met een ijkgas

De CO₂-meter wordt hierbij zowel met een nulgas als een ijkgas gecontroleerd, direct aan de ingang van het instrument. De samenstelling van de gebruikte gassen dient met een minimale nauwkeurigheid van 10 ppm bekend te zijn. In de zomer wordt ijkgas van 400 ppm CO₂ gebruikt, in de winter zal afhankelijk van de teelt een hogere waarde noodzakelijk zijn.

Aangezien druk en temperatuur invloed hebben op de aanwijzing (zie bijlage 3) is het belangrijk een indruk te hebben in hoeverre de omstandigheden tijdens de controle afwijken van de 'standaardcondities'. Voorbeeld: een omgevingstemperatuur van 23°C i.p.v. 20°C veroorzaakt een verlaging van de aanwijzing van 1% (d.w.z. 10 ppm bij 1000 ppm), een luchtdruk van 995 mbar levert een verlaging op van ca. 2% (ofwel 20 ppm bij 1000 ppm). Zorg voor een lage doorstroming, d.w.z. een zo laag mogelijke overdruk t.o.v. de atmosfeer.

3.4.2 Controle met een gekalibreerde CO₂-meter

Bij ontbreken van een voldoende nauwkeurig ijkgas is het gebruik van een tweede, gekalibreerde, CO₂-meter een alternatief. Het ontbrekende ijkgas of eventueel omgevingslucht dienen hier niet als referentie (echter wel om beide CO₂-meters te vergelijken). Wanneer de referentie CO₂-meter niet voor druk en temperatuur gecompenseerd is (maar wel bij standaard omstandigheden gekalibreerd), dan hoeft er in principe geen temperatuur- en drukcorrectie op de aanwijzing van de te controleren CO₂-meter plaats te vinden. (Hierbij is verondersteld dat beide instrumenten bij dezelfde temperatuur en druk meten).

Bezit de referentiemeter wel een compensatie voor temperatuur en/of druk, dan dient volgens bijlage 3 te werk te worden gegaan.

Algemeen

- Zorg dat het instrument tenminste een uur heeft aangestaan.
- Lekkage in de aanzuigleiding wordt gecontroleerd door aan het uiteinde van de aanzuigslang 'nulgas' toe te voeren met de normale aanzuigsnelheid. Wanneer de

aanwijzing na enige tijd groter dan nul blijft is er wellicht sprake van een lek in de toevoerleiding. In plaats van 'nulgas' kan ook een patroon met koolzure kalk aan het uiteinde van de aanzuigslang worden gehangen. Het nulpatroon mag niet verkleurd zijn.

- De combinatie pomp/slanglengte voldoet wanneer de aanzuigtijd kleiner is dan 3 minuten. Bij gebruik van een multiplexer kan dit betekenen dat een extra pomp vereist is.
- Het aanzuigpunt moet tenminste 1 m van het verdeelsysteem ('darm') verwijderd zijn.

N.B. Bij dit alles is verondersteld dat aan de normale onderhoudshandelingen, zoals het voorkomen van een verstopt filter, het regelmatig legen van een condenspot e.d. is voldaan.

3.5 OVERWEGINGEN BIJ DE OPSTELLING VAN DE PROCEDURES 3.1 t/m 3.4

3.5.1 Aard van de controle

Controle op de juiste aanwijzing van een meetvoeler of -instrument in een praktijksituatie kan het gemakkelijkst worden uitgevoerd wanneer het meet- of regelproces tijdens de controle mag worden onderbroken en meetvoeler of meetinstrument demontabel is. Elke verdere beperking maakt de controle ingewikkelder. Controle veronderstelt eigenlijk dat er eerder al een kalibratie heeft plaatsgevonden. Het verschil wordt hieronder aangegeven.

Kalibratie

Van kalibratie is sprake wanneer de meetvoeler en/of het meetinstrument bij een stabiel ingangssignaal (waterbad, klimaatkast, ijkgas) liefst in een ruimer meetgebied wordt vergeleken met een herleidbare standaard.

Kalibratie vóór installatie van meetvoeler en/of instrument is noodzakelijk maar niet voldoende. Tijdens de kalibratie dient zoveel mogelijk de situatie in de praktijk te worden aangehouden (kabel lengte, drukval in een aanzuigleiding, een zo compleet mogelijk meetsysteem e.d.).

Bij kalibratie van een temperatuurvoeler moet aandacht gegeven worden aan de volgende punten:

- Bij een verschil tussen bad- en omgevingstemperatuur kan er warmtegeleiding via de aansluitdraden naar de temperatuurvoeler plaatsvinden. Dit is een andere dan de praktijksituatie, althans voor een luchttemperatuurvoeler, dus denk aan een voldoende grote insteekdiepte.
- Bij een buistemperatuurvoeler ligt de situatie anders omdat daar onder praktijkomstandigheden in het algemeen juist een temperatuurgradiënt zal bestaan tussen de voeler en de ermee verbonden meetkabel. Hetzelfde geldt voor een nattebolvoeler.
- Opwarming door de gebruikte meetstroom zal bij een Pt-100 of een ntc-weerstand die voor de meting in lucht wordt gebruikt niet aan het licht treden bij kalibratie in een waterbad.

Kalibratie van een luchtvochtigheidsvoeler kan eigenlijk alleen onder gedefinieerde

laboratoriumomstandigheden plaatsvinden. In de praktijk zal dus altijd van een eenvoudiger controle sprake zijn. Algemene eigenschappen van bijvoorbeeld een psychrometer dienen via een apart onderzoek te worden vastgesteld.

Kalibratie van een gasanalysator (CO₂-meter) kan plaatsvinden met behulp van een nulgas en een ijkgas, respectievelijk voor het nulpunt en een gekozen meetbereik. Op tussenliggende punten kan een standaardgasanalysator worden gebruikt.

Controle ter plaatse

Bij controle ter plaatse dient men rekening te houden met de volgende overwegingen:

- De mogelijkheden tot controle van de buistemperatuurvoeler zijn afhankelijk van de gebruikte constructie. Aanbrengen van de controlevoeler naast de meetvoeler in een eventueel aanwezige dompelbuis zal in bestaande installaties niet altijd kunnen. Een constructie die dit wel mogelijk maakt zou de zaak met het oog op latere controles zeer vergemakkelijken.
- De te meten grootte zal waarschijnlijk fluctueren. Dit betekent een onzekerheid in de absolute waarde die zwaarder meetelt in de vergelijking naarmate het verschil in responsietijden groter is. De minimaal vereiste tijd om tot een acceptabele vergelijking te komen wordt bepaald door de traagste voeler. Gelijke responsietijd van meet- en controlevoeler (-systeem) verdient de voorkeur.
- Er zal in het algemeen slechts sprake zijn van controle bij één meetpunt, onder één bepaalde omstandigheid van het meetsysteem (temperatuur meetkabels in en buiten de kas, het al dan niet optreden van mogelijke elektrische storingen tengevolge van machines, pompen, het al dan niet schijnen van de zon, etc.).

3.5.2 Meetonzekerheid

De totale onzekerheid in het gemeten verschil tussen controle- en meetvoeler is opgebouwd uit (a) de onzekerheid in de gebruikte standaard, (b) de korte termijn instabiliteit van het meetsysteem en (c) een afwijking ontstaan tengevolge van installatie en (variërende) praktijkomstandigheden. Het is gebruikelijk als totale onzekerheid de wortel uit de som van de kwadraten aan te houden. Is in het hier genoemde geval de onzekerheid in elk der onderdelen 0,1 °C, dan is de totale onzekerheid $\sqrt{0,03} = 0,17$ °C, dus geen 0,3 °C die de maximale fout weergeeft. Uit dit voorbeeld blijkt al direct dat er hoge eisen worden gesteld aan een zowel controle- als meetsysteem waarmee een meetnauwkeurigheid van het systeem van 0,2 °C gehaald en aangetoond moet worden. In het genoemde voorbeeld is nog geen rekening gehouden met de tolerantie in de meetvoeler, die bij een norm van 1/3 DIN ook op circa 0,1 °C ligt (bij 0 °C).

Motivatie:

- Ad a) De gebruikte standaard dient vastgelegd te worden in een herleidbaar kalibratiecertificaat. De geldigheidsduur van de kalibratie wordt in de procedure omschreven.
- Ad b) De korte termijn instabiliteit van het meetsysteem omvat zaken als zinvolle resolutie van de aanwijzing (dus geen rij cijfers achter de komma op een beeldscherm), stabiliteit van de elektronika, invloed van netspanningsvariaties etc.

Ad c) Een afwijking ontstaan tengevolge van installatie en (variërende) praktijkomstandigheden kan zowel systematische als toevallige effecten bevatten. De invloed van variërende omgevingstemperatuur op het systeem is naar verwachting systematisch, de invloed van elektromagnetische storingen op het systeem zijn moeilijker te voorspellen. Ook kan kabel lengte in combinatie met het toegepaste meetstelsel een rol spelen.

Controle, binnen nauwe grenzen, op de juiste aanwijzing van een systeem is niet mogelijk zonder kennis van een aantal algemene eigenschappen van dat systeem. Het is vooral in het belang van de leverancier dat de eigenschappen van dat systeem zo goed mogelijk bekend zijn, en aan omschreven specificaties zijn getoetst. Alleen dan kan worden voorkomen dat er eindeloos getob ontstaat omdat bijvoorbeeld 0,2 °C om onduidelijke redenen bij de ene controle wel en bij de andere niet wordt gehaald. Uit een keurmerk-onderzoek, waarvan de eisen nauwkeurig kunnen worden geformuleerd, zou kunnen blijken dat het constateren van een mogelijke miswijzing van 0,2 °C *onder praktijkomstandigheden* een te zware eis is. Er zou bovendien recht gedaan worden aan een reële firma die 0,3 °C 'overall' systeem nauwkeurigheid claimt tegenover een concurrent die via gebruik van een andere term 0,05 °C als nauwkeurigheid suggereert. Kortom: een 'keurmerk' is eigenlijk onontbeerlijk, alsook gebruik van standaard-terminologie bij het opgeven van specificaties (zie ook hoofdstuk 6, aanbevelingen).

Ook de eigenschappen van het controle-meetstelsel, bijvoorbeeld met betrekking tot de invloed van de omgevingstemperatuur, moeten bekend zijn. Controle van een gasanalysator onder praktijkomstandigheden met een referentie-instrument is hiervan een voorbeeld. Een temperatuurmeter die uit de koude kofferbak van de auto komt is een ander voorbeeld.

3.5.3 Procedures

Zolang het gemeten verschil tussen controle- en meetvoeler een afgesproken tolerantie van bijvoorbeeld 0,2 °C of 10 ppm CO₂ niet overschrijdt lijkt er geen probleem te zijn. Wat te doen als het geconstateerde verschil groter is? Een goede servicemonteur zal de oorzaak van dit verschil willen achterhalen, eerder dan 'domweg' via verdraaiing van een potentiometer de aanwijzing bij te stellen. In het geval hij hiertoe toch overgaat moet hij zijn actie aannemelijk kunnen maken, dit ter voorkoming van het ontstaan van een controle/bijstellen/nogmaals controle/weer bijstellen enzovoort cyclus.

Een goede *controleprocedure* hoeft in principe niet meer te doen dan constateren of aan de gestelde toleranties wordt voldaan. In geval van geconstateerde afwijkingen dient een andere, erop volgende *justeerprocedure* te worden gevolgd om te komen tot het opsporen van de oorzaak en het vastleggen van aard en grootte van de verrichte correctie.

3.5.4 Routinecontrole op langere termijn

Controle op de juiste werking van een meet- en regelsysteem in de praktijk moet in het ideale geval volgens een korte, heldere procedure uitgevoerd kunnen worden. Daartoe is (zijn) nodig:

- kennis vooraf van de specificaties, om een idee te hebben van de te verwachten stabiliteit in de praktijk. Dit is dus een vorm van 'modelkeuring', waaraan wellicht al

in zekere mate door de leveranciers zelf wordt gedaan. Een onafhankelijke instantie zou een vergelijkend onderzoek kunnen uitvoeren.

- discipline van leveranciers om uitsluitend gebruik te maken van vooraf gekalibreerde meetvoelers en -instrumenten (in hun eigen belang);
- het gebruik van aantoonbaar gekalibreerde apparatuur om de controlemeting uit te voeren;
- meetprocedures waarin de uitvoering van controlemetingen is omschreven;
- voorschriften waarin zo goed mogelijk is vastgelegd waaraan een goede installatie geacht wordt te voldoen;
- aanvullende procedures zoals een klachtenprocedure waarin de regels zijn vastgelegd die de gang van zaken na voorkomende onenigheid beschrijven, aansprakelijkheid e.d.

Kortom een systeem met alle eigenschappen van een goed te beheersen en te beheren kwaliteitssysteem.

3.6 GEBRUIKTE CONTROLE-APPARATUUR

Voor de eerste controlemetingen in de praktijk is onderstaande apparatuur gebruikt:

- datalogger Campbell 21X van I&M, IMAG-DLO;
- gekalibreerde psychrozeender, vierdraads Pt-100, IMAG-DLO;
- twee buistemperatuurvoelers, Pt-100, vierdraads, IMAG-DLO;
- Siemens Ultramat, 0-1000 ppm, PBG;
- Precisie ijkgas, 395 en 900 ppm, PBG;
- CO₂-nulpatroon, PBG.

4. RESULTAAT PRAKTIJKMETINGEN

4.1 Bevindingen en aanbevelingen n.a.v. praktijkmetingen

In samenwerking met de DICOTU-leden is per leverancier op twee bedrijven gekeken in hoeverre de voorgestelde normen in de praktijk haalbaar zijn. Als controle-apparatuur voor de temperatuur en RV werd een Campbell 21X datalogger gebruikt, met een IMAG-psychrozender (droge en natte bol Pt-100 voelers) en een losse Pt-100 temperatuurvoeler. De temperatuuraanwijzing was gekalibreerd tot op 0,05°C, de onzekerheid in de aangewezen RV lag binnen 1%. Voor de CO₂ controle meting is een gekalibreerde Siemens Ultramat gebruikt (nauwkeurigheid +/- 10 ppm. op een volle schaal van 1000 ppm). Deze referentie apparatuur is tevens een richtlijn voor leveranciers en/of controlerende instanties. De resultaten van de metingen zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel: Resultaat praktijkmetingen op acht bedrijven

Bedrijf	Drogebol	Nattebol	RV	buistemp. (regel)	buistemp. registratie	CO ₂ -meting
1	-	-	+	+	niet aanwezig	+
2	-	-	-	+	niet aanwezig	-
3	+	+	+	+	niet aanwezig	-
4	+	+	+	-	niet aanwezig	+
5	+	+	+	+	niet aanwezig	-
6	+	+	+	n.v.t.	niet aanwezig	-
7	+	+	+	+	niet aanwezig	-
8	+	n.v.t.	+	+	niet aanwezig	+

+ = voldeed aan de geformuleerde norm

- = voldeed niet aan de geformuleerde norm

Luchttemperatuur

De methode waarbij gebruik gemaakt wordt van een stabilisatieblokje maakt het mogelijk binnen enkele minuten een stabiele vergelijking te maken.

Bij gebruik van het stabilisatieblokje werd er voor gezorgd dat de voelers goed pasten. Er werd geleidende pasta gebruikt als er speling zat tussen voeler en de boring in het blokje. Bij demontage is het gemakkelijk als er een voldoende lange kabel aan de sensor zit. De snelste meetresultaten worden bereikt als het stabilisatieblokje de heersende ruimtetemperatuur heeft. Dit kan bereikt worden door bijvoorbeeld een verwarmingselement onder het blokje aan te brengen. Als het blokje goed geïsoleerd wordt is het minder gevoelig voor veranderingen van ruimtetemperatuur tijdens het meten.

Opmerking: de gevoelstemperatuur ligt een stuk lager dan de ruimtetemperatuur. Dit kan zo'n 5 tot 8 °C verschillen. Het blokje moet dus 'kouder' aanvoelen.

Bij niet of moeilijk te demonteren voelers (droge- nattebol) blijkt dat de in 3.1.2 beschreven procedure problemen kan opleveren, omdat de gemeten fluctuaties regelmatig de vereiste 0,2 °C bleken te overschrijden. Dit leidde tot een lang durende controle-procedure. Deze methode moet daarom met grote voorzichtigheid gebruikt worden om de vereiste nauwkeurigheid te halen.

Aanzuigrichting

Toen bij controle van een luchtvochtigheidsvoeler de psychrozender **horizontaal** naast de meetbox werd geplaatst, werd geconstateerd dat het verschil in drogeboltemperatuur 0,3 °C groter was dan bij controle van drogeboltemperatuur met het stabilisatieblokje (0,1 °C). Tussen beide methodes zat dus 0,2 °C verschil. Ook de RV toonde op deze manier een grote afwijking (5,5%). In principe moet de RV zowel van de psychrozender als de meetbox op de 'bij gebrek aan beter' methode na verloop van tijd binnen de marges vallen. Dit gebeurde niet.

Bij een tweede meting is dezelfde aanzuigrichting als die van de meetbox aangehouden; **verticaal**. Zowel drogebol als RV vielen toen duidelijk binnen de marges. Hieruit blijkt dat de aanzuigrichting een belangrijke factor is.

Luchtvochtigheid

Bij controle van de acht luchtvochtigheidsmetingen was er sprake van twee principes, zeven droge en nattebol voelers en één capacatieve voeler. Bij de nattebol meting kwamen dezelfde bevindingen naar voren als omschreven bij de controle van de luchttemperatuur ('drogebol'). Wanneer controle met stabilisatieblok niet mogelijk bleek, moest de controle plaatsvinden met een (gekalibreerde) geventileerde psychrometer. Hierbij werd rekening gehouden met het verschil tussen de drogeboltemperatuur van meetbox en referentiepsychrometer.

De capacatieve RV-voeler werd gecontroleerd door deze in de door de referentiepsychrometer aangezogen lucht te hangen. Dit was mogelijk omdat de voeler demontabel was. De temperatuur van het omhulsel van de voeler diende op drogeboltemperatuur te zijn, dus aanraking met de hand werd vermeden. (Als de voeler niet demontabel zou zijn geweest zou de 'gebrek aan beter' procedure zijn gevolgd).

Buistemperatuur

Op geen van de testbedrijven was een registratievoeler voor de buistemperatuur aanwezig.

Controle van de regelvoeler was in alle gevallen goed mogelijk omdat er op alle bedrijven een klokthermometer vlakbij de regelvoeler aanwezig was. De boring in de buis waar de klokthermometer in zit doet als het ware dienst als stabilisatieblok. Ook hier geldt dat de controlevoeler goed moet passen. Door de mengklep handbediend uit te zetten werd zowel bij de voeler als controlevoeler eenzelfde stabiele watertemperatuur verkregen. Als de mengklep niet uitgezet wordt, is er teveel fluctuatie in de watertemperatuur en is controle niet mogelijk.

CO₂

Bij de controle van CO₂-meters traden nogal wat problemen op. Hieronder een overzicht van de gevonden problemen:

- 1) Gevonden afwijking bleek een technische storing van het apparaat te zijn.
- 2) De ijk-gassen die op de bedrijven en door monteurs gebruikt worden waren niet nauwkeurig genoeg (nauwkeurigheid stond niet vermeld op het ijkpatroon).
- 3) Nulpatronen waren verkleurd. Bij weinig verkleuring is er al sprake van CO₂-

doorlaat.

- 4) Slecht functionerende multiplexer (gasomschakelaar).
- 5) Te lange aanzuigtijden. Controle van de aanzuigsnelheid kon goed gemeten worden door een nulpatroon aan het begin van de aanzuigleiding te hangen. Er werden geen lekken in de aanzuigleiding geconstateerd.
- 6) Multiplexer had een te grote cyclus-tijd, wat inhoudt dat grote veranderingen in CO₂-concentratie niet tijdig gesignaleerd worden. Ook ijken c.q. controleren geeft dan problemen.
- 7) De meter had een te groot bereik voor de teelt (bv. tot 10.000 ppm voor tomaat), waardoor ook de nauwkeurigheid vermindert.
- 8) In de CO₂-meter zat een verkeerde weerstand gemonteerd, welke systematisch een afwijking van 2,7% van het schaalbereik teweeg bracht.

Een goede methode om praktisch CO₂ te meten is een referentie CO₂-meter te nemen, die voor druk en temperatuur ongevoelig dan wel gecorrigeerd is. Met de referentiemeter kan de ijking plaatsvinden. Hierbij kunnen eventueel ijkgassen gebruikt worden die minder nauwkeurig zijn omdat de referentiemeter nu het ijkinstrument is. Ijken moet op een zonnige dag gebeuren omdat dit de belangrijkste periode van doseren is. Als de meter te laag aangeeft, zou dit te veel CO₂ kosten (en dus energie), geeft de meter te hoog aan, dan zou dit productie kosten. Bij zonnig weer is de luchtdruk vrijwel altijd hoog (1025 - 1040 mbar). Bij een lagere luchtdruk zal dus een fout ontstaan in de meting (zie bijlage 3). Dit is het geval bij slecht weer. Aangezien de luchtramen dan dicht liggen is een nauwkeurige meting van minder belang. Met de formule in bijlage 3 kan ook de gasflesmethode gebruikt worden. Daarbij zijn wel een barometer, thermometer en nauwkeurige ijkgassen nodig. De omrekening naar de juiste CO₂-concentratie is dan eenvoudig. Let er wel op dat de druk uit de gasfles niet te hoog is omdat er anders een drukverschil met de buitenomgeving ontstaat. In principe heeft een CO₂-meter een vrije uitstroming naar buiten zodat er geen drukverschil optreedt. Zorg dus voor een lage flow uit de gasfles (bij het onderwater houden van de gasuitstroom mag er een lichte mate van luchtbelvorming zijn).

Algemeen

Nagenoeg alle geconstateerde problemen werden veroorzaakt door geen of slecht onderhoud, c.q. controle en waren door de installateur op te lossen.

Op één bedrijf bleek er sprake te zijn van een systeemfout in de hardware van de computer. Dit veroorzaakte een afwijking van 0,5 °C in lucht- en buis temperatuur.

5. DISCUSSIE EN CONCLUSIE

Algemeen

Met dit protocol is een belangrijke stap gezet in het optimaliseren van kasklimaatmetingen en dus met het efficiënt omgaan met energie.

De getoetste methodiek is goed, universeel, praktisch en voldoet in de praktijk. Het blijkt dat nagenoeg alle geconstateerde problemen op te lossen zijn door installateur/monteur en dat de geëiste nauwkeurigheid aan de gestelde norm kan voldoen.

Luchttemperatuur

Controle van temperatuurvoelers met behulp van een stabilisatieblok gaat uitstekend. De voelers moeten hiertoe bij voorkeur afneembaar zijn en een voldoende lange kabellengte bezitten. Losmaken is niet nodig indien er een stabilisatieblokje gemaakt wordt dat precies in de meetbox past. Bij controleren van 100% luchtvochtigheid moet dan de afstand van de droge- en nattebol standaard zijn om ze beide tegelijkertijd in het blokje te kunnen steken.

Luchtvochtigheid

Zie luchttemperatuur indien een droge en nattebol gebruikt wordt.

Bij capacitieve voelers is de voorgeschreven methode goed uitvoerbaar maar vraagt wat meer aandacht en geduld. De beste methode is om één of tweemaal per jaar de capacitieve voeler te vervangen door een (opnieuw) gekalibreerde voeler.

CO₂

Zoals er momenteel CO₂ gemeten wordt, moet men zich realiseren dat het gaat om een grove meting, die eigenlijk een indicatie voorstelt. De gewenste nauwkeurigheid van 10 ppm is niet haalbaar. De eis is tijdens de testmetingen dan ook teruggeschroefd naar 30 ppm. De huidige CO₂-meters kunnen aan deze eis voldoen. Goede referentie apparatuur is echter noodzakelijk. Momenteel zijn er (positieve) ontwikkelingen bij CO₂-meters in de richting van een hogere nauwkeurigheid en stabiliteit. Gewenst blijft uiteraard een onzekerheid in de meting van de concentratie van 10 ppm. Als er t.z.t. nauwkeuriger meters op de markt verschijnen, kan de norm wellicht op 20 ppm worden gesteld. Zo'n bijstelling zal, uiteraard, plaatsvinden in overleg met DICOTU.

Daar er verschillende CO₂-meters zijn is het belangrijk dat het meetprincipe van elk bekend is (b.v. sommige meters zuigen in etappes de te analyseren lucht aan). Momenteel is het zo dat de pomp van de meter wordt uitgezet en vervolgens de meetkamer gevuld wordt met ijkgas. Een andere manier is om een continu flow te realiseren. Bij de eerste manier is niet bekend hoe en hoe snel de concentratie van het ijkgas in de meetkamer verloopt.

Een algemeen punt bij alle metingen is dat degene die de computer afleest, weet hoe het afgelezen getal tot stand gekomen is (bijv. door middeling over een bepaalde periode of momentaan). Dit is van belang voor een juiste interpretatie van de gevonden waarden.

Buistemperatuur

De methodiek is goed. Er moet echter goed op gelet worden dat de controlevoeler goed past in de boring van de aanvoerbuis. In het protocol is de norm voor de regelvoeler van de buistemperatuur gesteld op $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Voor de kasklimaatregeling is dit prima omdat er toch naar de ruimtetemperatuur wordt gekeken. Bij het opstellen van deze eis was de verwachting dat de testbedrijven een registratievoeler zouden hebben. Dit is echter op geen van de bedrijven het geval. Als er nu een minimum buis van 40°C wordt ingesteld kijkt men dus naar de regelvoeler, die een afwijking van 2°C kan hebben. Dit is te veel. Zolang er geen registratievoeler aanwezig is, zou de regelvoeler eigenlijk een grotere nauwkeurigheid moeten hebben.

6. AANBEVELINGEN

De op de in 3.1 beschreven wijze gecontroleerde en juist bevonden aanwijzing van de luchttemperatuurvoeler (en eventueel natte bol) hoeft niet te betekenen dat dan ook de juiste luchttemperatuur (c.q. de juiste gemeten RV) wordt aangewezen. Hiervoor dienen de stralingseigenschappen van een meetbox bekend te zijn. Enkele jaren geleden zijn hiertoe voorwaarden beschreven in het document "TFDL keurmerk meetbox" (Schurer, 1992). Hierin zijn onder andere criteria vastgelegd betreffende meetbereiken voor vocht en temperatuur en de toegestane toleranties in deze grootheden, ook bij instraling overeenkomend met vol zonlicht. De daar geformuleerde eisen van 0,3 °C in droge boltemperatuur, alsmede 5% RV zijn in de als bijlage 2 opgenomen geactualiseerde versie aangescherpt tot 0,2 °C en 3% RV. De betere meetboxen die tijdens een eerder onderzoek naar voren kwamen voldeden aan deze eisen.

Een modelkeuring voor de complete meetapparatuur is zeker, net als voor de meetbox, aan te bevelen. Hierbij dient men minimum-eisen te specificeren en de procedures voor toetsing vast te leggen.

Momenteel worden er geen registratievoelers gebruikt voor de buistemperatuur. Bij het installeren van nieuwe systemen is het zeker aan te bevelen om deze voelers te monteren en de meting op de computer zichtbaar te maken. Het geeft de tuinder meer inzicht in de daadwerkelijke buistemperatuur/warmteafgifte in de kas.

Eén van de bezochte telers was eigenhandig overgegaan tot het afregelen van de temperatuur aanwijzing. Dat wil zeggen dat desbetreffende teler met een handthermometer door een pad gelopen was en zo de gemiddelde temperatuur van dat pad bepaalde. Dit getal werd vergeleken met de meetbox. Als de meetbox waarde anders was dan de eigen meting, werd dit getal softwarematig veranderd. Wil er echt van controle sprake zijn dan moeten over dit soort softwarematige veranderingen nadere afspraken worden gemaakt.

Buitenmeting

Het viel buiten het bestek van dit project om de meetnauwkeurigheid van de buitenmeetsystemen te onderzoeken. Een zeer belangrijk aspect van de buitenmeting is de plaats van de meetmast. Als richtlijn kan nu al aangegeven worden dat de meting in verband met luchtwervelingen circa 4 meter boven of naast het warehouse moet plaatsvinden. Ook moet een afstand van minimaal 20 meter vanaf schuur en ketelhuis aangehouden worden.

7. LITERATUUR

- Dorresteijn, W., 1997. 'Doe mij maar 800 ppm'. Oogst 17 januari, p. 36-37.
- Graaf, R. de, 1991. Brochure luchtvochtigheid. Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Informatiereeks No. 104, p. 26-31.
- Haasteren, van, 1985. Meetnauwkeurigheid klimaatcomputers. Groenten + Fruit (40), p. 40-41.
- Holsteijn, G.P.A. van en Zuidgeest, C.P.G., 1988. Meetnauwkeurigheid computers moet en kan beter. Groenten + Fruit (44), p. 30-31.
- Holsteijn, G. van, 1993. Alleen goed meten is zeker weten. Groenten + Fruit (3), p. 20-21.
- Holsteijn, G. van, 1995. Besparen op basis van buistemperatuur. Groenten + Fruit, 17 feb., p. 20-23.
- Nunnink, E., 1993. Zo moet je meten. Groenten + Fruit/Glasgroenten (3), p. 8-9.
- Rijsdijk, T., 1995. Met darmen omhoog betere benutting van CO₂. Groenten + Fruit, 6 jan., p. 11.
- Ruiter, H.W. de, 1993. Verdeling en meting CO₂ vaak onder de maat. Groenten + Fruit/Glasgroenten (40), p. 22-23.
- Ruiter, H.W. de, 1996. Voldoet uw meetapparatuur aan de norm? Vakblad voor de Bloemisterij (36), p. 44-45.
- Ruiter, H.W. de, 1997. Normen voor klimaatmetingen bieden veel voordelen. Groenten + Fruit/Glasgroenten (40), p. 14-15.
- Schurer, K., 1992. TFDL keurmerk meetbox. TFDL, 16 juli 1992.
- Strauch, K.H., 1991. Messfehler werden zu Kulturfehlern I: Wartung und Pflege von Messgeraeten. Gaertnerboerse und Gartenwelt (91), p. 1368-1377.

BIJLAGE 1

Aantal meetpunten, meet- en regelbereik en haalbare/wenselijke nauwkeurigheid per grootheid.

Grootheid/ Regelbereik (Meetbereik)	Aantal meetpunten (plaats)	Haalbare/ wenselijke nauwkeurigheid	Nauwkeurigheid mobiele ijkset
lucht- temperatuur 5 - 25 °C (0 - 40 °C)	1 per regelgroep, in meetbox (eventueel op twee hoogtes)	± 0,2 / 0,1 °C	± 0,1 / 0,05 °C
buistemperatuur 30 - 90 °C (0 - 100/120 °C)	voor regeling: 1 na de pomp	± 0,2 / 2 à 3 °C	
30 - 70 °C (0 - 100/120 °C)	voor registratie: 1 in/op midden van een spiraal	± 0,2 / 0,5 °C	± 0,1 °C
luchtvochtigheid 70 - 90% RV (40 - 100% RV)	1 per regelgroep, in meetbox (in gewas)	± 3 / 2% RV	± 1-1,5% RV
CO ₂ 300 - 1000 ppm (0 - 3000 ppm)	1 per kasafdeling (aanzuigtijd < 3 min.)	± 30 / 10 ppm	± 10 ppm

BIJLAGE 2

IMAG-DLO KEURMERK MEETBOX

IMAG-DLO kan de prestaties van meetboxen voor het meten van temperatuur en luchtvochtigheid in tuinbouwkassen onderzoeken op basis van een aantal daarvoor geformuleerde criteria. Als blijkt dat de meetbox aan alle eisen voldoet, kan IMAG-DLO de fabrikant/leverancier op diens verzoek het recht toekennen dit resultaat door middel van een opdruk of sticker met vermelding 'keurmerk' en het IMAG-logo op het desbetreffende model kenbaar te maken.

Het onderzochte model wordt gekenmerkt door de bij IMAG-DLO gedeponeerde tekeningen en stuklijst. De fabrikant/leverancier neemt op zich bij wijzigingen in ontwerp of uitvoering hiervan onverwijld aan IMAG-DLO kennis te geven en zo nodig, ter beoordeling van IMAG-DLO, op zijn kosten een nieuw onderzoek door IMAG-DLO te laten uitvoeren, of verder af te zien van de keurmerk vermelding. IMAG-DLO behoudt steeds de bevoegdheid het recht op het voeren van het keurmerk in te trekken.

Alle aan het onderzoek verbonden kosten worden tegen de gebruikelijke tarieven aan de aanbieder in rekening gebracht.

Het recht op het voeren van het keurmerk wordt verstrekt op basis van een eenmalige typekeuring; IMAG-DLO houdt geen toezicht op de productie.

Om éénduidig vast te leggen voor welke meetboxen het keurmerk geldt, dient ieder exemplaar voorzien te zijn van een type-aanduiding en een serienummer.

Bij publicitair gebruik van het keurmerk kan vermeld worden, dat het type voldoet aan de door IMAG-DLO gestelde eisen. Verder gaande claims op gezag van IMAG-DLO zijn niet toegestaan.

De meetbox wordt getoetst aan de volgende criteria:

Algemeen

- Het temperatuurbereik moet tenminste lopen van 10 °C tot 40 °C,
- Het meetbereik voor relatieve vochtigheid moet tenminste lopen van 40% RV tot 100% RV,
- De meetbox moet bij tijdelijk nat worden (condens) en tijdens het opdrogen blijven functioneren,
- De handleiding moet voldoende informatie bevatten om de meetbox op de juiste wijze te kunnen installeren en gebruiken.

Meetvoelers

- De meetvoeler voor de luchttemperatuur en een eventuele meetvoeler voor de nattebol temperatuur mogen bij meting in een geroerd vloeistofbad geen grotere afwijking dan $\pm 0,2$ °C laten zien,
- Een eventuele RV voeler moet in een klimaatkast geen grotere afwijking dan $\pm 3\%$ RV laten zien,
- IMAG-DLO moet uit eerder onderzoek van de lange termijn stabiliteit van de RV voeler overtuigd zijn, of de gelegenheid krijgen zich daar in een testperiode van zes maanden van te overtuigen.

Meetbox

- Wanneer een meetbox via een transmitter of omzetter op de regelcomputer wordt aangesloten wordt de combinatie van meetbox en transmitter/omzetter beoordeeld.
- In het volgende wordt in zo'n geval met "meetbox" de combinatie bedoeld.
- De luchttemperatuur, gemeten met de meetbox, mag in het bovengenoemde traject niet meer dan $\pm 0,2$ °C van de werkelijke waarde afwijken.
- Toleranties voor temperatuur en luchtvochtigheid moeten ook gehaald worden met een instraling, overeenkomend met vol zonlicht (800 W.m²) op de meetbox.
- Getest wordt bij invalsrichtingen van de straling schuin van boven onder 45° en recht van boven,
- De luchtsnelheid in de omgeving van de meetbox bedraagt tijdens de tests minder dan 0,5 m/s.

Meetbox met droge- en nattebol

- De nattebol temperatuur, gemeten met de meetbox mag in het boven aangegeven traject van luchttemperatuur en vochtigheid niet meer dan $\pm 0,2$ °C van de werkelijke waarde afwijken.
- De luchtsnelheid ter plaatse van de nattebol moet voldoende zijn voor een goede werking. De minimale snelheid is afhankelijk van de diameter van de nattebol. Bij een diameter van 5 mm moet de luchtsnelheid minstens 2,5 m/s bedragen.
- De ventilatielucht mag na het passeren van de nattebol niet meer met de drogebol in aanraking kunnen komen.
- De berekende RV (via een opgegeven relatie) mag niet meer dan $\pm 3\%$ RV afwijken van de werkelijke waarde.

Meetbox met RV opnemer

- De gemeten RV mag niet meer dan $\pm 3\%$ RV afwijken van de werkelijke waarde,
- De ventilatie van de meetbox moet zodanig zijn, dat veranderingen van de luchtcondities buiten de meetbox binnen 60 seconden in de uitkomsten van de metingen worden weergegeven.

BIJLAGE 3

CO₂-METING

Eenheden

De concentratie van een gascomponent in een mengsel kan worden uitgedrukt in (k)g/m³ (*c*), of in volumeprocenten *v* ($v = (v_c/V_{tot}) \cdot 100\%$).

Volgens de algemene gaswet geldt voor de massa *m* van de component met volume *v_c* de formule $P \cdot v_c = R \cdot T \cdot m/M$, met $R = 8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ als de gasconstante en *M* de molaire massa van de component.

Uit bovenstaande volgt: $c = m/V_{tot} = (P \cdot M/R \cdot T) \cdot v/100$ (1)

waaruit met $P = 1013,25 \text{ hPa}$, $M=44$ voor CO₂ en $T = 293 \text{ K}$ (20 °C) is te berekenen, dat in dit geval $c = 18,3 \cdot v \text{ [g/m}^3\text{]}$.

Invloed van temperatuur en druk

v is onafhankelijk van temperatuur en druk, omdat zowel *v_c* als *V_{tot}* procentueel evenveel met druk en temperatuur op en neer gaat; *c* hangt wel van temperatuur en druk af, omdat het aantal moleculen per m³ de gaswet volgt.

Omdat een infrarood gasanalysator veelal in volumeprocenten (*v*) aanwijst, of in ppm, ($= 10^{-4} \cdot v$), is hier kans op verwarring door de gedachte dat de aanwijzing "dus" onafhankelijk van temperatuur en druk zou zijn. De gasanalysator meet echter het aantal gasmoleculen in een vaste meetkamer, en geeft dus de juiste concentratie (in de meetkamer) in g/m³ aan, onafhankelijk van temperatuur en druk in de meetkamer.

Om metingen te kunnen vergelijken is het wel nodig om de temperatuur en druk te *kennen*. In geavanceerde apparatuur worden temperatuur en/of druk constant gehouden, dan wel gemeten en in de omrekening naar standaardomstandigheden meegenomen.

Praktijkmeting

In de praktijk betekent dit het volgende. Een fles met ijkgas van 1000 ppm_v CO₂ levert deze waarde, onafhankelijk van temperatuur en druk. De aanwijzing wordt met behulp van dit gas bij standaardomstandigheden van 20 °C (=293 K) en 1013 hPa (mbar) op 0,1 vol% of 1000 ppm_v afgeregeld. Volgens formule (1) levert een drukstijging van 1% een stijging in gasconcentratie van eveneens 1% (= 10 ppm). Een temperatuurstijging van 1 °C veroorzaakt een daling in *c* van $(1/293) \cdot 100 \approx 0,34\%$, dat wil zeggen 1% (10 ppm) per 3 °C.

Kalibratie onder andere dan standaardomstandigheden, bijvoorbeeld 990 mbar en 15 °C levert met het ijkgas een waarde op van $(990/1013) \cdot (293/288) \cdot 1000 = 994,3 \text{ ppm}_v$.

Met uiterste waarden van 940 en 1050 mbar in de barometerstand zijn dus variaties mogelijk van -7 tot +4 % in de CO₂-aanwijzing. Temperaturen van $(20 \pm 15) \text{ }^\circ\text{C}$ leveren een variatie van $\pm 5\%$ in de CO₂-aanwijzing op.

Er wordt uitgegaan van de veronderstelling, dat:

- (a) de analysator met een kleine overdruk uitstroomt naar de vrije atmosfeer, en
- (b) de temperaturen van analysator, te meten gas en omgeving aan elkaar gelijk zijn (een direct in de zon hangende gasanalysator kan een aanzienlijk te lage concentratie meten).

Gert Visscher (IMAG-DLO)

BIJLAGE 4

Invulformulier meetrapport

Meetresultaat Meetbox nr.:		
Fabrikaat:		
	meetwaarden voeler meetbox	meetwaarden gekalibreerde voeler (nr.:)
Drogebol controle voeler nr.: type: Opm.: Binnen norm: Ja/nee		
Nattebol controle voeler nr.: type: Opm.: Binnen norm: Ja/nee		
RV controle voeler nr.: type: Opm.: Binnen norm: Ja/nee		
% RV bij gelijke droge- en nattebol		

Meetresultaat CO₂-meter (nr.:)		
Fabrikaat:		
	CO₂-meter	gekalibreerde controle meter (serienr.:)
Nulpatroon		
IJkgas ppm		
IJkgas ppm		
Aanzuigtijd		
Opmerkingen:	Binnen norm: Ja/nee	
Meetresultaat buistemperatuur (regel)		
	meetwaarden voeler	meetwaarden gekalibreerde voeler (nr.:)
Buistemperatuur (regel)		
Bijzonderheden:		
Binnen norm: Ja/Nee		
Meetresultaat buistemperatuur (registratie)		
	meetwaarden voeler	meetwaarden gekalibreerde voeler
buistemperatuur (registratie)		
Bijzonderheden:		
Binnen Norm: Ja/Nee		

Eindresultaat: