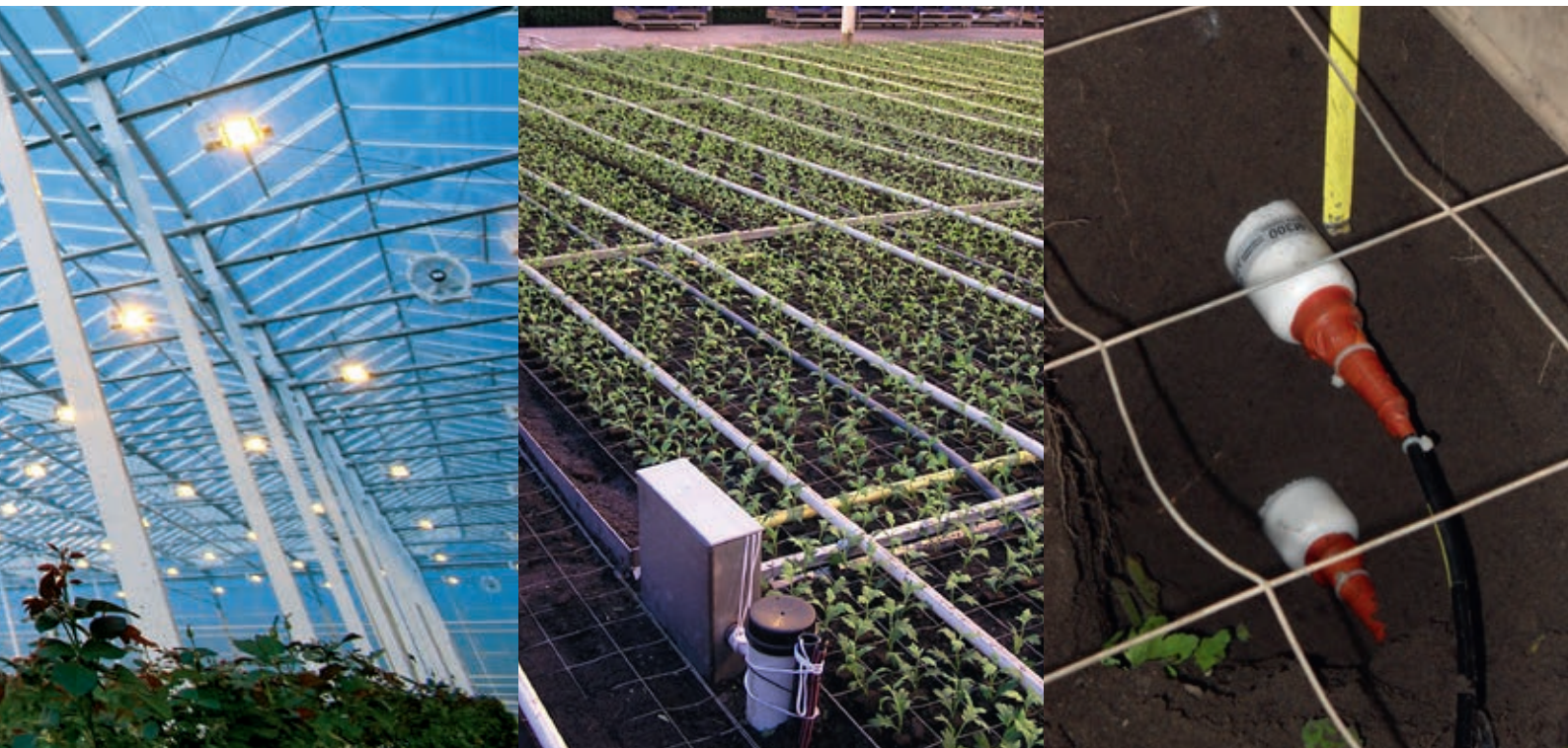




Ontwikkeling emissie-managementsysteem grondgebonden teelt; bodemvocht- sensoren en modulaire opbouw van het systeem.

Jos Balendonck¹, Wim Voogt¹, Aat van Winkel¹, Gert-Jan Swinkels¹, Hans Janssen¹,
Marius Heinen², Hennie van Dorland³, Frans Zwinkels⁴

¹ Wageningen UR Glastuinbouw ² Wageningen UR Alterra ³ Wageningen UR Afsg ⁴ Zwinkels projecten en advies



Referaat

'Glastuinbouw Waterproof - Grondgebonden' heeft een modulair emissie-managementsysteem opgeleverd waarmee telers hun water- en meststoffen gebruik kunnen optimaliseren naar een goed teeltresultaat en een minimale emissie. Kern van dit systeem is de lysimeter, waarmee dagelijks de werkelijke drainhoeveelheid gevolgd kan worden. Door bemonstering en analyse van de drain wordt de emissie van meststoffen inzichtelijk. Het systeem bevat naast de lysimeter, een drainmeter, bodemvochtgehalte sensoren en een beslissingsondersteunend systeem met modellen voor gewasverdamming en watertransport in de bodem. Teler kunnen kiezen welke modules ze naast de lysimeter willen toepassen, en ook hoe ze informatie willen inzien, op hun klimaatcomputer of via een externe dienst zoals Letsgrow.com. Bodemvochtgehalte sensoren zijn toegepast en geëvalueerd bij negen praktijktelers. Op basis van de resultaten is een specificatie opgesteld voor de beste keus, een marktverkenning uitgevoerd, een handleiding geschreven voor het gebruik, en zijn twee typen robuuste sensoren gekozen en in een pilot experiment getest. Met de lysimeter kunnen telers ervaring opdoen, en zo hun strategie op langere termijn aanpassen. Met sensoren kunnen ze trends in bodemvocht volgen en hun dagelijkse gietbeurten daarop aanpassen. Modellen geven de mogelijkheid om anticiperend te sturen en water te geven naar behoefte van de plant, gericht op voorkomen van emissies.

Abstract

Deze is bedoeld om op internet te plaatsen, maar zal ook in het definitieve rapport worden opgenomen 'Horticulture waterproof - soil based' has delivered a modular emission management system with which growers can optimize use of water and fertilizers to obtain a good quality crop and achieve minimum emission. The system core is a lysimeter, which measures actual daily drainage amount. By drainage sampling and analysis, the emission of fertilisers can be obtained. The system includes the lysimeter, a drain meter, soil moisture content sensors and a decision support system with models for crop evapo-transpiration and soil water transport. Besides the lysimeter, growers can choose which modules they use as well as how they want to view information, on their climate computer or via an external service such as Letsgrow.com. Soil moisture content sensors were evaluated in nine practical greenhouses. A market survey was done and a specification for the best choice and a user manual were written. Two types of robust sensors were chosen and tested in a pilot experiment. With a lysimeter growers can learn about their strategy and adjust it over time. With sensors they can follow trends in soil moisture and adjust their fertigation on a daily basis. Models make it possible to steer in a much more anticipating way according to the actual needs of the plant, aimed at preventing emissions.



© 2012 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
	1.1 Emissies grondgebonden teelt	9
	1.2 Innovaties	10
	1.3 Leeswijzer	11
2	Emissie Management Systeem	13
	2.1 Modulaire opbouw	13
	2.2 Robuuste lysimeter (optie 0)	14
	2.3 Robuuste drainmeter module (optie 1)	17
	2.4 Bodemvochtgehalte sensoren (optie 2)	19
	2.5 Modellen (Optie 3)	21
	2.6 Regenmeter en/of watermeters (optie 3a)	23
	2.7 Beslisboom voor modulaire opzet lysimeter	24
3	Data-acquisitie	25
	3.1 Koppeling met letsgrow.com	25
4	Resultaten en discussie	29
	4.1 Bodemvochtgehalte sensoren	29
	4.2 Regenmeter (optie)	40
	4.3 Drainmeter (eerste versie)	41
	4.4 Datakoppeling Letsgrow.com	41
	4.5 Koppeling met klimaatcomputer (overgang van onderzoek- naar praktijkstelsel)	42
5	Conclusies en aanbevelingen	43
6	Referenties	49
7	Bijlagen	51
	7.1 Marktverkenning sensoren	51
	7.2 Gebruikershandleiding bodemvochtgehalte sensoren	68
	7.3 Storingsfilter vochtgehaltesensoren	73
	7.4 Filterbeschrijving	74

Voorwoord

Dit achtergrondrapport is als tweede deel verschenen in de eindrapportage van het project 'Glastuinbouw Waterproof - Grondgebonden'. Het project werd gefinancierd door het Productschap Tuinbouw (PT, Zoetermeer) met subsidie van Agentschap NL (ministerie van Milieu & Infrastructuur) in het kader van de 2^e tender Regeling Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water. Het project is een samenwerkingsverband tussen onderzoeks- en kennisinstellingen en is ondersteund door een aantal partners vanuit de waterschappen en de tuinbouwtoelevering. De penvoering werd gedaan door het Productschap Tuinbouw, en de dagelijkse uitvoering vond plaats door de onderaannemers: Wageningen UR Glastuinbouw, Wageningen UR Alterra en LTO-Groei-service. De volgende partners maakten deel uit van het project: de waterschappen Rivierenland, Peel- en Maasvallei, Hollandse Delta en de hoogheemraadschappen Delfland, Hollands Noorderkwartier, daarnaast de tuinbouw toeleveringsbedrijven Hoogendoorn BV, Hortimax BV en Priva BV. Voor dit project was een begeleidingscommissie ingesteld; een voortzetting van de bestaande klankbordgroep uit de werkgroep emissienormen van het Platform Duurzame Glastuinbouw, aangevuld met enkele telers. De commissie bestond uit: Wouter Verkerke (vz) (WUR-glastuinbouw), Marianne Mul (Unie van Waterschappen), Guus Meijs (LTO Noord Glaskracht), Jolanda Schrauwen (Hoogheemraadschap Delfland), Martine Tieleman (gemeente Westland) Ruud Theunissen (min VWI), (Arno Krielen (Waterschap Rivierenland), Jos Ammerlaan (chrysantenteler, Bleiswijk), Jean Aerts (chrysantenteler, Venlo).

Experimenten werden uitgevoerd bij negen grondgebonden telers in de regio's Limburg, Brabant, Zuid-Holland. Op verzoek van de landelijke gewascommissies chrysanten- en sla/radijs zijn door het productschap tuinbouw nog twee kleinere aanpalende projecten gefinancierd om op een aantal extra chrysanten en een slabedrijf het systeem te implementeren en te testen. De resultaten van die projecten worden in deze rapporten ook integraal meegenomen.

Het project en was beoogd van januari 2010 t/m dec 2011. Echter door vertragingen bij de gunning, zowel bij Agentschap als bij de co-financier Productschap Tuinbouw is het project feitelijk pas in augustus 2010 gestart. Door verlenging kon worden doorgedaan met de implementatie, toepassing en toetsing tot en met juni 2012, daarna is nog een periode aan de rapportage gewerkt. Hoofddijn van het project was het ontwikkelen van een emissie-managementsysteem voor de grondgebonden teelten en dit vervolgens te toetsen in de praktijk.

De rapportage is gedaan op de vier hoofdlijnen in het project.

1. Ontwikkeling en testen van de lysimeter en bijbehorende drainmeter,
2. Ontwikkelen van een systeem voor de datacommunicatie en toepassing van bodemvochtsensoren
3. Toepassing van rekenkundige modellen in het emissie-management systeem
4. Toepassing van het emissie-management systeem op praktijkbedrijven.

De werkzaamheden waarover in deze rapporten wordt gerapporteerd zijn mede tot stand gekomen in samenwerking met de volgende personen:

Frank van der Helm, Jan Janse, Hans Janssen en Gert-Jan Swinkels, medewerkers WUR-glastuinbouw, Simone Verzandvoort, Willy de Groot, Gerben Bakker, Henk Vroon, Jan Wesseling, en Klaas Oostindie, medewerkers Alterra.

Jos Ammerlaan, Jaap van den Beukel, Jan van Dijk, Nico Enthoven, Henk Gommans, Hans van Helvoort, Peter Janssen, Frank de Koning, Erik Kuiper, Leo Verbeek, Harry Vousten, allen telers c.q bedrijfsleiders.

Margreet Schoenmakers, John van der Knaap, Aad Vernooy en Kees Zuidgeest, medewerkers LTO-groei-service.

De telers en bedrijfsleiders van de negen bedrijven worden bedankt voor hun gastvrijheid en medewerking

Samenvatting

De doelstelling van het project 'Glastuinbouw Waterproof - Grondgebonden' is een systeem te ontwikkelen en evalueren, waarmee telers in staat gesteld worden hun watermanagement te optimaliseren in teeltkundig opzicht en tevens hun emissie kunnen verminderen. Dit komt voornamelijk tot stand door hun meer inzicht te verschaffen in de waterstromen in de bodem. Centraal staat daarbij de lysimeter, een afgesloten bak gevuld kasgrond en geplaatst in een representatief teeltvak, waarmee de lokale waterbalans kan worden geregistreerd. Het volume van de in de tijd verzamelde hoeveelheid drainwater uit de lysimeter geeft de teler zijn werkelijke hoeveelheid drain (het waterspoor) en door bemonstering en analyse van deze drain kan hij tevens een indruk krijgen van zijn werkelijke uitspoeling van meststoffen (het nutriënten spoor). In het project zijn naast de lysimeter nog andere deelsystemen ontwikkeld om de teler de mogelijkheid te geven om nog meer met de informatie te doen die uit de lysimeter komt. Deze systemen zijn een automatische drainmeter, bodemvochtgehalte sensoren en modellen voor verdamping en watertransport in de bodem. De verzameling van al deze deelsystemen wordt een zogenaamd emissie-managementsysteem (EMS) genoemd. De opbouw van dit systeem is modulair gemaakt zodat telers, afhankelijk van hun eigen situatie en wensen, die onderdelen kunnen inzetten die zij zinvol achten voor hun watergift en meststoffenmanagement. Het EMS is een hulpmiddel voor telers om hun teelt te optimaliseren qua kwaliteit, opbrengst en water- en meststoffengebruik, in het licht van het minimaliseren van de emissie.

In dit rapport worden de verschillende onderdelen van het emissie-managementsysteem nader omschreven (de modulaire opbouw), en zullen de opties voor de toepassing van bodemvochtgehalte sensoren en de koppeling met de klimaatcomputer in detail besproken worden. De lysimeter, drainmeter en de modellen worden wel kort beschreven, maar de details worden daarvan in deel I en respectievelijk deel III besproken. In deel IV wordt de praktische toepassing van het systeem beschreven en kunnen telers handreikingen vinden (Best Practices) om hun gekozen systemen optimaal te benutten.

In de meest eenvoudige uitvoering zal de drain gemeten worden door een pomp te starten en het water op te vangen in een container en vervolgens het volume indirect te bepalen door weging. Van de teler vergt dit aandacht en de nodige arbeid. Met het doel de teler van deze taak te ontlasten is een automatische drainmeter module ontwikkeld welke iedere dag de hoeveelheid drain meet, en het resultaat door kan geven aan de klimaatcomputer. De afgepompte drain wordt opgevangen voor latere bemonstering of kan weer terugvloeien in het teeltbed. Een uitbreiding van de lysimeter met deze automatische drainmeter is voor telers optioneel (Optie 1). Met een lysimeter en bijbehorende drainmeter kan de teler inzicht in zijn werkelijke drain krijgen, om daarmee zijn watergeefstrategie te kunnen verbeteren. Een lysimeter reageert echter traag, in de orde van dagen. Telers kunnen de lysimeter daarom vooral gebruiken om gaande weg, over meerdere teelten, te leren wat de effecten van hun strategie zijn, om zodoende op termijn hun aanpak te optimaliseren.

Aanvullend kunnen bodemvochtgehalte sensoren in en buiten de lysimeter geplaatst worden. Vochtsensoren reageren veel sneller, en geven na een watergift snel weer of bodemlagen vernatten of juist uitdrogen. Met een dergelijke uitbreiding kunnen telers inter-actief op dagbasis hun gietbeurten (grootte en interval) zo afstemmen dat de drain minimaal blijft. Bodemvochtgehalte sensoren geven dus vooral trends aan. Deze uitbreiding is een tweede mogelijkheid om de lysimeter uit te breiden (Optie 2).

In het onderzoek zijn de laatste jaren positieve ervaringen opgedaan met elektronische bodemvochtgehalte sensoren, en daardoor is er internationaal ook veel belangstelling voor de toepassing in irrigatie management. Er is een enorm scala van sensoren op de markt beschikbaar, maar de kwaliteit daarvan, mogelijkheden en kostprijs varieëren enorm. Grondgebonden telers willen robuuste en betrouwbare bodemvochtsensoren die direct afleesbaar zijn op de klimaatcomputer en het normale teeltproces niet verstoren. Verder moet er een mogelijkheid zijn om voor de verschillende bodemtypen een juiste kalibratie in te kunnen stellen. Naast bodemvocht is het handig om ook de temperatuur en EC te kunnen meten. Op basis van de wensen van telers en de praktische ervaringen opgedaan met de sensoren gekozen voor het onderzoek, is een specificatielijst opgesteld welke door telers en installateurs geraadpleegd kan worden om voor de eigen toepassing tot de juiste keuze te komen. Daarnaast is gebleken dat veel telers en installateurs onbekend zijn met de toepassing van de sensoren, en is een gebruikershandleiding geschreven voor installatie, toepassing en onderhoud van bodemvochtgehalte sensoren.

Bij telers zijn proeven uitgevoerd met SM300 sensoren van Delta-T Devices, verkrijgbaar via Eijkelkamp Agrisearch BV (Giesbeek), welke uitleesbaar waren via LetsGrow.com. Deze sensoren hebben een relatief lage kostprijs (ca. €300). Sensoren moeten op een juiste wijze geplaatst, en na elke herplaatsing opnieuw gekalibreerd worden. Met sensoren is het daarom beter de trends te volgen dan te vertrouwen op de absolute meetwaarde zelf. Bij een aantal teelten is op de meetsignalen storing van plant- en oogstmachines gezien, evenals corrosie van de connectoren. Omdat daarnaast het ook niet eenvoudig was om met deze sensoren een directe koppeling met de klimaatcomputer te realiseren is gezocht naar andere (meer robuustere) sensoren, eventueel voor een hogere kostprijs, tussen de sensoren gevonden in de marktverkenning.

Een sensor die aan alle wensen en eisen voldoet is er niet op de markt. Met name de eis om bestand te zijn tegen stomen is een utopie. De TRIME PICO 64 van IMKO, verkrijgbaar via Eijkelkamp Agrisearch BV (Giesbeek) komt een aardig eind in de richting. Deze is robuust qua uitvoering, meet vochtgehalte, EC en temperatuur, heeft interne kalibratie en maakt een rechtstreekse koppeling met de klimaatcomputer mogelijk. De kostprijs is wel hoger (ca. €600). Met deze sensor is bij één teler aan het eind van het project een experiment uitgevoerd, dat nog voort duurt. Vooralsnog zijn de ervaringen positief, maar ook deze sensoren hebben mogelijk last van storing van plant- en oogstmachines.

Voor alle bodemsensoren blijft gelden dat ze niet stoombaar zijn en verwijderd moeten worden voor het stomen en diepe grondbewerking. Omdat met het verwijderen van losse ingegraven sensoren veel werk gemoeid is, ook een experiment gestart met een eenvoudig herplaatsbare prikstok (TerraSen, DACOM, Emmen). Eerste experimenten hebben laten zien dat deze sensoren goed werken, en betrekkelijk snel en eenvoudig te plaatsen zijn. Deze sensor werkt op een batterij met zonnepaneel, heeft zes meetpunten, is draadloos en heeft geen last van storingen. Een directe computerkoppeling is vooralsnog daarvoor niet beschikbaar, maar data wordt opgehaald van de DACOM- server en kan op de PC bekeken worden.

Daarnaast kan een teler nog besluiten om het systeem uit te breiden met een systeem dat hem ondersteunt bij het nemen van zijn beslissingen (Optie 3). Zo'n systeem werkt op basis van modellen welke de gewasverdamping en waterstromen in de bodem kunnen karakteriseren. Door de modellen ook te voeden met informatie van de klimaatcomputer (instraling, verwarming, watergiften e.d.) kan een totaalbeeld worden verkregen over de waterbalans in een kas. Door de toepassing van de modellen kan de teler ook veel eerder voorspellen wanneer er drain op zal gaan treden, bij welke beurtgroottes, intervaltijden en vochniveau's in de bodem. Hij kan daarmee dus anticiperend te werk gaan, en behoeft niet af te wachten wat het resultaat zal zijn van een of meerdere watergiften. Door te leren van dit beslissingondersteunend systeem kan hij de kennis opgedaan in het ene teeltvak ook gaan gebruiken voor het management van zijn andere teeltvakken.

Voor het uitlezen en presenteren van de resultaten van de meetsystemen is binnen het onderzoek gebruik gemaakt van de Letsgrow.com server, waar ook de klimaatdata van de telers rechtstreeks naar toegezonden werd. De data van de drainmeter, regenmeters en bodemvochtgehalte sensoren werd vier keer per dag opgehaald bij elke teler via een GSM-modem (Delta-T Devices), aangestuurd door een server bij Wageningen UR in Bleiswijk. Op deze zelfde server werden tevens één keer per dag de modellen gedraaid waarna de resultaten naar de Letsgrow.com server werden gestuurd. Op verzoek van de telers is voor alle drainmeters en de bodemvochtgehalte sensoren een directe koppeling met de klimaatcomputers gerealiseerd.

1 Inleiding

De algemene doelstelling van het project 'Glastuinbouw Waterproof - Grondgebonden' is systemen te leveren, waarmee de gebruiker (teler) in staat gesteld wordt meer inzicht te krijgen in de waterstromen in de bodem. Hiermee kan het watermanagement verbeterd worden uit teeltkundig oogpunt en/of kan de uitspoeling verminderd worden. Centraal in het project staat de lysimeter, een afgesloten bak in de kasgrond, waarmee de lokale waterbalans kan worden geregistreerd. Aanvullend kunnen watergehaltesensoren in en buiten de lysimeter gebruikt worden. De gegevens van de lysimeter en watergehaltesensoren zijn mogelijk op zichzelf niet altijd goed te interpreteren. Door de gegevens te koppelen aan overige informatie (klimaat, verdamping) kan een beter totaalbeeld worden verkregen over de waterbalans in een kas. Om dat koppelen te stroomlijnen is in het project 'Glastuinbouw Waterproof - Grondgebonden' er voor gekozen om een zogenaamd emissie-managementsysteem (EMS) op te zetten. De opbouw van dit systeem is modulair gemaakt zodat telers, afhankelijk van hun situatie en wensen, die onderdelen kunnen inzetten die zij zinvol achten voor hun fertigatiemanagement. Het EMS is een hulpmiddel voor telers om hun teelt te optimaliseren (kwaliteit, opbrengst en inputs water en meststoffen), in het licht van het minimaliseren van de emissie.

In dit achtergrondrapport worden de verschillende onderdelen van het emissie-managementsysteem nader omschreven in het licht van de modulaire opbouw, en zullen de opties voor de toepassing van bodemvochtgehalte sensoren en de koppeling met de klimaatcomputer in detail besproken worden.

1.1 Emissies grondgebonden teelt

De ecologische waterkwaliteit in het oppervlaktewater in glastuinbouwconcentratiegebieden voldoet nog lang niet aan de KRW doelen. De concentraties milieu-kritische stoffen als N, P en gewasbeschermingsmiddelen overschrijden vaak en vele malen de waterkwaliteitsnormen. De uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen vanuit glastuinbouwbedrijven is daarvan een belangrijke oorzaak. Bij de substraatteelten wordt de problematiek aangepakt via gesloten waterkringen. Voor grondgebonden teelten is die oplossingsrichting vaak niet mogelijk en ook niet effectief. Ondanks een grote omschakeling van grond naar substraatteelt in de afgelopen 30 jaar is er een stabiel areaal van circa 20% grondgebonden teelten. Bij deze teeltwijze is een beregeningsstrategie gericht op overschot gebruikelijk. Voor de meeste telers vormt de bodem een 'black box', en is gevoel en ervaring een belangrijke factor bij de uitvoering van beregening. Het gevolg is een ongecontroleerde uitspoeling van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen.

Een belangrijk uitgangspunt van het beleid is de verontreinigingen zoveel mogelijk bij de bron aan te pakken. Dit project richt zich volledig op dit uitgangspunt, door de watergift en bemesting af te stemmen op de behoefte van het gewas en zodoende de uitspoeling naar oppervlaktewater en grondwater te minimaliseren. De aanpak is telers te voorzien van een 'beslissingsondersteunend systeem'. De kern hiervan wordt gevormd door een lysimeter, een meetinstrument waarmee de omvang van de emissiestroom kan worden gemeten. De meetdata hiervan zijn op zichzelf al waardevol en kunnen door de teler gebruikt worden om zijn beregeningsstrategie aan te passen en daarmee emissiereductie te realiseren. Echter door de traagheid van het systeem is de lysimeter alleen onvoldoende. Door de data van de lysimeter samen met andere meetwaarden zoals bodemvochtmetingen te koppelen aan data uit de procescomputer die veel telers gebruiken en hiervoor software te ontwikkelen, ontstaat een krachtig instrument dat de 'black box' inzichtelijk maakt. Een dergelijk programma stelt een teler werkelijk in staat zijn watergift en bemesting af te stemmen op de situatie en de emissie te beheersen.

Het geheel van lysimeter, randapparatuur en software is in een praktijkexperiment getest (zie ook Voogt *et al.* 2012a; Heinen *et al.* 2012). Bij waterschappen met veel grondgebonden glastuinbouw zijn een of meer proefopstellingen geplaatst en geïmplementeerd via netwerken van regionale telersgroepen, waarin alle stakeholders vertegenwoordigd waren. In deze groepen is ook gewerkt aan bewustwording van de problematiek d.m.v. ontwikkeling van 'best practices' (Voogt *et al.* 2012b). De invoering van het systeem van emissie management zal aanzienlijk bijdragen aan vermindering van de concentraties nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen in het oppervlaktewater en zo de KRW doelstellingen in de waterlichamen van de betreffende waterschappen dichterbij brengen. Telers kunnen met het systeem bedrijfsemissies zelf managen en toewerken naar het doel van 'nul-emissie' dat de partners in het convenant Glastuinbouw en Milieu hebben afgesproken om de doelstellingen van de Nitraatrichtlijn en Kaderrichtlijn Water te realiseren.

1.2 Innovaties

In het project is robuust meetsysteem om de bedrijfseigen emissie te meten ontwikkeld. Daarnaast geeft het telers methoden in de hand waarmee ze de emissie zelf te beheersen is. De intensieve samenwerking tussen tuinbouwbedrijfsleven en waterschappen was een nieuwe werkwijze. Het ontwikkelde emissie management systeem is opschaalbaar voor de gehele grondgebonden glastuinbouw en leent zich ook voor toepassing in open teelten. De kern van het project heeft zich gericht op de volgende uitgangspunten:

- Robuust meetsysteem voor emissieproblematiek.
- Sturen op gemeten waarden in plaats van gevoel/ervaring.
- Gecombineerd beoordelen van data uit de lysimeter en bestaande sensoren met software.
- Nul-emissie van water en daarmee een reductie van de N,P-emissie.
- De meetgegevens maken de bedrijfsprestaties inzichtelijk voor de maatschappij.
- De meetgegevens maken de bedrijfsprestaties controleerbaar.
- De samenwerking telers / waterschappen wordt proactief vorm gegeven.

De huidige stand van zaken is dat grondteeltbedrijven globaal in twee categorieën te verdelen is. Enerzijds zijn er de verouderde bedrijven, die ook niet meer zullen innoveren en waarvan verwacht mag worden dat het grootste deel binnen enkele jaren zal zijn gesaneerd. Daarnaast zijn er moderne tot zeer moderne kapitaalintensieve bedrijven, met moderne apparatuur. Echter, slechts sporadisch gebruikt men beslissingsondersteunende middelen om de watergift af te stemmen op de gewasbehoefte. Gebleken is dat men vooral gebruik maakt van gevoel en ervaring, of vaste patronen. Ondanks dat het gebruik van tensiometers (een sensor om de waterpotential in de bodem te meten, wat een relatie heeft met het watergehalte) door bijvoorbeeld 'Groen Label Kas' wordt geadviseerd, worden deze niet gebruikt. Ook een modelmatige berekening van gewasbehoefte of het -verbruik, zoals een verdampingsmodel, wordt nog niet veel toegepast.

Er zijn diverse redenen waarom men geen gebruik maakt van vochtsensoren of andere meetbare parameters of een modelberekening. Voor sensoren c.q. tensiometers zijn het de volgende: de metingen zijn onbetrouwbaar, vertonen grote fluctuatie, zijn lastig te interpreteren en te vertalen naar de eigen bodem. Verder zijn de meters lastig te plaatsen en onderhoudsgevoelig (tensiometers). Met andere sensoren dan tensiometers is nog nauwelijks ervaring opgedaan, mede omdat ze tot nu toe erg kostbaar zijn. Modelmatige benadering van de bodemvocht toestand of de gewasverdamping vindt men onbetrouwbaar en is het resultaat te weinig tastbaar, maar hoogstwaarschijnlijk is men gewoonweg nog onvoldoende bekend met de mogelijkheden.

Vernieuwend in onze aanpak is dat watergift en bemesting worden losgekoppeld van subjectieve criteria en gestuurd gaan worden door meer objectieve criteria. Meer objectieve maatstaven voor de watergift zijn de modelmatige berekende waterbehoefte en gekoppeld daaraan de resultaten van de lysimeter. Metingen met vochtsensoren dienen ter aanvulling en fine-tuning, maar vooral als bevestiging voor de teler van de juistheid van de handelingen. Het gevolg is dat de watergift afgestemd wordt op de gewasonttrekking en daarmee de neerwaartse waterbeweging in het bodemprofiel en dus de drager voor emissie kan worden beperkt. Op deze manier wordt de al eerder genoemde 'black box', die de bodem voor veel telers is, in zeker opzicht meer inzichtelijk gemaakt.

Naast deze technische mogelijkheden is vooral van belang dat de ondernemer zich bewust is van de bedrijfseigen emissie. Daarvoor zijn de softwareprogramma's die in dit project werden ontwikkeld en vormgegeven van belang. Het vernieuwende in deze werkwijze is dat de teler gezeten achter de procescomputer de effecten van zijn handelingen m.b.t. watergift en bemesting in beeld gebracht ziet worden. Hij kan vervolgens de processen watergift en bemesting zo sturen dat hij de bedrijfseigen emissie kan 'managen'.

Ook op het terrein van de samenwerkingspartijen is dit project vernieuwend. Weliswaar heeft de glastuinbouw op sectorniveau nauw samengewerkt met waterkwaliteitsbeheerders, bijvoorbeeld in GLAMI verband, echter, tussen lokale waterschappen en individuele telers is dit altijd een moeizaam proces geweest. In dit project werden de krachten gebundeld in unieke samenwerkingsverbanden op lokaal niveau.

Dit document (deel 2) en ook de andere delen (1,3 en 4) uit een reeks "Ontwikkeling emissie-managementsysteem grondgebonden teelt", moeten de basis vormen waarmee externe partijen (toeleveranciers en installateurs) in staat zullen zijn om een lysimeter met bijbehorende randapparatuur te bouwen en operationeel te maken in de glastuinbouw bij grondgebonden teelten.

1.3 Leeswijzer

Telers hebben naast het aanschaffen van een lysimeter en drainmeter de keuze om ook bodemvochtgehalte sensoren of een beslissingsonderdersteunend systeem met modellen aan te schaffen. Met elk van deze modules krijgt de teler zo meer mogelijkheden in handen om zijn water- en nutriënten management te sturen. Hoofdstuk 2 beschrijft daartoe de modulaire opbouw van het emissie management systeem. Omdat de lysimeter, drainmeter en de modellen ook in deel I (Voogt *et al.* 2012) en deel III (Heinen *et al.* 2012) aan de orde komen, wordt in dit hoofdstuk meer aandacht besteed aan de sensoren.

Hoofdstuk 3 beschrijft de onderlinge koppelingen van de systemen (data-acquisitie) zoals die gebruikt zijn tijdens het onderzoek. Tevens laat dit hoofdstuk de overwegingen zien op basis waarvan bepaalde hardware gekozen is. Dit stuk gaat vooral in op de gebruikte hardware om de drainmeter, de sensoren en de regenmeter aan te sluiten; hoe de koppeling van deze hardware met een bij WUR-Glastuinbouw in Bleiswijk opgestelde server tot stand komt, en hoe uiteindelijk data zichtbaar wordt op de Letsgrow.com server. Niet beschreven wordt hoe klimaatdata van individuele telers in Letsgrow.com terecht komt of hoe Letsgrow.com werkt.

Hoofdstuk 4 geeft de resultaten van, en een discussie over, de toegepaste bodemvochtgehalte sensoren, maar ook de suggesties voor verbeteringen en voorlopige resultaten van de pilots uitgevoerd met geselecteerde robuustere sensoren. Daarnaast wordt ook ingegaan op de ervaringen met de regenmeter en de ontwikkelde infrastructuur van data-acquisitie. Door de verknoping van de drainmeter en de modellen met de data-acquisitie, worden in dit hoofdstuk ook zaken over de drainmeter en de modellen genoemd. Echter voor een uitgebreide discussie wordt verwezen naar de twee deelrapporten I (Voogt *et al.* 2012) en III (Heinen *et al.* 2012).

Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de conclusies en aanbevelingen vooral gericht op de sensoren en de data-acquisitie. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen zaken die telers, toeleveranciers en onderzoek betreffen.

In de bijlagen is een specificatielijst opgenomen welke gebruikt kan worden door telers of leveranciers om tot een geschikte keuze van bodemvochtgehalte sensoren te komen. Tevens wordt een (niet uitputtend) overzicht van op de markt verkrijgbare sensoren gegeven. Op basis van de specificatielijst is in het totale aanbod gezocht naar sensoren die grotendeels voldoen aan de specificaties. Voor twee zo geselecteerde robuuste sensoren zijn pilots opgezet bij twee praktijkbedrijven. Het toepassen van bodemvochtgehalte sensoren vergt de nodige achtergrond kennis. Kennis die a-priori niet bij telers, installateurs, adviseurs aanwezig behoort te zijn. In de Bijlage is een installatie- en toepassingsadvies voor bodemvochtsensoren opgenomen. Dit stuk kan als basis dienen voor de gebruikershandleidingen voor de door toeleveranciers te leveren sensoren.

2 Emissie Management Systeem

2.1 Modulaire opbouw

De emissie management systematiek is opgezet rond de toepassing van een nieuw te ontwikkelen lysimeter die geschikt is voor toepassing in de glastuinbouw. De werkgroep emissienormen heeft namelijk de hoop uitgesproken dat zo'n lysimeter geschikt zou kunnen zijn om emissie inzichtelijk te maken, om daarmee de uitspoeling tot nul te reduceren. De lysimeter zou een tool kunnen worden voor grondgeboden teelten om op termijn aan de eisen van de KRW-richtlijn te kunnen voldoen.

De toepassing van zuiver alleen een lysimeter zoals hierboven beschreven is (hier genoemd de nuloptie), was niet het hoofddoel van project 'Glastuinbouw Waterproof, grondgebonden'. Dit project richtte zich op het toevoegen van extra modules om ervoor te zorgen dat telers meer uit de lysimeter zouden kunnen halen. Daarbij kan naast efficiënter met water- en nutriënten omgaan, gedacht worden aan teeltsturing. Het totale samenspel van deze modules noemen we het "Emissie Management Systeem (EMS)". De extra modules zijn:

- DRAINMETER: Automatische pompmodule en koppeling met tuinbouwcomputer voor klimaat en berekening;
- SENSOREN: Toepassing van bodemvochtgehalte sensoren, gekoppeld aan de klimaatcomputer; en
- MODELLEN: Toepassing van modellen voor water- en nutriënten, een beslissingsondersteuningssysteem (DSS) gebaseerd op een gewasverdamingsmodel en een water/nutriënten bodemmodel. Deze modellen draaien op een centrale server welke via internet gekoppeld kan worden met de lokale klimaatcomputer van de teler.

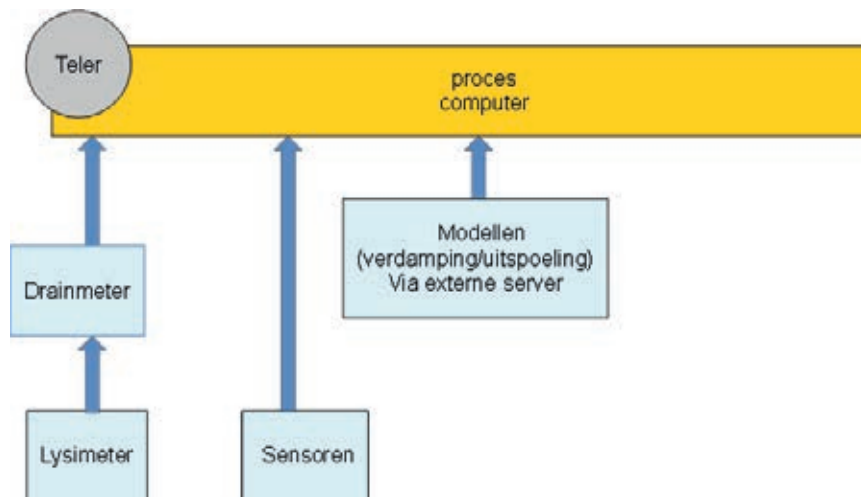
Op vrijwillige basis en naar believen, kunnen telers kiezen om één of meerdere modules aan de lysimeter (nuloptie) toe te voegen in de volgorde 1,2 en 3. Hoe meer opties de teler toevoegt, hoe meer mogelijkheden hij krijgt om zijn water- en nutriëntenmanagement te ondersteunen.

De hier geschetste modules zouden in principe los van een lysimeter toegepast kunnen worden. In dit geval wordt het emissie management uitgevoerd als een systeem dat "virtueel" de kas sluit, door een uitspoelingsmonitor te realiseren die alleen op basis van modellen en sensoren werkt (Balendonck, *et al.* 2008). Een dergelijk systeem zou in de praktijk ook net zo effectief kunnen werken als de toepassing van (of in combinatie met) een lysimeter. Echter, in dat geval heeft de teler (of andere instanties) geen enkele concrete controle mogelijkheid omtrent de werkelijke uitspoeling van water en nutriënten. Om die reden is deze optie niet meegenomen in het project 'Glastuinbouw Waterproof, grondgebonden', maar benoemen we deze optie (virtueel) wel als zodanig omdat deze naadloos samengesteld kan worden door toepassing van de modules Sensoren en Modellen. Schematisch kunnen de opties gekarakteriseerd worden als in Tabel 1. en Figuur 1. is aangegeven.

Tabel 1. Emissie Management Systeem: opties en modules.

Optie	Naam	LYSIMETER	DRAINMETER	SENSOREN	MODELLEN
0	Robuuste Lysimeter	X			
1	Robuuste Drainmeter	X	X		
2	Bodemvochtgehalte sensoren	X	X	X	
3	Modellen	X	X	X	X

In dit schema is de term “proces computer” gebruikt. In de glastuinbouw wordt deze term gebruikt om alle computers aan te duiden die processen sturen in de kas. Binnen dit project worden daarmee hoofdzakelijk de klimaat-, berekening- en mestdoseringcomputers bedoeld. De laatste twee samen worden vaak de fertigatiecomputer genoemd. De daadwerkelijke opzet in de praktijk verschilt per teler en vaak per toeleverancier, soms verenigd in één computer, soms in meerderen. Bij het implementeren in de praktijk van de lysimeter zal een en ander daarom altijd maatwerk zijn. Om kosten te besparen heeft het echter de voorkeur om bij de opzet van het systeem, zo uniforme mogelijke keuzen te maken. Daarmee wordt voorkomen dat er veel specifieke en verschillende soft- en hardware besturingen ontwikkeld zullen worden. Met betrekking tot de lysimeter en de drainmeter bestaat er nu één uniform en getest concept (Voogt *et al.* 2012a).



Figuur 1. Schematische weergave modulaire opzet.

Ten aanzien van de sensoren is er ontzettend veel op de markt beschikbaar en is het voor telers, maar zelfs voor toeleveranciers ondoenlijk om daaruit een goede keuze te maken. Daarvoor worden in dit rapport suggesties gedaan waarmee rekening gehouden kan worden bij het maken van keuzen.

Ten aanzien van de modellen is er nog geen concreet uitgekristalliseerd ontwerp voorhanden. Vooralsnog zijn de verdampings- en uitspoelingsmodellen gerealiseerd als een onderzoeksinstrument dat op een WUR-server draait en via Letsgrow.com ontsloten kan worden (zie Heinen *et al.* 2012). Het schema is getekend voor één lysimeter, maar de LetsGrow.com- en WUR-server kunnen meerdere telers als ook meerdere lysimeters per teler aansturen.

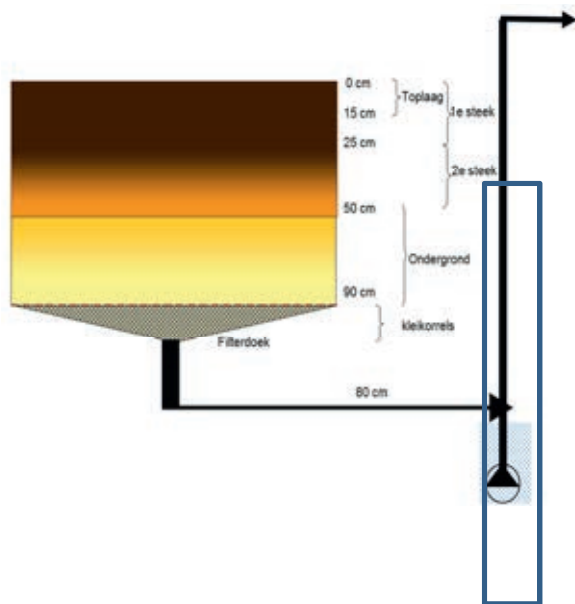
Achtereenvolgens worden nu de verschillende opties toegelicht.

2.2 Robuuste lysimeter (optie 0)

De lysimeter is een instrument dat al lang in landbouwkundig wetenschappelijk onderzoek wordt toegepast (Weihermüller *et al.* 2007). Hiermee worden water en opgeloste stoffen op een gewenste diepte beneden de wortelzone opgevangen. Lysimeters zijn meestal onderdeel van wetenschappelijke onderzoeksprojecten.

In feite is het niet anders dan een grote bak met grond waarin planten worden geteeld en waarbij men de watergift en het verlies aan water, hetzij via drain hetzij via gewichtsafname bepaalt. Er zijn al meldingen uit het midden van de 16^e eeuw, waar wetenschappers de wateropname van planten hebben gemeten met een dergelijk apparaat. In de loop der jaren is de term “lysimeter” ontstaan, voor alle apparaten en meetopstellingen waarmee de neerwaartse beweging van water in de bodem, het verlies aan nutriënten, of het (evapo-)transpiratieverlies kan worden gemeten. Voor de werking van de lysimeter zijn een aantal uitgangspunten uit de bodemfysica van groot belang. Voor een gedetailleerde beschrijving daarvan wordt verwezen naar Voogt *et al.* (2012a).

Met een lysimeter kan de uitspoeling vanuit de teeltlaag worden opgevangen, gemeten, bemonsterd en geanalyseerd. Tot nu toe was er nog weinig praktijkervaring, en onvoldoende kennis beschikbaar over de representativiteit van de lysimeter en de betrouwbaarheid van de lysimeter met betrekking tot de gemeten emissie van water, stikstof (N) en fosfor (P). In een aantal voorlopende projecten is onderzocht of de lysimeter een betrouwbaar instrument is om de bedrijfseigen emissie te meten zou kunnen zijn.



Figuur 2. De lysimeter.



Figuur 3. De lysimeter (optie 0) voor en na plaatsing.

Lysimeters zijn in het landbouwkundig wetenschappelijk onderzoek gebruikte meetinstrumenten, vooral ingezet voor waterbalansstudies. Eind 2007 is het idee gelanceerd om emissie te meten in glastuinbouwsituaties en zijn enkele projecten uitgevoerd. Op een aantal bedrijven is sinds medio 2008 geëxperimenteerd met deze nieuwe toepassing van de lysimeter (Voogt *et al.* 2009). Deze projecten zijn bedoeld om een geschikt prototype voor de lysimeter te ontwikkelen. Op verzoek van de werkgroep emissienormen van GLAMI is eerder in opdracht van LNV door Alterra/WUR-glastuinbouw een project uitgevoerd waar met behulp van bodemkundige modellen de randvoorwaarden voor een lysimetersysteem werden verkend (Bakker *et al.* 2010). Hiermee werd o.a. de representativiteit van metingen duidelijk.

Met resultaten van bovengenoemde projecten is in dit project een prototype (TNO) voor een verbeterde lysimeter ontwikkeld (aansluiting van een beweegbare bovenrand tot maaiveld). Deze lysimeter werd in september 2010 in Bleiswijk geïnstalleerd en getest. Deze lysimeter is 2 x 2 m² met een diepte van 80 cm. De onderbak is gemaakt van polypropyleen. De beweegbare bovenrand is van een RVS materiaal en kan zakken zodat groundbewerkingen in de bouwvoor (tot 25 cm diep) kunnen worden uitgevoerd. Het concept bleek voor de telerspraktijk niet geschikt en er is vervolgens in korte tijd een nieuwe robuuste lysimeter ontwikkeld met een afneembare losse bovenrand van RVS. Deze robuuste lysimeter is begin 2011 bij 9 telers geïnstalleerd, en is sindsdien geëvalueerd.

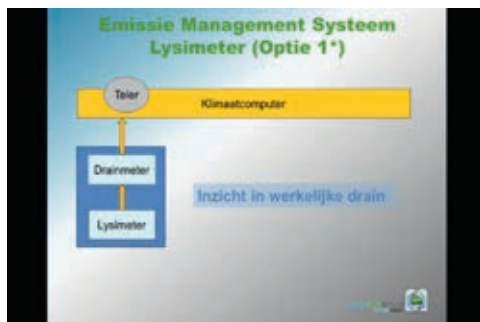
Het doel van de lysimeter is om de teler inzicht te verschaffen in de werkelijke uitspoeling (volume en concentratie). Het systeem heeft wel beperkingen in de zin dat de uitspoeling (drain) zich alleen manifesteert op de langere termijn (één tot enkele weken) en dat de meting lokaal werkt, en in principe geen informatie verschaft over andere locaties of teeltvakken in de kas.

De lysimeter hoeft in principe in dit geval niet specifiek over uitgebreide faciliteiten (automatische pompaansturing, modellen, sensoren, computer aansturing, data opslag via internet) te beschikken, maar moet wel controleerbaar de uitspoeling registreren, bijvoorbeeld door middel van een handbediende pomp en een jerrycan. Deze optie zal de meest goedkope optie zijn die door toeleveranciers geleverd kan worden. De toepassing van alleen een lysimeter noemen we de nuloptie. Een gedetailleerde beschrijving van de robuuste lysimeter is gegeven in Voogt *et al.* (2012).



Figuur 4. Drainpomp, bemonsteringsvat, bediening voor een drainpomp.

2.3 Robuuste drainmeter module (optie 1)



Als eerste uitbreiding op de lysimeter zal een teler kiezen voor een systeem dat de drain automatisch kan meten, en de informatie beschikbaar stelt via de klimaatcomputer. Belangrijke criteria voor het ontwerp van een drainmeter zijn het rekening houden met de inpasbaarheid in de teelt, met name de beperkingen die er zijn ten aanzien van de beschikbare ruimte in de smalle tussen ruimten tussen teeltbedden en in relatie tot de teelthandelingen (planten, oogsten) en bewegende infrastructuur (b.v. schermen). Daarnaast moet de drainmeter robuust en betrouwbaar zijn, een eenvoudig ontwerp en vooral bereikbaar voor service en bediening. Om die reden zal de drainmeter veelal dicht bij het middenpad gemonteerd worden, op enige afstand van de lysimeter, die samen met de drainpomp verderop in het teeltbed is gepositioneerd.

De drainmeter bestaat uit een zelf aanzuigende pomp (zie Figuur 5.) welke het drainwater vanuit de drainkoker bij de lysimeter kan verpompen naar een meetkoker (nabij het pad). M.b.v. de meetkoker kan het afgepompte volume worden bepaald d.m.v. een hoogtemeter (ultrasone afstandsmeter). Het verzamelde water in de meetkoker wordt (na meting) door een tweede pomp afgepompt naar een bemonsteringsbuis (in de grond) of kan weglopen naar een afvoer. De verhouding van deze laatste twee stromen kan handmatig ingesteld worden al naargelang het te verwachten volume drainwater. Een PLC-unit (Programmable Logic Controller) bestuurt het proces. De hoeveelheid (ml, cm³) verpompt water wordt per meetcyclus vastgelegd. De meetbuis heeft een diameter van ongeveer 90 mm, een effectieve meetlengte van ca. 900 mm, en de meetresolutie van de US-afstandsmeter is ca. 1mm. Daarmee komt de meetresolutie op ongeveer 6 ml, wat ruim voldoende is voor de dagelijkse drainmeting. Indien er meer water in de drainput aanwezig is dan met 1 meetcyclus kan worden gemeten, zal de PLC extra meetcycli inlassen totdat de pomp geen water meer uit de drainput oppompt. Standaard staat de PLC ingesteld op 1 maal meten per dag, waardoor de drainflow dus in ml/dag bepaald kan worden. Omdat telers graag de drainflow uitgedrukt willen zien in mm/dag moet dit getal door de PLC nog omgerekend worden met een factor voor het oppervlak (ca. 3.6 m²) van de lysimeterbak. De PLC stuurt na iedere cyclus dit getal uit in de vorm van een aantal pulsen via een schakelcontact. De drainmeter gedraagt zich dus eigenlijk als een soort watermeter of literteller. Het totaal gemeten volume per dag, is dan de maat voor de uitspoeling. Dit laatste bepaalt de procescomputer door de drainpulsen te sommeren per dag. Het maximale beregeningsoverschot waar we rekening mee houden is 5 mm per dag. Voor een lysimeter oppervlak van 3.6 m² levert dat dus een maximale flow op van ca. 20 liter per dag. De robuuste drainmeter heeft bevat bij een volle buis ca. 5.1 liter (80 cm bij een doorsnede van 9 cm). Een drain van 5 mm per dag is dus in ongeveer 4 pompacties per dag af te pompen. De drainmeter module heeft een directe koppeling met de procescomputer. In de kas kan de teler de cumulatie van de drain volgen op een display, geeft in 0.01 mm. Op de procescomputer kan de teler de uitspoeling zichtbaar maken en hiermee een relatie zien met zijn beregening.

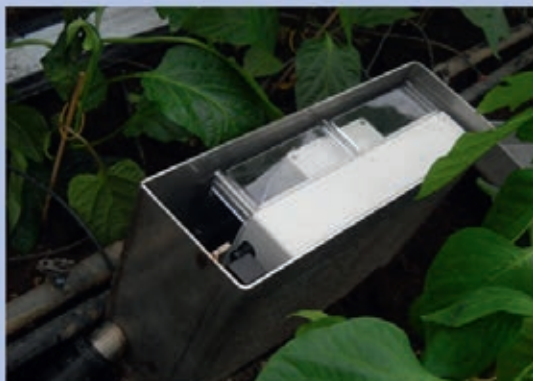


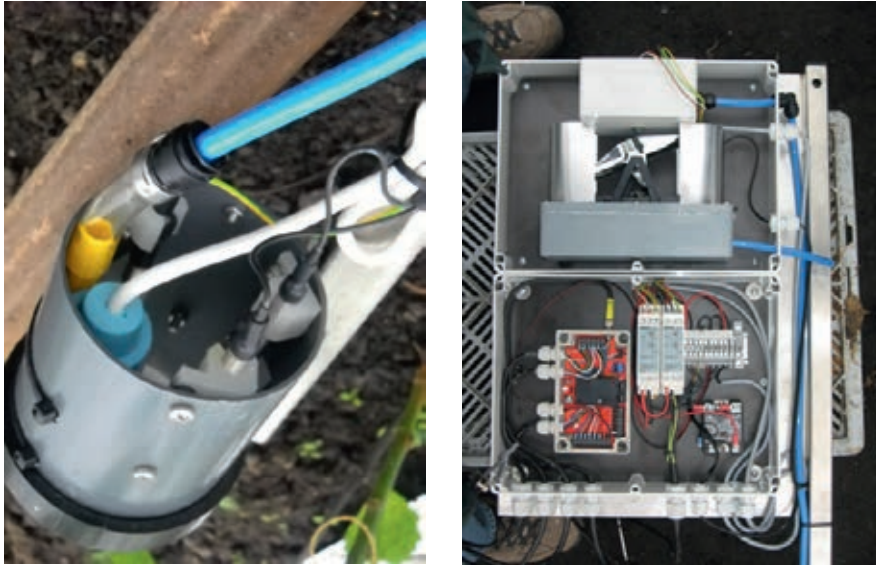
Figuur 5. De robuuste drainmeter (optie 1).

De boven beschreven robuuste drainmeter is ontstaan na ervaring opgedaan te hebben met een eerder ontwerp van de drainmeter. Op basis van deze evaluatie zijn de functionele eisen van de robuuste drainmeter samengesteld, en is uiteindelijk de robuuste drainmeter ontworpen en gebouwd. Een volledige beschrijving van de robuuste drainmeter wordt gegeven in deel I (Voogt *et al.* 2012a). Voor de volledigheid wordt hier ook kort de eerste drainmeter module beschreven zoals die in het onderzoek bij de negen telers is geïnstalleerd en geëvalueerd.

De “eerste” drainmeter

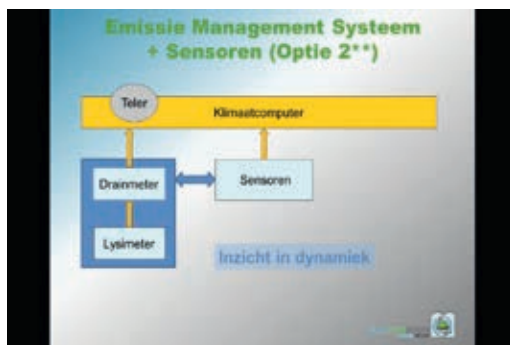
Bij het ontwerp van de “eerste” drainmeter is met name gekozen voor een drainmeter die onder de grond tussen de teeltbedden was weggewerkt om zo de teelthandelingen in de kas niet te kunnen verstoren. De drainmeter (gebaseerd op een regenmeter kiepbakje concept), de aansturing, maar ook de data-acquisitie unit voor de bodemvochtgehalte sensoren werden ondergebracht in twee kunststof elektro kasten gemonteerd op een RVS plaat, en voorzien van een RVS arm met daarop de drainpomp (dompelpomp, 24V) met niveauschakelaars (zie foto's). De gehele module werd in een rechthoekige RVS koker geschoven welke in de grond was ingegraven en aan de voet verbinding had met de drain uitloop.





Figuur 6. "Eerste" drainmeter module, gebruikt voor onderzoek en evaluatie bij negen telers.

2.4 Bodemvochtgehalte sensoren (optie 2)



Het hydrologisch proces van de lysimeter is erg traag. Veranderingen in giften en waterbeurten zijn vaak pas na vele dagen of weken zichtbaar in de bemonstering van de lysimeter. Daarnaast blijkt de data van de lysimeter vaak onderhevig aan drift (cumulatieve fouten). Management op basis van deze data is dus eigenlijk pas over langere termijn (leerproces) mogelijk. Verder is er door het streven naar een nul-emissie en de daarmee te verwachten vermindering van de watergift, sprake van een toename van het risico voor teeltproblemen door verzilting en ophoping ongebruikte meststoffen. Telers zullen daarom beter geïnformeerd willen worden over de actuele vochtsituatie in het profiel.

Sensoren die het vochtgehalte en eventueel de EC meten in het bodemprofiel vervullen dan belangrijke aanvullende functie op de lysimeter/drainmeter combinatie. Na een uitbreiding met de drainmeter module, zullen telers een volgende stap willen maken door vochtsensoren te plaatsen in hun teeltbed op verschillende diepten. In het onderzoek zijn er de laatste jaren positieve resultaten met nieuwe, elektronische sensoren opgedaan.

Vochtsensoren geven het verloop van het watergehalte in de bodem (trends). Telers krijgen een beter inzicht in het verticale water profiel na een gietbeurt, wat een eerste indicatie voor mogelijke uitspoeling zou kunnen zijn, maar wat zeker bijdraagt aan de bewustwording over uitspoeling.

In theorie werkt de lysimeter optimaal als het grondwater op hetzelfde niveau zit als de onderkant van de bak. Maar dat zal niet altijd het geval zijn. Daarnaast geldt nog dat capillaire opstijging vanuit het grondwater in de lysimeter niet mogelijk is. Om die redenen is het zinvol om in de lysimeter én buiten de lysimeter het watergehalte te bepalen op gelijke diepten. Indien er verschillende watergehalten gevonden worden, kan dit een indicatie zijn dat de lysimeter geen representatieve informatie over de rest van de kas geeft. De sensorwaarden kunnen dan gebruikt worden om de interpretatie van de lysimeter metingen te ondersteunen.

Bodemvochtgehalte sensoren dienen bij voorkeur op meerdere diepten geplaatst te worden, tenminste op twee diepten: in de wortelzone en onder de wortelzone. Deze sensoren reageren instantaan op veranderingen van het vochtgehalte in de bodem. Op basis van dit type sensoren kunnen telers dus extra informatie verkrijgen om op dag of zelfs uurbasis beslissingen te nemen over hun water en nutriëntengiften. Let er wel op, zij geven niet aan wat de absolute uitspoeling (b.v. in mm/dag) of wat de werkelijke uitspoeling van nutriënten in $\text{kg/m}^2/\text{dag}$ is. Wel kunnen zij een snelle en vroegtijdige indicatie (waarschuwing) geven of er uitspoeling is, of gaat optreden. Dat dient te geschieden door te kijken naar de trends in watergehalten en de elektrische geleidbaarheid (EC) in de bodem. De EC kan altijd door middel van bemonstering bepaald worden met een 1 op 2 extract bepaling (Sonneveld en Voogt, 2009). Aanvullend (extra optie bij sensoren) kan een teler ook kiezen voor sensoren die tegelijkertijd ook temperatuur en of EC kunnen meten. Deze sensoren worden vaak aangeduid als WET-sensoren (Hilhorst, 1998). Het meten van de temperatuur wordt daarbij voornamelijk gebruikt om een eventuele correctie op de EC-meting te kunnen uitvoeren.

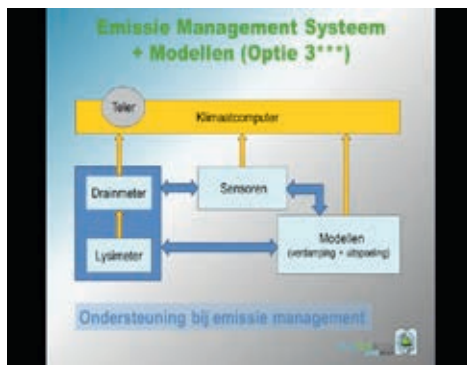


Figuur 7. Toegepaste bodemvochtgehalte sensoren in het project.

Bij de keuze van de sensoren is gebruik gemaakt van een lijst met functionele eisen en gebruikerswensen. Deze lijst is opgenomen in de bijlagen. Voor het onderzoek is gekozen om de SM300 (DeltaT-Devices) te gebruiken (zie figuur, links). Deze sensoren waren de opvolgers bij DeltaT-Devices (verbeterde afdichting connector, temperatuurmeting) van in eerder onderzoek gebruikte SM200's, en hadden een acceptabele prijs (ca. €300). Hiervan zijn er 6 stuks bij alle 9 telers geïnstalleerd. Na evaluatie zijn van deze sensoren is nogmaals naar de specificaties gekeken en is toegelaten dat de sensoren een hogere prijs konden hebben, maar aantoonbaar robuuster zouden werken. Twee volgende typen sensoren getest zijn geselecteerd en geïnstalleerd als pilot telkens bij één teler. Dit waren de Trime Pico (Eijkelpark Agrisearch BV) en de DACOM prikstok (zie Figuur midden en rechts).

In de bijlagen een toelichting opgenomen voor de installatie en het gebruik van sensoren.

2.5 Modellen (Optie 3)



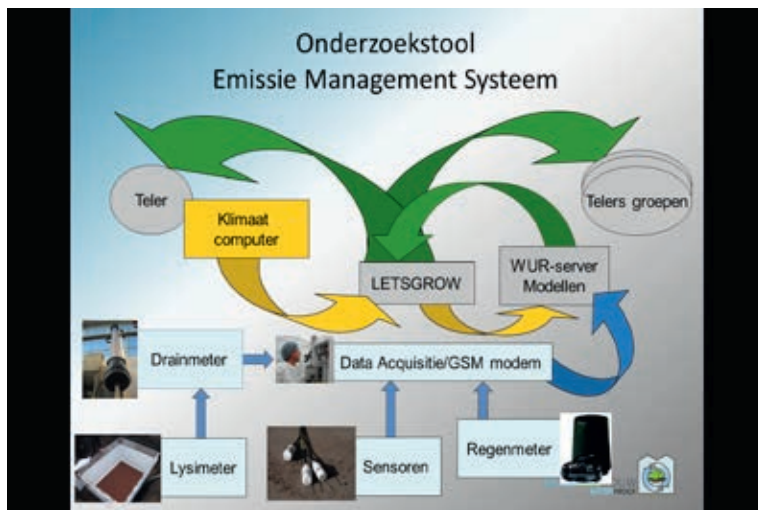
Op moderne glastuinbouwbedrijven wordt uitsluitend gebruik gemaakt van geautomatiseerde systemen voor klimaat- en water/nutriëntenregeling. Telers raken meer en meer vertrouwd met, maar hebben ook behoefte aan, systemen die hun helpen alle bedrijfsinformatie te vertalen in begrijpelijke vorm en desgewenst nog verder vertalen naar concrete management adviezen. Ook voor ondersteuning van telers voor hun emissie management is kunnen telers kiezen voor uitbreiding met zo'n beslissingsondersteunend systeem (in het Engels: Decision Support System, DSS). Zo'n DSS vormt samen met de andere opties, lysimeter, drainmeter en sensoren, het ultieme Emissie Management Systeem.

Een DSS bevat modellen die de onderliggende processen in hun kas, zoals de verdamping van het gewas en de waterstromen in de bodem, beschrijving en vastleggen in rekenregels in een computer code. Op basis van die modellen kan de teler (met de juiste gebruikersinterface) dan scenario's door laten rekenen en desgewenst voorspellen of een bepaalde beregeningsactie al of niet zal leiden tot uitspoeling. Zo kan de teler dus op voorhand zijn acties zo plannen dat het beoogde resultaat (in dit geval nul-emissie) gehaald kan worden. Deze optie stelt de teler dus in staat om eerder in het proces in te grijpen. Met de lysimeter alleen kan hij pas na enkele weken reageren op een te hoge drain; met de sensoren kon hij al op da basis bekijken wat er na een gietbeurt gebeurt; maar, met modellen kan hij gericht op voorhand dus de juiste keuzes maken. "Voorkomen is beter dan genezen", is hier de leuze.

Steeds vaker maken telers gebruik van faciliteiten om het management te ondersteunen door via internet toegang te hebben tot centrale computers welke zorgen voor dataopslag, -verwerking en -presentatie en advisering. Voordelen daarvan zijn dat procesinformatie overal en altijd beschikbaar is via internet, ook vanaf een andere locatie dan de kas zelf (meerdere locaties, tuinbouw advisering, onderzoek e.d.). Een ander voordeel is dat wanneer telers gebruik maken van complexe management- en rekenmodellen, die door derden geleverd worden en ook onderhouden, altijd up-to-date toegankelijk kunnen zijn op de externe (één centrale) computer. Veel tuinbouw toeleveranciers bieden deze faciliteit aan, of nemen dit op in hun pakket.

Binnen dit project is gebruik gemaakt van de faciliteiten van www.LetsGrow.com als platform om alle data van alle telers op te slaan en te ontsluiten. De DSS zelf bestaat uit een aantal modules (modellen en rekentools) ontwikkeld door Wageningen-UR (zie: Heinen *et al.* 2012) welke op een WUR-server draait. In de volgende Figuur is een schematisch overzicht gegeven van het totale EMS zoals tijdens het onderzoek het systeem gebruikt is. Daarin is aangegeven hoe de DSS samenwerkt met de LetsGrow.com database en de drainmodule, klimaatcomputer en de sensoren. Gedurende het onderzoek zijn de gegevens van de drainmeter, regenmeter, sensoren rechtstreeks binnengehaald in de WUR-server (via een analoge modem verbinding, Delta-T Devices), en telkens na controle weer doorgestuurd naar Letsgrow.com (4x per dag). De klimaat data van de klimaatcomputers werd via de standaard wijze (aanpak verschillend per type klimaatcomputer) rechtstreeks doorgestuurd naar Letsgrow.com.

De telers binnen het project hebben de wens geuit om de drainmeter, regenmeter en bodemvochtsensoren rechtstreeks via hun klimaatcomputer te kunnen inzien. Om die reden is aan het eind van het project een actie ondernomen om voor deze systemen de weg via de WUR-server en Letsgrow.com te ontkoppelen en een directe koppeling met de klimaatcomputer te realiseren. In de toekomst zal de DSS op de WUR-server zich dan toegang tot de benodigde input data moeten verschaffen via een andere route, bijvoorbeeld de standaard weg via Letsgrow.com. Ten aanzien van de DSS en de internet koppeling moeten nog een groot aantal stappen binnen het onderzoek worden gezet. De juiste routes zijn nog niet vastgelegd en zullen ook afhangen van de manier waarop toeleveranciers en derden deze methodiek zullen oppakken. De achterliggende systematiek zoals hier gepresenteerd is echter zo universeel dat ook andere toeleveranciers van internet databases deze kunnen toepassen. Dit is ook gewenst omdat de toeleveringsmarkt voor de glastuinbouw erg divers is en de KRW-doelstellingen voor alle grondteelten realiseerbaar moeten zijn.



Figuur 8. Schematische weergave dataverkeer Emissie Management Systeem.

Telers hebben vaak meerdere teelten op hun bedrijf staan in verschillende fases, zoals bijvoorbeeld in de chrysantenteelt. De watergift in die teeltvakken kan dan niet 1-op-1 gekopieerd worden van het teeltvak waar de lysimeter staat. Vanwege de hoge investerings- en onderhoudskosten kunnen sensoren en lysimeters ook maar in één of hooguit enkele teeltvakken geïnstalleerd worden. Het emissie management-adviesstelsel biedt dan de mogelijkheid om modellen voor gewasverdamping en bodemuitspoeling (optie 3) in te zetten in de teeltvakken zonder monitoring. De kennis die de teler opdoet in het vak met de lysimeter/drainmeter en de vochtsensoren kan ingevoerd worden in die modellen in parametervorm, waardoor ook de andere teeltvakken optimaal gefertigeerd kunnen worden. Het verdampingsmodel zal dan synchroon meelopen met de teeltfase in de betreffende andere teeltvakken.

In het onderzoek is wel aangetoond dat het kalibreren van het verdampingsmodel op basis van op langere termijn gemeten drain, een goede mogelijkheid biedt om een beter water management bij andere gewasstadia te realiseren, in die teeltvakken waar geen lysimeter of sensoren staan (Heinen *et al.* 2012).

Samenvattend kan gezegd worden dat met het DSS de teler water kan geven naar behoefte van de plant (verdampingsmodel) en dat hij zijn emissie inzichtelijk kan maken door verschillende watergeefstrategieën vooraf te evalueren (scenario's met bodemmodel). Ook is het mogelijk om de werking van de lysimeters en de sensoren te controleren door de watergehalten in het bodemprofiel en de drain uit te rekenen met het bodemmodel.

2.6 Regenmeter en/of watermeters (optie 3a)

Voor een juiste bepaling van het beregeningsoverschot (potentiële indicatie voor uitspoeling en waterberging in de grond) is het noodzakelijk de exacte waarde voor de beregening en de verdamping te weten. De verdamping wordt met een model bepaald waarbij de instraling en de buisverwarming als input dienen, welke beschikbaar zijn vanuit de klimaatcomputer. De beregening is in principe ook vanuit de klimaatcomputer beschikbaar, maar dit geeft in de praktijk mogelijk niet de exacte beregening ter plaatse van de lysimeter weer, mogelijk door variaties in het beregeningssysteem (controle homogeniteit). Sommige telers willen daarom een terugkoppeling in de vorm van een regenmeter, welke bij de lysimeter geplaatst kan worden. Deze regenmeter zal dan op de klimaatcomputer aangesloten moeten worden.

Een regenmeter kan niet bij alle telers gebruikt worden. Bijvoorbeeld niet bij teelten met druppelslangen. In dat geval moet de teler toch teruggrijpen op zijn waterverbruik geregistreerd m.b.v. elektronische watermeters. Een mogelijk nadeel van regenmeters in de kas is de kans op vervuiling van de verzamelbeker (stof, zand, gewasresten e.d.). Telers zullen dus aandacht moeten hebben voor het onderhoud van hun regenmeter.

De regenmeters worden gemonteerd op de buisverwarming, zodat deze met het gewas omhoog lopen en altijd op gewashoogte blijven meten. Omdat de regenmeters met een kabel aangesloten zijn, moet erbij herplaatsen en omhoog gaan opgelet worden dat deze kabel niet storend werkt bij de schermen die vrij omhoog en omlaag moeten kunnen.

Regenmeters hebben als uitgang een maak-contact (reed contact) en geven één puls af per verzameld volume in een kiepbakje. Voor de gebruikte regenmeter was dit 5.44 ml/puls of ook wel 0.254 mm/puls (1 mm = 1 L/m²). De kalibratie van de regenmeter is afhankelijk van de grootte van de waterstroom. Het controleren van deze regenmeters (kalibreren) is daarom zeker vereist, maar ook onder de juiste bedrijfsomstandigheden.



Figuur 9. Regenmeter (links) van: DAVIS, Rain Collector II, 7852 (zie manual), elektronische watermeters (rechts) een voorbeeld.

Belangrijk voor een goed water management is het homogeniseren van de watergift. De telers moet daarbij niet alleen bij aanschaf terdege rekening houden, maar ook regelmatig zijn watergeefstelsel controleren.

2.7 Beslisboom voor modulaire opzet lysimeter

Uiteindelijk is het aan de teler om te beslissen welke modules hij naast een eventuele aanschaf van de lysimeter zal aanschaffen. Binnen het project is gebruik gemaakt van een EMS dat geschikt was voor onderzoeksdoeleinden. Aan het einde van het project is een aanzet gemaakt om de uitgerolde systemen bij de negen telers voor te bereiden op een praktijk situatie, in ieder geval voor de lysimeter, drainmeter en waar mogelijk voor de sensoren. Een volledig gewenste en nagestreefde situatie is niet bij alle telers (nog) gerealiseerd. In bijgevoegde tabel, een schematisch overzicht van de verschillende opties die telers hebben, of overgangs- of streefsysteem configuraties er zijn.

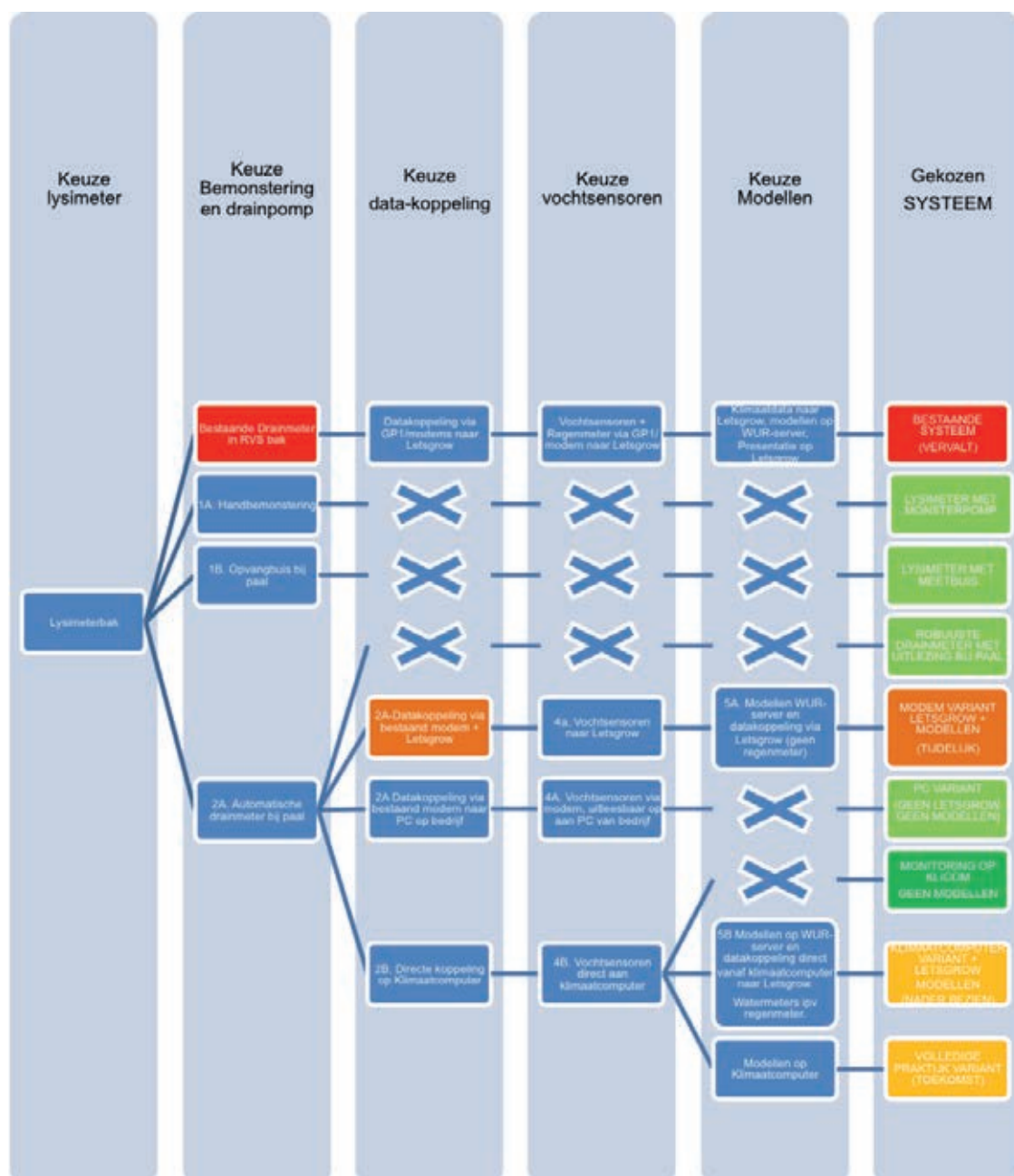
Tabel 2. Beslisboom voor modulaire opzet lysimeter.

ROOD : NIET MEER ONDERSTEUND

ORANJE: TIJDELIJKE VARIANT (AFBOUWEN MODEM KOPPELING NAAR LETSGROW

GROEN: OPTIES VOOR KRW-TELERS (STREEF SITUATIE BIJ AFRONDING KRW-PROJECT

GEEL: OPTIES VOOR PRAKTIJKLYSIMETER IN DE TOEKOMST



3 Data-acquisitie

Bij aanvang van het project zijn de lysimeter, drainmeter en sensoren getest onder onderzoek omstandigheden in de kas van Wageningen-UR Glastuinbouw in Bleiswijk voor een aantal grondteelten (sla, bloemen e.d.). Voor de koppeling van deze systemen aan de WUR-computer/Letsgrow.com server is daarbij gebruik gemaakt van standaard WUR-faciliteiten en dataloggers (meetboxen). Bij de negen telers lag het niet zo maar voor de hand om exact diezelfde infrastructuur te kopiëren, maar was het zaak om gebaseerd op prijs/prestatie een goede keuze te maken, die ook nog na het project tot eenvoudige marktintroductie zou kunnen leiden. Bij het maken van de keuze moest daarbij wel rekening gehouden worden met de wensen vanuit het onderzoek en het beschikbare project budget.

3.1 Koppeling met letsgrow.com

Tijdens de uitvoering van het project was het essentieel dat alle informatie die bij telers verzameld werd, door onderzoekers en ook andere meekijkende telers in te zien zou zijn. De gemeten en berekende waarden kunnen in Letsgrow.com opgeslagen worden. Voor dit centrale platform is binnen het project gekozen, hoofdzakelijk omdat WUR en veel telers al ervaring mee hadden, maar ook omdat Letsgrow.com aan alle benodigde faciliteiten koppelingen van de klimaatcomputers (Hoogendoorn, Hortimax en Priva) kon voldoen. Ook was er bij WUR al voldoende kennis aanwezig om de koppeling van de WUR-server voor de modellen te realiseren.

Een koppeling voor specifieke componenten zoals de lysimeter/drainmeter, de vochtsensoren en de regenmeter bestond er echter nog niet. Er is vervolgens besloten, vooral vanwege efficiëntie overwegingen, dat alle nieuwe hardware m.b.t. het emissie management systeem, uitgezonderd de standaard verzamelde klimaat en watergeefstelsel informatie die op de klimaatcomputer reeds voorhanden zijn, op één uniforme data-acquisitie unit aangesloten zouden worden.

Binnen het project moest daarom een keuze gemaakt worden welk data-acquisitie platform daarvoor gekozen moest worden. Voorwaarde daarbij was wel dat deze data-acquisitie-unit een universele koppeling moest hebben met of de Letsgrow.com-, of de WUR-server. In de praktijk blijkt echter dat de keuze voor data-acquisitie hardware en de wijze van data-transfer naar een remote server vaak 1-op-1 aan elkaar gekoppeld zijn, en dus gekozen moet worden voor een totale oplossing. Dat maakt de keuze niet eenvoudig, en de uiteindelijke opties beperkt. Er zijn verschillende mogelijkheden om de sensoren en actuatoren van de lysimeters bij de telers te koppelen. Naast de datacommunicatie was vooral ook de keuze of er specifieke hardware of juist een meet PC gebruikt zou worden. Een inventarisatie is daarom gemaakt.

De data kunnen met de volgende mogelijkheden van de telers locatie verstuurd worden:

- Via het lokale telers netwerk (en internet) eventueel gecombineerd met lokale draadloze netwerken in de kas. Het nadeel hiervan is dat het systeem dan afhankelijk is van het lokale netwerk en daarmee niet universeel is, en mogelijk per teler weer anders zou zijn. Ook zal mogelijk een PC in de kas moeten staan waarmee data verzameld wordt.
- Via een standaard GSM of analogo modem. Een betrouwbaar, al gedateerde maar stabiele oplossing. In verband met hoog data verkeer mogelijk wat duurder. Data-overdracht beperkt tot enkele keren per dag.
- Via een GPRS modem (de zgn. meetpaal). Voordeel: Een universele oplossing. Moderne oplossing voor machine-to-machine data transfer. Betalen per hoeveelheid data. Overdracht frequentie kan zeer hoog zijn, desgewenst iedere minuut.
- Via een UMTS verbinding met een zgn. 'Dongle' in een PC. Er wordt betaald per eenheid data, bv. €30 voor 1 GB data. Aanschaf Dongle €10. De abonnementen lijken op die van een mobieltje, prepaid kan ook. Voordeel: Een snelle universele oplossing. De toepassing van UMTS moet nog wel getest worden.

Voor de directe koppeling van sensoren, lysimeter/drainmeter en regenmeter zijn gewenst:

- 2 Digitale inputs voor de registratie van de watergift (regenmeter) en registratie van de drain (puls contacten).
- 6 Vochtsensoren voor watergehalte en temperatuur (EC is vervallen), analoge of digitale interface.
- Een lokale besturingsmogelijkheid voor de drainpomp met interfacing van niveau-schakelaars.
- Een lokale uitlezing op een display van de drain.
- Een START-knop + storingsmelding (lamp).

Een verkenning van de mogelijkheden gaf de volgende lijst.

Tabel 3. Marktverkenning data-acquisitie systemen voor monitoring van drainmeter, vochtsensoren en regenmeter.

Systeem	Opmerkingen
Bestaande klimaat regelsystemen van telers	Rechtstreeks aan het bestaande klimaatregelsysteem van de betreffende locatie. Het nadeel is dat de configuratie er op elke locatie anders uitziet. Het aanpassen van de software kan duur uitvallen.
Meetpaal Hoogendoorn	Standaard monitoringsoptie in Bleiswijk. De sensoren worden gekoppeld aan de zogenaamde meetpalen. De data wordt via GPRS rechtstreeks naar Letsgrow.com verstuurd. Het aantal meetkanalen is 16, hierop kunnen T, RV, CO ₂ sensoren aangesloten worden, evenals elke sensor met een 4-20mA uitgang. De aanschafprijs van het 8 kanaal meetsysteem is €2800 en het GPRS modem is €2500. Het totale systeem kan niet meer dan 16 kanalen verwerken. Voordeel: Een snelle universele oplossing zonder software inspanning. Nadeel: Er kan geen lokale regelaar mee opgezet worden.
Meetpaal Growlab	Dit is een alternatief voor de meetpaal van Hoogendoorn. De kosten liggen wel iets lager.
Datalogger ATAL	Deze datalogger wordt gebruikt in Bleiswijk. Het aantal ingangskanalen is 16 en kan voor elk analog signaal aangepast worden. Er kunnen ook digitale uitgangen aangesloten worden. De datalogger kan met een gebruikersvriendelijk programma geconfigureerd worden. De logger is niet vrij programmeerbaar zodat een lokale regelaar niet mogelijk is. Lokaal is een PC of andere computer nodig voor de aansturing en data uitwisseling.
Datalogger Datataker	Binnen WUR Glastuinbouw zijn een aantal van deze dataloggers beschikbaar. Op deze datalogger kunnen analoge sensoren en digitale uitgangen aangesloten worden. De datalogger moet samen met een PC geïnstalleerd worden. Met behulp van zelf ontwikkelde PC-software kan de data naar Letsgrow.com gestuurd worden via een internet verbinding. Voordeel: Met een Datataker kunnen in Matlab en C zelf geschreven regelaars geïmplementeerd worden. Er is veel praktische ervaring met deze datalogger. Aanschafprijs nieuwe Datataker ligt in de orde van €2000.
GP1 (Delta-T Devices)	De GP1 is een universele draadloze datalogger die analoge sensoren kan uitlezen maar ook de WET sensor. Deze logger/controller is bedoeld voor toepassing als kleinschalige standalone irrigatie controller/klimaat monitoring systeem die vrij geprogrammeerd kan worden. De logger heeft faciliteiten om vochtsensoren aan te sluiten, heeft analoge ingangen, heeft een relais uitgang (pomp aan/uit), een seriële computer aansluiting (RS232) en kan geprogrammeerd worden (d.m.v. rekenregels). De kostprijs van dit instrument is betrekkelijk laag, ongeveer €200-300. Standaard kunnen vochtsensoren van Delta-T aangesloten worden (WET-sensor, SM200, SM300 e.d.), maar ook analoge tensiometers kunnen gebruikt worden. In de GP1 kunnen kalibratiecurven voor verschillende grondsoorten geladen worden, maar ook kunnen andere vormen van correcties (linearisatie, offset, versterking) ingesteld worden. Meerdere GP1's kunnen aan elkaar verbonden worden (doorlussen). GP1's kunnen zowel op batterijen als externe voeding werken zodat data (ook bij voedingsuitval of storingen) toch lokaal bewaard blijven en metingen zelfs door kunnen lopen. De GP1's kunnen in real-time aangestuurd worden door een (industriële) PC, waarop een programma (van DeltaT) kan draaien. Door de programmeerbare eigenschappen is de toepassing erg flexibel. DeltaT beschikt over GSM-modem aansluitingen voor deze datalogger, zodat een PC op afstand de datalogger kan uitlezen. Onbekend is hoe de interfacing van GP1's direct naar een GPRS modem (LetsGrow) zou kunnen, maar de optie om een PC als tussenschakel te gebruiken lijkt een goede methode. Voor communicatie met de GP1 is wel een DLL beschikbaar voor software ontwikkelaars. Binnen WUR-glastuinbouw is binnen meerdere projecten ervaring met de GP1 opgedaan (Voogt, Balendonck). De stabiliteit van de systemen was goed, maar de ervaring met het inbellen via een modem waren echter wisselend. Deze logger lijkt een geschikt, goedkoop, off-the-shelf alternatief voor de pompsturing, maar ook voor de uitlezing van de sensoren.

Stelsiem	Opmerkingen
Decagon EM50 Low cost Mini Datalogger	Deze datalogger is een universele logger met 5 inputs voor analoge sensoren en puls sensoren. In eerste instantie speciaal bedoeld voor Decagon sensoren. De logger is batterij gevoed, en heeft een seriële in/uitgang. Programmeren is mogelijk via een PC. Draadloze communicatie voorzieningen zijn niet aanwezig. Intern geheugen 36.000 meetpunten. Interne kalibratie voorzieningen niet duidelijk. Zie: Decagon sensoren en dataloggers\HortiPro_DecagonEM50.pdf Zie: Decagon sensoren en dataloggers\pictures\EM50 ECH20 datalogger.jpg http://www.decagon.com/products/data-loggers-and-collectors-2/continuous-data-loggers/em5b-analog-data-logger/

De markverkenning heeft tot de volgende conclusies geleid:

Analoge sensoren (bv. 0-1V en 4-20mA) kunnen aan elke datalogger/meetsysteem gekoppeld worden. Deze sensoren hebben voor elke meetgrootte (bodemvocht, T en EC) een apart analogo kanaal nodig. Voor 6 sensoren met vocht en temperatuur zijn dan 12 meetkanalen nodig.

Digitale sensoren (WET-sensor, IMKO-Trime) kunnen meestal alleen op de bijbehorende specifieke dataloggers of een lokale meet-PC aangesloten worden. Het voordeel van een lokale meet-PC is dat er bv. zelf ontwikkelde watergift programma's kunnen draaien. Sommige sensoren (IMKO-PICO en Decagon) geven wel het uiteindelijke meetresultaat (permittiviteit of evt. vochtgehalte na kalibratie) weer in één getal. De WET-sensor geeft een complex digitaal format uit dat na inlezen met specifieke software nog bewerkt moet worden. Overigens levert één fabrikant wel een digitaal naar analogo omvormer voor de WET-sensor (Growlab).

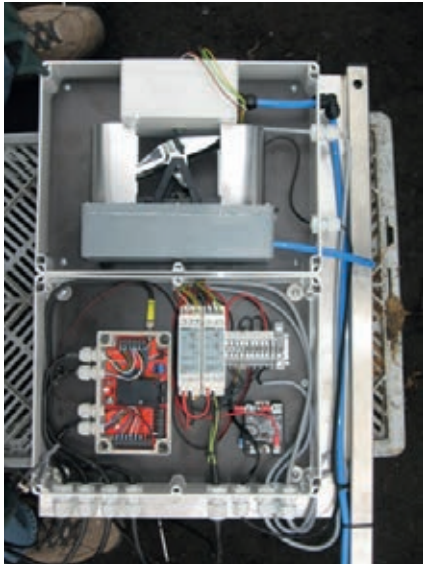
Het meetsysteem moet het liefst universeel en zo dicht mogelijk bij de praktijk staan. Een meet-PC, maar ook "dure" meetpalen zijn afgefallen omdat we voor een praktijksysteem naar een stabiele goedkope hardware oplossing zochten.

Uiteindelijk is de keuze gevallen op de GP1 + modem configuratie (DeltaT-link 2.5.1) en de SM300 sensoren van Delta-T Devices. Een GP1 heeft voldoende interfacing capaciteit om met twee GP1's de toepassing voor binnen de lysimeter en buiten de lysimeter te realiseren. De keuze is vooral gemaakt vanwege de lage kostprijs en omdat hier al ervaring mee was opgedaan in eerdere lysimeter projecten (ook bij verschillende telers in het veld). De benodigde infrastructuur voor data uitlezen bestond daardoor ook al grotendeels, en daarmee kon de ontwikkelingstijd aanzienlijk bekort worden. De consequentie was wel dat er een aparte pompsturing gemaakt moest worden (niveauschakeling) en dat er een geautomatiseerd inbelsysteem (software) ontwikkeld moest worden om de data via de WUR-server uiteindelijk in Letsgrow.com te krijgen, maar dat had voor alle keuze ook nodig geweest.



Figuur 10. Data-acquisitie unit GP1 van Delta-T Devices (links) en GSM-modem (rechts).

Op bovenstaande linker Foto is de GP1 te herkennen (rechtsonder), met daarbij (links boven) een voedingsunit (24V voor pomp) met tevens de tellers voor de drainmeter en de regenmeter. Verder een 12V voor de GP1 (linksonder). Op de Foto rechts is de modem-unit te herkennen met (grijs) het GSM-modem met SIM-kaart en (geel) een splitterblokje voor het aansluiten van 2 GP1's. De overige componenten (timer) en grote accu (niet geplaatst) worden niet gebruikt omdat het modem op een continue 12V voeding staat aangesloten en daarmee 24 uur per dag in principe bereikbaar is.



Figuur 11. Drainmeter met GP1.

In de drainmeter is ook een datalogger GP1 ingebouwd, en is op basis van een Siemens versterker-unit een pompsturing niveau detectie circuit ontwikkeld. Later in het project, is het systeem uitgebreid om ook het niveau in de drainkoker via de GP1 uit te kunnen lezen. Op deze wijze kon op afstand een storingsmelding gesignaleerd worden als het water niet op regelmatige manier afgepompt kon worden door storingen, verstoppingen, stroomuitval e.d. Als signaal ingang werd daarvoor de tweede puls ingang op de GP1 gebruikt. In deze situatie zijn de drainmeter en de sensoren voor vochtmeting + data-acquisitie dus met elkaar gecombineerd. De robuuste drainmeter daarentegen, wordt volledig los van het dit systeem geïnstalleerd, en direct aangesloten op de klimaatcomputer van de teler (zie: §2.3).

Voor het uitlezen van alle units bij alle negen telers is in Bleiswijk een PC met analog modem opgesteld. Voor deze PC is op basis van MATLAB software en met behulp van de door DeltaT-Devices geleverde DLL een routine gemaakt die alle telers vier keer per dag (om 2, 8, 14 en 20 uur) afbelt en de data ophaalt en op de lokale WUR-server plaatst, en tevens meteen weer geüpload naar de Letsgrow.com server. Foutmeldingen (ontbrekende data, storingen, lage batterij spanning, niet bereikbaar zijn van modems e.d.) werden daarbij per e-mail naar de beheerder gestuurd. De data werd lokaal in de PC door de DLL in een cache geheugen bewaard zodat alle data maar eenmalig over de GSM-lijn verzonden behoefde te worden, ook nadat er meerdere malen ingebeld werd. De WUR-server startte eenmaal per dag (na 2 uur 's nachts) het modellen algoritme. Eerst werd daartoe alle relevante data van de Letsgrow.com server gehaald (data werd lokaal gecached zodat ook de communicatie met de Letsgrow.com server beperkt kon worden). Vervolgens startte het model, en de resultaten werden daarna weer geüpload naar Letsgrow.com. Meer details over deze werking is te vinden in Heinen *et al.* (2012).

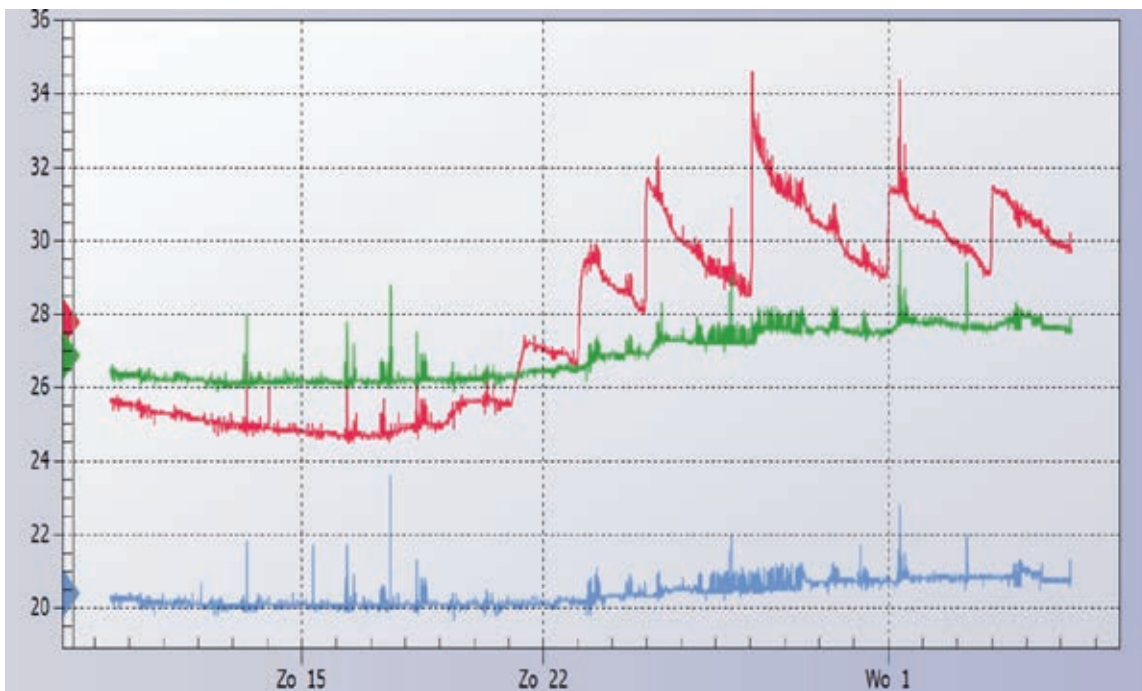
4 Resultaten en discussie

4.1 Bodemvochtgehalte sensoren

De doelen van de toepassing van bodemvochtgehalte sensoren waren de terugkoppeling op de dagelijkse watergiften en de controle van de werking van de lysimeter. Er zijn sensoren binnen en de buiten de lysimeter geplaatst, op drie diepten (meestal op: 15, 30 en 60 cm). Telers konden hun data inzien via de Letsgrow.com server, met een vertragingstijd van maximaal zes uur. De volgende figuren geven voorbeelden van wat de telers konden zien.

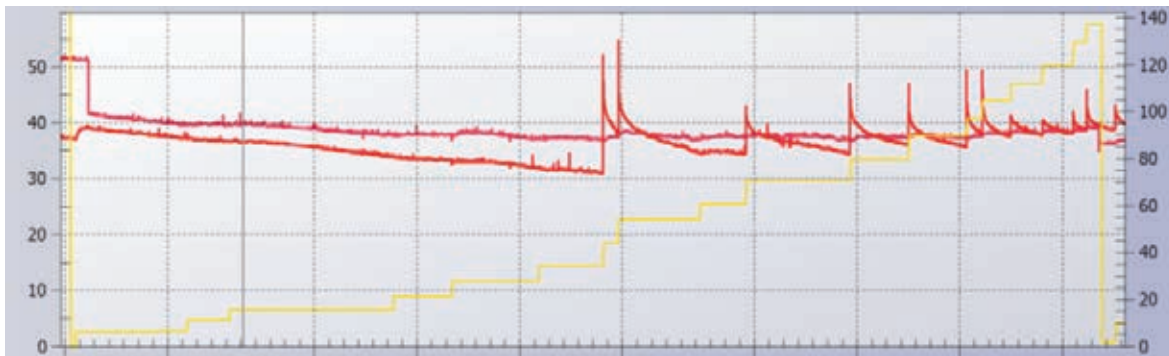
Dynamisch gedrag bij watergiften

Figuur 17. geeft een voorbeeld van het verloop van drie watergehaltesensoren voor een periode van ruim 4 weken. De watergiften zijn goed waarneembaar als pieken in de metingen met de ondiepe sensor. Vooral de bovenste sensor geeft snelle positieve veranderingen na een watergift, en laat de flauwe neergaande trend zien bij uitdroging. De dynamiek bedraagt voor dit geval tot 8% (volumetrisch watergehalte). Dieper gelegen sensoren laten vooral een gedempt signaal zien dat veel trager verloopt en minder uitslag heeft. In veel gevallen is het watergiftmoment nog wel te herkennen in de tweede sensor op 30 cm diepte. Ook geeft deze sensor wel de vernatting in deze laag aan. De diepere sensor (60 cm) geeft een volledig gedempt signaal en laat doorgaans minder variatie zien dan 1%. Dit is bij de meeste telers terug te vinden, alhoewel sommige, meestal afhankelijk van bodemsoort, ook in het geheel geen dynamiek in de signalen terug kunnen vinden.



Figuur 12. Plaatje van bodemvochtgehalte in lysimeter (Letsgrow.com) voor 3 diepten (15 cm, rood; 30 cm, groen; 60 cm blauw).

Onderstaande Figuur (Figuur 18.) laat de periode zien van net na een teeltwisseling. Bij deze chrysantenteler droogt de grond eerst uit tijdens het aangieten van het gewas. Na enkele dagen begint hij met grotere gietbeurten waarop het bodemvocht gaat reageren. De trends zijn hier goed waar te nemen. Aan het begin van de grafiek is bij een sensor duidelijk de sprong waar te nemen van een sensor herplaatsing.



Figuur 13. Presentatie van bodemvochtgehalte bij twee diepten en de cumulatieve watergift. De eerste periode (aangieten) uitdroging en vervolgens het doorstarten van de teelt met herhaalde grotere watergiften.

Storingen

De grafiek in Figuur 17. laat nog meer zien. Op het signaal blijken vaak kortstondige pieken te zitten. Deze pieken ontstaan door elektrische storingen van andere machines die in de kas in aanraking zijn met de grond zoals de planten oogstmachines. Mogelijk dat ook andere bronnen (WKK inschakelmomenten, schermregelingen e.d.) daar aan ten grondslag liggen. In sommige situaties nemen deze storingen de vorm aan van “offsets” waardoor het meetsignaal in zijn geheel gedurende een tijdje (enkele minuten tot uren) opgetild wordt. De effecten waren bij sommige telers klein, maar bij anderen weer juist groot en zeker erg storend bij het lezen van de grafieken. Met name voor het gebruik in combinatie met een model, waren deze signalen niet erg bruikbaar als input, zonder een adequate filtering. De storingen waren veelal weg of juist klein als de GP1's op batterij voeding draaiden. De storingen namen toe wanneer de oogst/plant machines aan stonden (over dag) en dicht bij het teeltvak van de lysimeter kwamen. De volledige achtergrond van deze storingen is helaas niet achterhaald, en duidelijke 1-op-1 relaties tussen oorzaak en gevolg zijn niet vast komen te staan.

Er is geëxperimenteerd met een veelvoud van oplossingen. Daaronder: het vermijden van ground-loops in de elektrische circuits van de sensoren; het elektrisch aarden van de sensoren dichtbij met een RVS stok in de grond; het loshalen van de randaarde van de netvoeding¹; het aanbrengen van (HF) netfilters in de voedingen, het gebruik van een andere net groep (“schone” stroom gehaald vanuit het computer hok, en niet van een groep uit de kas); het toepassen van andere sensoren waaronder digitale versies of versies die intern werken met synchrone detectie (b.v. de WET-sensor) en het elektrisch isoleren van de metalen delen van de sensoren die in direct contact staan met de bodem.

Uit al deze experimenten is wel het vermoeden gerezen dat de oorzaak gezocht moet worden in de volgende elementen of juist een combinatie daarvan:

- Het aanwezig zijn van grote elektrische storingen in de bodem t.g.v. apparatuur van de teler (storing als de machines aan staan);
- Het feit dat er een elektrisch contact is tussen het net enerzijds, en anderzijds dat de data-acquisitie systemen, via de sensoren met de bodem contact hebben (bij batterij voeding geen of lage storing; kiezen van andere netgroepen);
- Het feit dat de Common Mode Rejection Ration (CMRR) van de gebruikte GP1 datalogger laag is en slechts beperkt analoge storingen kan onderdrukken (ervaringen ook in andere projecten);
- Het toepassen van analoge sensoren (bij de WET-sensor zijn geen storingen waargenomen).

¹ Het loshalen van de randaarde van de netvoeding is gedaan in een gecontroleerde onderzoeksomgeving. Voor praktijktoepassing mag dit NOOIT toegepast worden omdat daarmee onveilige situaties kunnen ontstaan !

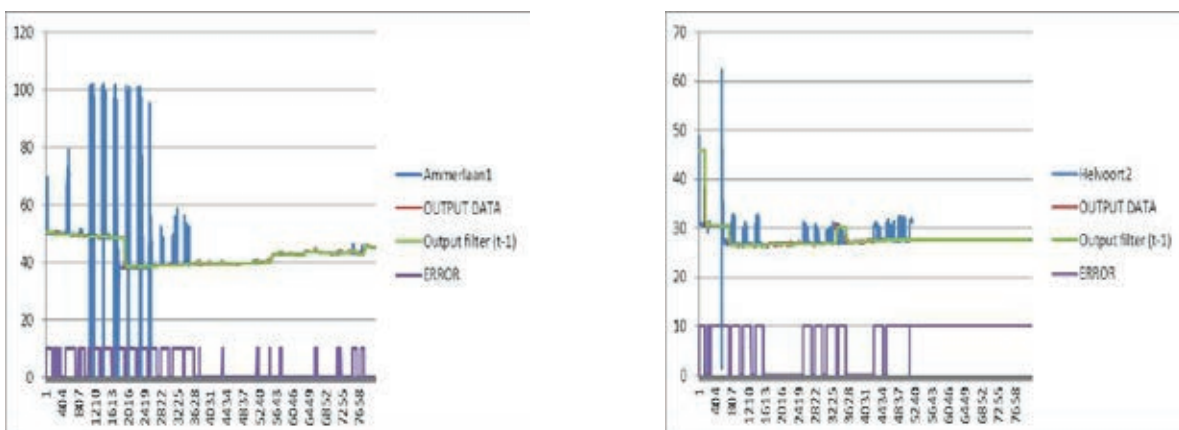
Storingsfilter voor vochtsensoren

Er is een filteringalgoritme geschreven (in Excel) om de signalen van storingen te ontdoen. Het algoritme wordt in bron code gegeven in detail in de bijlagen (§0), hier een beschrijving. Het filter probeert een maat voor het scholingsniveau (storing) te bepalen. Storingen zijn: missende data, data buiten het meetbereik, grote pieken (oogstmachines, sensor wisselingen, kalibratie wisselingen e.d.), meetruis. Op het moment dat er storing is, dan geeft het filter een ERROR-sigitaal. Dit ERROR-sigitaal duurt zolang voort als de fout bestaat, en mogelijk iets langer, instelbaar met een vertragingfactor (Factor-s). De lengte van de ERROR tijd is afhankelijk van de ernst van de storing. Bij korte piekjes is deze tijd maar kort (bv. 1 uur) tot wel 8 uur bij grote verstoringen. De vertragingfactor is op het moment dat er een error is, dan wordt het input signaal niet meer doorgelaten maar schakelt het filter over op het (1 stap vertraagde) lopend gemiddelde van het output signaal. Met andere woorden we houden dan de voorlaatste output (output filter(t-1)) waarde vast. Het detectieniveau dat het storingsfilter hanteert wordt ingesteld met een drempel factor (Drempel). Het storingsfilter hanteert twee methoden om een storing te detecteren. Enerzijds zijn dat grote pieken (bepaald met het absolute verschil tussen twee opeenvolgende input signalen; een differentie of afgeleide) en anderzijds een detectie op een grote afwijking t.o.v. van een lopend gemiddelde (input-filter).

Van het filter zijn in principe twee outputs te gebruiken:

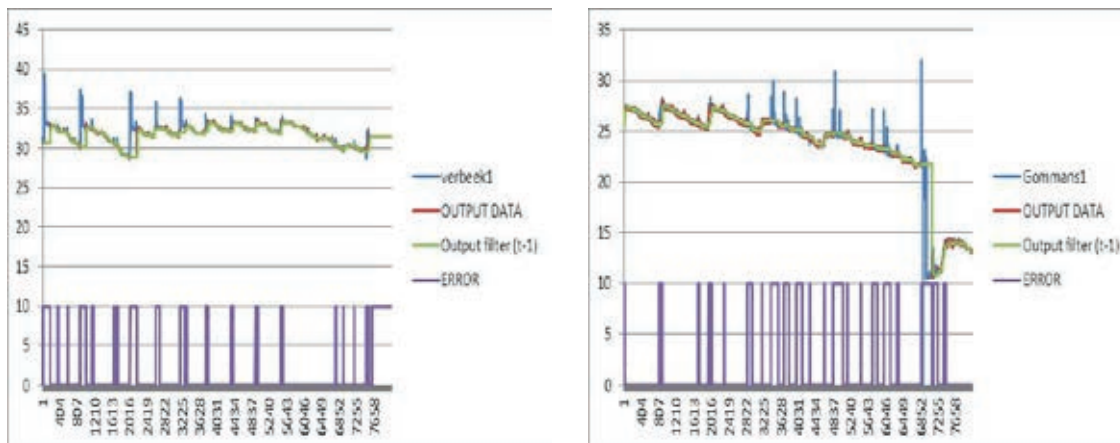
- OUTPUT DATA: Dit is de geschakelde data of het oorspronkelijke signaal of bij ERROR het gefilterde signaal.
- Output filter (t-1): Het met een lopend gemiddelde gefilterde OUTPUT DATA signaal.

Het filter is geëvalueerd met drie test-sets van 4 weken werkelijke sensor-data voor acht van negen telers (uitgezonderd de slateler, KG) met behulp van een Excel bestand. In de volgende voorbeelden zijn weergegeven de ruwe sensor data (blauw), de OUTPUT DATA (rood), de gefilterde sensorwaarden (groen) en het ERROR-sigitaal (paars):



Figuur 14. Grote pieken worden gedetecteerd bij AB (links) en HV (rechts).

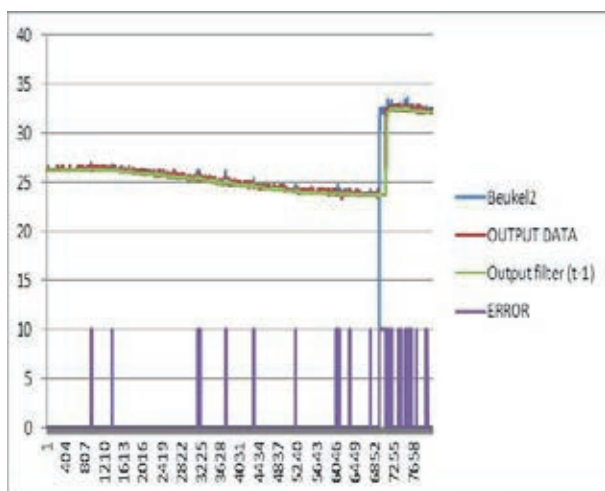
Bij HV zijn de storingspieken door andere maatregelen wel redelijk onderdrukt. Met het filter blijken de kleinere storingspieken die dan nog overblijven wel te worden onderdrukt. Soms echter kan zo'n storingspiek nog niet onderscheiden worden van een watergift, wat juist wel erg belangrijk is om zichtbaar te hebben.



Figuur 15. Onderdrukking van kleine pieken bij VV en GH.

Bij VV zijn in het begin hele steile pieken bij watergiften gedetecteerd. Dat heeft mogelijk te maken met het snel doorsijpelen van water naar de sensor. Deze pieken dempen snel weer tot een normale waarde. Het storingsfilter ziet deze pieken als een storingspiek, en geeft een error, en vervangt het signaal gedurende een periode van een paar uur. Dit is niet acceptabel. Hiervoor zal een storingsalgoritme op aangepast moeten worden.

Bij GH worden de hogere storingspieken heel effectief weggefilterd, zonder dat het globale signaal de rest van de tijd sterk beïnvloed wordt.



Figuur 16. Onderdrukking van kleine ruis en volgen van een grote stap bij sensor wisseling.

Bij BV wordt het kleine ruissignaal door het output-filter effectief aangepakt. Verder zien we bij sensorwisseling een stap die gevolgd wordt na een paar uur.

Voor het onderdrukken van storingspieken en kleine ruis voldoet het filter goed. Er is een nadelig effect dat de output voor een grotere tijd wordt gemaskeerd (tot 8 uur) als er grote storings zijn opgetreden. Dit kan zelfs bij snel reagerende sensoren op een watergift het gevolg zijn (bv. VV). Verder is het soms niet mogelijk om lange kleine storings (oogstmachine met niet volledig effectieve storingsonderdrukking zoals bij HV), te onderscheiden van een watergift. Het filter kan in ieder geval niet detecteren of een sensor verwisseld is, maar volgt dan met enige vertraging de grotere stap die dan ontstaat. Het algoritme is wel in MATLAB uitgevoerd en getest, maar verder niet meer geïmplementeerd omdat het zonder veel extra inspanning niet 100% werkend gekregen kon worden.

Het algoritme werkte dus redelijk, maar soms werden storings gemist of juist teveel signaal weggefilterd. Mogelijk kan er in de toekomst een robuuster filter ontwikkeld worden. Het voorstel is om het filter alleen te implementeren nadat het robuust gemaakt is. Voor de telers is het echter belangrijker te zoeken naar of sensoren die niet storingsgevoelig zijn, of de storingsbronnen in de kas aan te pakken.

Bodemtype kalibratie voor vochtgehalte

Bij aanvang van het project zijn bodemkalibraties eenmalig uitgevoerd. Bodemonsters zijn volgens de droogstoofmethode geanalyseerd (een gravimetrische bepaling). Het gravimetrische watergehalte (w), gegeven als gram water per gram grond, kan omgerekend worden in het werkelijke volumetrisch vochtgehalte (θ) met:

$$\theta = w * rd/rw,$$

waarin rd de droge bulk dichtheid van het grondmonster is (g droge grond per cm^3 grond), en rw is de dichtheid van water (gram water per cm^3 water; meestal gelijk gesteld aan $1 g/cm^3$). Ook is op hetzelfde moment het vochtgehalte bepaald met de GP1 instelling voor de minerale bodem ($\theta_{GP1\text{-mineral}}$). De meeste kalibraties zijn uitgevoerd met een SM200 of een SM300. Bij twee telers is met WET-sensoren gewerkt (bio-telers) omdat op moment van installatie er nog geen SM200/SM300 sensoren voorhanden waren maar WET-sensoren wel. De afwijking tussen gravimetrisch bepaalde volumetrisch vochtgehalte en gemeten vochtgehalte met de GP1 zijn berekend (Afw). Door middel van de kalibratie formule (DeltaT, 2010):

$$\theta = \frac{(\sqrt{\varepsilon} - a_0)}{a_1}$$

en er van uit gaand dat identiek is voor zowel de gravimetrische als de GP1 meting, én dat de factor a_0 identiek blijft (één-punts kalibratie) is samen met de kalibratiefactoren voor minerale bodems ($a_0 = 1.6$ et $a_1 = 8.4$), een nieuwe (geijkte) factor voor a_1 bepaald (a_1 cal). Deze nieuwe kalibratie factoren zijn in de GP1's gezet bij de verschillende sensor kanalen. Voor details van de procedure wordt verwezen naar Balendonck en Hilhorst (2002), en naar de installatie documentatie voor de GP1 en SM300 van Delta-T Devices, verkrijgbaar via de website van Delta-T.

Tabel 4. Overzicht kalibraties van SM200/SM300 en WET-sensoren (8 telers, 30-3-2011).

Bedrijf (datum)	Locatie	Diepte (cm)	θ (%)	$\theta_{GP1\text{-mineral}}$ (%)	WET (%)	Afw (%)	a_1 (cal)
HV 8-2-2011	lysimeter	25	23.1	26.2		3.1	9.53
		40	24.7	25.4		0.7	8.64
		60	24.5	25		0.5	8.57
	referentie	25	26.9	27.7		0.8	8.65
		40	25.6	25.6		0	8.40
		60	21.1	32.6		11.5	12.98
AB 10-2-2011	lysimeter	25	29	24.1		-4.9	6.98
		40	31.6	33.2		1.6	8.83
		60	31.8	29.4		-2.4	7.77
	referentie	25	39.8	41.3		1.5	8.72
		40	29.4	36.9		7.5	10.54
		60	26.1	38.3		12.2	12.33
GH 1-3-2011	lysimeter	25	21.7	25.3		3.6	9.79
		40	21.8	24.2		2.4	9.32
		60	17.7	17.2		-0.5	8.16
	referentie	25	22.5	23.1		0.6	8.62

<i>Bedrijf (datum)</i>	<i>Locatie</i>	<i>Diepte (cm)</i>	Θ (%)	$\theta_{GP1\text{-mineral}}$ (%)	<i>WET (%)</i>	<i>Afw (%)</i>	<i>a₁ (cal)</i>
		40	19.6	22.1		2.5	9.47
		60	17.4	19.8		2.4	9.56
BV	lysimeter	25	19.9	24.7		4.8	10.43
3-3-2011		40	19.7	17.4		-2.3	7.42
		60	19.5	22.5		3	9.69
	referentie	25	17.7	19		1.3	9.02
		40	18.9	23.7		4.8	10.53
		60	17	13.5		-3.5	6.67
JM	lysimeter	25	20.6	18.7		-1.9	7.63
23-2-2011		40	17	20.9		3.9	10.33
		60	16.3	20.4		4.1	10.51
	referentie	25	20.7	22.6		1.9	9.17
		40	16.4	21		4.6	10.76
		60	15.2	22.4		7.2	12.38
DN	lysimeter	25	31.8	32.6		0.8	8.61
8-3-2011		40	30.7	29.1		-1.6	7.96
		60	42.8	45.3		2.5	8.89
	referentie	25	24.4	23.1		-1.3	7.95
		40	47.4	50.5		3.1	8.95
		60	38.1	46.2		8.1	10.19
KT	lysimeter	15	30.7	38.3		7.6	10.48
2-2-2011		40	32.4	36		3.6	9.33
		60	31.9	40.25	56.5	24.6	14.87
	referentie	15	33.7	36.49	52.9	19.2	13.18
		40	30.6	38.4		7.8	10.54
		60	36.4	40		3.6	9.23
VV	lysimeter	15	21.1	24.7		3.6	9.83
4-2-2011		40	21	23.8		2.8	9.52
		60	20.5	19.36	33.3	12.8	13.66
	referentie	15	20.1	12	22.2	2.1	9.27
		40	19.8	25		5.2	10.61
		60	18.3	26.7		8.4	12.26

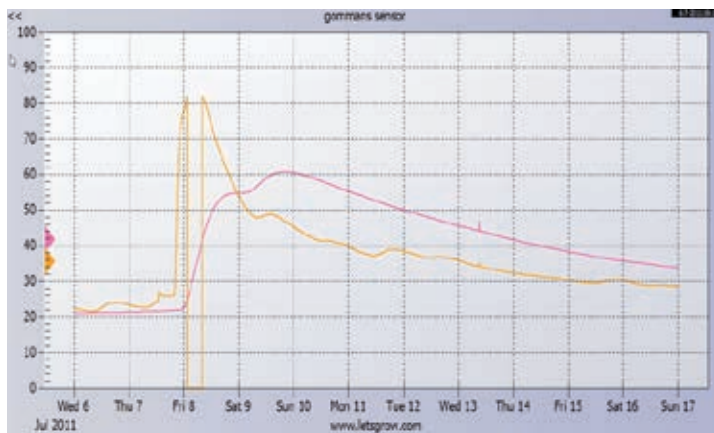
Er bleken afwijkingen tot maximaal 12.5% te zijn tussen gemeten en bepaald vochtgehalte. Grotere afwijkingen werden nog gevonden voor de WET-sensor kalibraties. Een bodem specifieke kalibratie is daarom zinvol.

Verder viel het op dat er per sensor, en per diepte best veel verschillen in de kalibratie factoren konden zitten. Ook weken de factoren wel af van de standaard waarden voor een minerale bodem. Dat is natuurlijk best mogelijk omdat bodemtype per diepte zelf ook verschillend kan zijn.

Omdat her-kalibratie na herplaatsen van sensoren een uiterst tijdrovende zaak was, en tevens ondoenlijk geacht werd in de normale telers praktijk, is later afgezien van het herkalibreren. In voorkomende gevallen is gewerkt met de eerste kalibratie, en bij vervanging van sensoren is de standaard kalibratie curve voor een minerale bodem van de GP1 gebruikt. Voor de praktijk wordt geadviseerd om in ieder geval een standaard curve te kiezen die zo dicht mogelijk bij de juiste grondsoort komt, en bij het lezen van de grafieken er rekening mee te houden dat de absolute gemeten vochtwaarde nogal kan afwijken van de werkelijke vochtwaarde. Trends volgen is daarom beter. Tevens moeten sensoren liefst zo veel mogelijk met rust gelaten worden, afgezien van herplaatsen na stomen of grondbewerking.

Stomen

Alle sensoren uit de marktverkenning geven volgens specificatie aan dat de sensor maar gebruikt mag worden tot ca. 55 graden. Bij hogere temperaturen is de werking niet gegarandeerd omdat de elektronica dan uitvalt. De elektronica gaat mogelijk wel weer functioneren als de temperatuur zakt (zie Figuur 22.), maar dit is geen garantie dat de werking daarna nog voor 100% goed is. De gebruikte kabels kunnen desintegreren en problemen veroorzaken, zeker na veelvuldige stoomacties. Ook kan de seal-ring van in de connector door stomen water gaan doorlaten waardoor metingen verstoord raken doordat de analoge signalen worden kortgesloten. Het meest direct wordt dit dan gezien in de temperatuurmeting omdat de signalen rechtstreeks van een temperatuurgevoelige weerstand afkomstig zijn.



Figuur 17. Uitval sensoren tijdens stomen. De ondiepste sensoren wordt tijdens het stomen het heetst. In dit geval boven de 80 graden. Wanneer de sensor afkoelt komt de werking terug. De diepste sensor (60 cm) heeft hier geen last van maar bereikt ook maar maximaal 60 graden. De verticale as geeft de bodemtemperatuur in graden Celsius. De horizontale as geeft de tijd in dagen (12 dagen).

Het advies is daarom om de sensoren voor het stomen te verwijderen, en deze daarna weer te herplaatsen. In het geval dat sensoren niet verwijderd kunnen worden, moet in ieder geval de sensor uitgeschakeld worden (spanningsloos gemaakt worden). Na herplaatsing is herkalibratie noodzakelijk indien een hoge nauwkeurigheid gewenst is, en sensor specifieke kalibraties gebruikt worden.

Corrosie

Tijdens experimenten met SM200 sensoren hebben we regelmatig last gehad van connectoren op de sensoren die gecorrodeerd bleken te zijn door vocht en meststoffen indringing (zie Figuur 23.). Een volledig gecorrodeerde connector/kabel maar ook de connector op de sensor leidde in veel gevallen op termijn tot een volledig defecte sensor. Het niet goed aandraaien van de connector, of het gebruiken van vervuilde connectoren (zandkorrels e.d.) bleek vaak de oorzaak. De corrosie wordt mede extra aangewakkerd omdat lekstromen kunnen lopen vanuit de sensorbekabeling via een metalen connector naar de grond. Vooral gelijkstroom componenten zorgen voor elektrolyse van de verschillende metalen onderdelen wanneer die in contact staan met een zoute vloeistof.



Figuur 18. Gecorrodeerde SM200 sensor (links), aangetaste metalen ring van SM300-connector.

De SM300 is een verbeterde versie van de SM200 waarbij vooral aandacht besteed is aan de robuustheid van de connector en de seal-ring. De SM300 sensoren zijn bij alle bedrijven geïnstalleerd nadat deze na een paar maanden vanaf de eerste installatie met SM200 sensoren beschikbaar kwamen (april 2011). Deze sensoren blijken duidelijk beter bestand tegen corrosie. Geen van de sensoren is voor zover we konden nagaan slecht gaan functioneren in de periode (ca. 1,5 jaar) van de experimenten. Echter, na verloop van tijd (ca. 1 jaar), hebben we bij bijna alle sensoren corrosie waargenomen van de connectoren (zie Figuur 18. Gecorrodeerde SM200 sensor (links), aangetaste metalen ring van SM300-connector., rechts). Bij navraag bij de leverancier bleek dat bij de levering abusievelijk niet-RVS type kabels/connectoren geleverd waren. Volledig RVS kabels zijn overigens vele malen duurder. Alle kabels zijn door de leverancier vervangen door nieuwe. Om te voorkomen dat ook deze kabels weer zouden corroderen (vooral door gelijkstroom-lekstromen) is besloten de connector af te dichten. Vervolgens zijn bij alle telers bij teeltwisseling de bestaande SM300 sensoren voorzien van een afdichting met zuurvrij siliconenvet en tape (Figuur 19.). Dit is gedaan om corrosie te voorkomen door de aardlekstromen die via de metalen connectoren de grond in kunnen lopen.



Figuur 19. Aanbrengen van sealing met zuurvrij silicone vet op connectoren van SM300 sensoren.

Het advies is dat telers vooral sensoren aanschaffen die een aangegoten kabel hebben, en geen direct elektrisch contact hebben met de bodem.

Oude situatie

Met betrekking tot de vochtsensoren is de situatie per teler aan het eind van het project verschillend. Enkele telers (bio-telers) hebben nog de oude setup (6 sensoren) en geen nieuwe robuuste drainmeter. Het plan is om bij de eerste teeltwisseling (december 2012) de upgrade uit te voeren.

Gesealde sensoren

Alle andere telers (uitgezonderd de 2 biotelers) hebben inmiddels gesealde SM300 sensoren en de robuuste drainmeter. Ook hebben zij nog het GP1-modem systeem en de koppeling met Letsgrow.com/WUR-server operationeel, maar dan voor alleen de vochtsensoren. De drainmeters zijn (of worden) aangesloten op de klimaatcomputers, en de regenmeters zijn vervallen. Op het moment dat eind 2012 het Letsgrow.com systeem niet meer voortgezet zal worden vanuit het project, kunnen telers geen data meer inzien van deze sensoren. De telers die dat wel willen zullen een Letsgrow.com abonnement moeten kiezen, onder de voorwaarde dat WUR dan tevens de WUR-server en de modem verbinding zal onderhouden. Indien de teler geen gebruik van de Letsgrow.com server wil maken kan de teler ook rechtsreeks zijn eigen modem blijven uitlezen via de DeltaT-software (handmatig), of moet WUR de automatische software aanpassen en ter beschikking stellen van de telers. Een ander optie is dat de WUR-server in de lucht blijft en de teler gebruik gaat maken van een internet link waarop sensorgrafieken via een .html file op te halen zijn (een faciliteit die voor het onderzoek parallel aan Letsgrow.com is gebruikt intern bij WUR).

Nieuwe (robuuste) vochtsensoren

Telers willen robuuste bodemvochtsensoren die direct gekoppeld zijn met de klimaatcomputer. Een tweetal chrysanten telers heeft naast het ge-upgrade systeem ook een pilot lopen met andere sensoren van IMKO (TRIME PICO 64) en de DACOM prikstok. De pilots zijn nog niet afgerond, maar voorlopige bevindingen worden hier wel gegeven. Telers zullen aan het einde van het project staan voor de keuze of ze nieuwe robuuste sensoren gaan aanschaffen, of dat ze de bestaande lijn zolang als WUR het kan ondersteunen blijven gebruiken.

Trime sensoren

Deze sensoren moeten net als de bestaande SM300's ingegraven worden, hebben robuuste pennen en een analoge uitgang voor koppeling met de klimaatcomputer, en kunnen intern gekalibreerd worden voor de bodemsoort. Ook kan naast bodemvocht en temperatuur ook de EC gemeten worden. Medium augustus 2012 is het systeem geïnstalleerd (Figuur 20.). De belangrijkste eigenschappen van deze sensoren zijn:

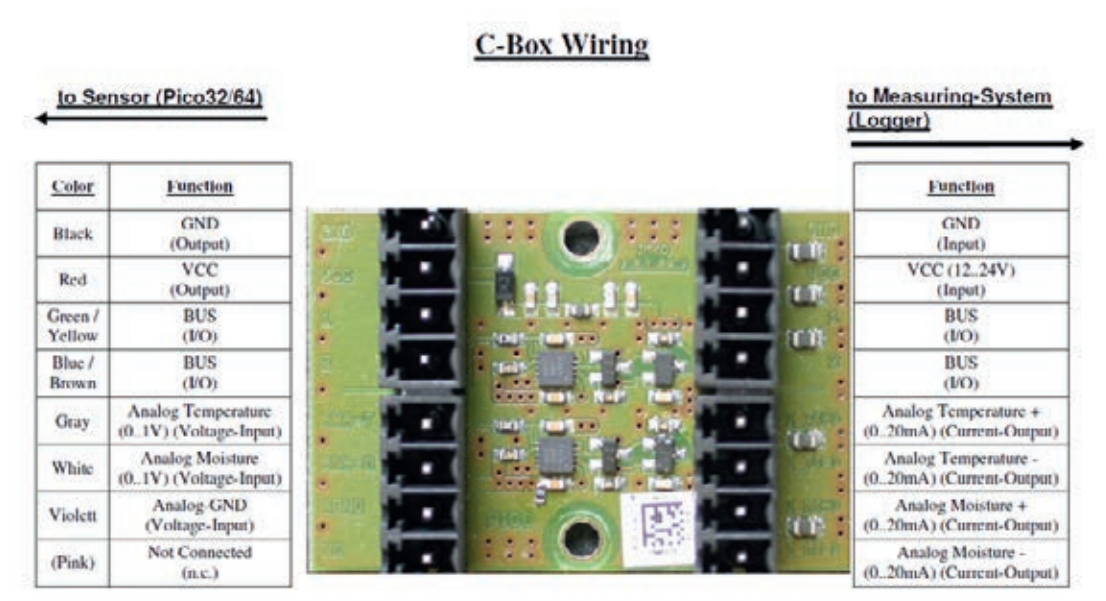
- TRIME-PICO 64 (IMKO, Eijkelkamp AgriSearch Equipment)
- 2 x Analoge uitgang
- 0(4)-20mA convertor nodig (C-Box)
- Voeding sensoren (7 -24V)
- Aan/uit schakelen tussen metingen
- Kalibreren met een handset/Laptop

De voornaamste voordelen zijn dat de sensor robuuste (vervangbare) en geïsoleerde pennen heeft. Daarnaast is een interne kalibratie voor bodemsoort mogelijk, zodat in de klimaatcomputer direct een gekalibreerd vocht signaal binnenkomt. De sensoren zijn robuust opgebouwd. De prijs is wel relatief hoog per meetpunt (ca. €700 voor de sensor, en nog eens een kleiner bedrag voor de interfaces).

Voor het koppelen van deze sensoren met de klimaatcomputer is een convertor nodig (C-Box) om de analoge signalen om te zetten in een 0(4)-20 mA (Figuur 21.).



Figuur 20. Twee Trime PICO 64 sensoren in verticaal profiel bij pilot teler (JM).



Figuur 21. C-Box module voor koppeling van Trime sensoren aan klimaatcomputer via een 0.20mA link.

Ook voor deze sensoren blijft gelden dat ze niet stoombaar zijn, en verwijderd moeten voor het stomen en diepe grondbewerking.

DACOM sensoren

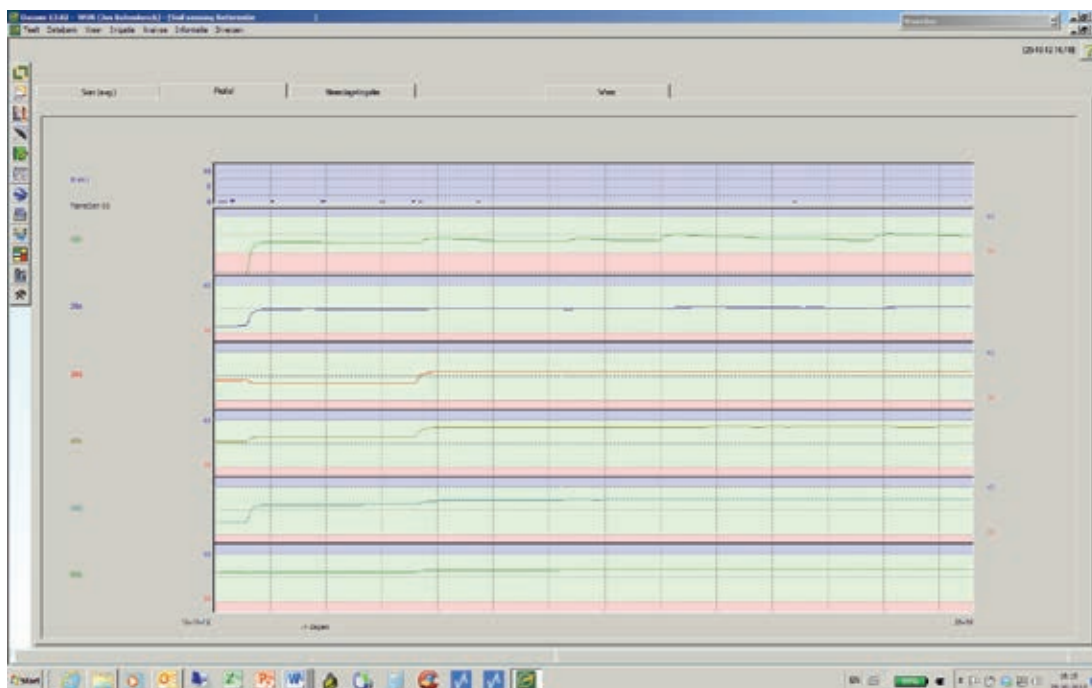
Omdat voor alle bovengenoemde sensoren geldt dat ze verwijderd moeten worden tijdens het stomen zijn we ook op zoek gegaan naar gemakkelijk herplaatsbare sensoren en zijn terecht gekomen bij de DACOM prikstok. Deze is eind juni bij een andere teler (HV) als pilot uitgezet, en lijkt zeer goed te functioneren. Voordeel is dat deze op batterij werkt met een zonnepaneel, en dus nagenoeg draadloos is (Figuur 22. en Figuur 23.). De stok heeft zes sensoren op 10 cm afstand, en geeft een volledig beeld van het bodemvocht met de diepte. Een directe computerkoppeling is vooralsnog niet beschikbaar, maar data wordt opgehaald van de DACOM server en kan op de PC bekeken worden (Figuur 24.), waarvoor een jaarabonnement nodig is. De prijs voor twee sensoren (12 meetpunten), zonnepaneel en regenmeter ligt in de orde van €5000-6000. De bodem specifieke kalibratie is door DACOM uitgevoerd.



Figuur 22. DACOM prikstok, eenvoudige installatie na voorboren.



Figuur 23. Een geïnstalleerde DACOM prikstok (onder het steungaas (linksboven); de datacommunicatie unit met zonnepaneel (linksonder) en een volledig overzicht van de set-up inclusief watermeter.



Figuur 24. Screenshot van de data zoals die op het scherm van de DACOM applicatie op de PC bekeken kan worden. Een compleet diepte profiel (op 10, 20, 30, 40, 50, 60 cm), inclusief berekening wordt hier zichtbaar.

4.2 Regenmeter (optie)

Het meten van de watergift ter plaatse lysimeter is nodig als input voor de modellering, maar ook als controle van de homogeniteit van de beregeningsinstallatie. De werkelijke beregening kan gemeten worden met een regenmeter. Deze kan niet overal gebruikt worden omdat bijvoorbeeld met druppelaars gewerkt wordt. Het alternatief is dan een watermeter. Regenmeters blijken gevoelig voor stof (zand) en slibben dicht. Dit vergt aandacht van telers, in ieder geval bij het herplaatsen bij oogst/planten. Regenmeters (Figuur 25.) moeten goed geplaatst worden, in het gewas op gewashoogte en in ieder geval horizontaal met behulp van een waterpas.



Figuur 25. Regenmeter (DAVIS, Rain Collector II, 7852, zie manual).

Met betrekking tot de regenmeter is de situatie per teler verschillend. Sommige telers willen deze continueren, andere telers zullen deze regenmeter laten vervallen en gebruik maken van hun watermeters die standaard al aanwezig zijn. Indien telers kiezen om de regenmeter te behouden, dan zal die door de installateur op de klimaatcomputer aangesloten moeten worden (optie). Voor de installateur gelden de volgende adviezen:

- Een regenmeter kan niet bij alle telers gebruikt worden. Bijvoorbeeld niet bij teelten met druppelslangen. In dat geval moet de teler toch teruggrijpen op zijn waterverbruik geregistreerd m.b.v. watermeters. Een mogelijk nadeel van regenmeters in de kas is de kans op vervuiling van de verzamelbeker (stof, zand, gewasresten e.d.). Telers zullen dus aandacht moeten hebben voor het onderhoud van hun regenmeter.
- De bestaande regenmeters zijn aangesloten op de data-acquisitie unit (GP1-DeltaT Devices) welke gemonteerd is op de paal bij de lysimeter. Deze kabel zal afgekoppeld moeten worden.
- Vervolgens zal de installateur de regenmeter aansluiten op de klimaatcomputer. In ieder geval zal daartoe de interfacing aanwezig moeten zijn, en zal de bestaande kabel verlengd moeten worden. Het beste is om een montagekastje lokaal bij de paal te maken waarop de regenmeter d.m.v. een waterdichte stekerverbinding gekoppeld kan worden. Op deze wijze kan de gehele regenmeter + kabel verwijderd worden bij teeltwisselingen of storingen.
- De regenmeters worden gemonteerd op de buisverwarming, zodat deze met het gewas omhoog lopen en altijd op gewashoogte blijven meten. Omdat de regenmeters met een kabel aangesloten zijn, moet erbij herplaatsen en omhoog gaan opgelet worden dat deze kabel niet storend werkt bij de schermen die vrij omhoog en omlaag moeten kunnen.
- Regenmeters hebben als uitgang een maak-contact (reed contact) en geven over het algemeen een puls af per ca. 5-6 ml. De kalibratie van de regenmeter is afhankelijk van de waterstroom hoeveelheid. Het controleren van deze regenmeters (kalibreren) is daarom zeker vereist.

4.3 Drainmeter (eerste versie)

De aansluiting van de robuuste drainmeter (zie deel I, Voogt *et al.* 2012a) op de klimaatcomputer wordt uitgevoerd door de huis-installateur van de teler. De acties die de installateur daarvoor moet ondernemen zijn als volgt:

- De drainmeter schakelkast/PLC is voorbereid om eenvoudig aan een klimaatcomputer aangesloten te kunnen worden. Deze bevat 2 uitgangen (Puls uit, alarm uit) en 1 ingang (start). In het minimale geval moet de pulsuitgang aangesloten worden. Aansluiting van deze PLC kast zijn terug te vinden in de werktekening van de schakelkast (Bijlage 5, Voogt, 2012a).
- Pulsuitgang aansluiten. Op deze uitgang (klemmen 22/23) komen pulsen te staan die een maat zijn voor het volume dat door de drainmeter is afgepompt. De drainmeter werkt in principe als een standaard watermeter. Voor elk volume van ca. 6 ml wordt 1 puls (sluiten van contact) afgegeven. De uitgang (niet potentiaalvrij) bestaat uit een 24V (DC, 300 mA) uitgang van de Siemens DM8-24 module (Q1, M). De installateur zal hiervoor per teler en klimaatcomputer een aangepaste interfacing moeten kiezen en aanbrengen. Geadviseerd wordt om de uitgang potentiaalvrij te maken door een relais module (24V, maximaal 300 mA) aan te brengen. De pulsfrequentie is laag, maximaal 1 puls per seconde.
- De alarm-uit uitgang (Siemens DM8-24 module: Q2, M) kan optioneel gebruikt worden. In de bestaande firmware van de PLC is deze functie zo geprogrammeerd dat er een maak-contact komt wanneer de drainmeter in storing geraakt. Aansluiting op de klimaatcomputer of andere voorzieningen kan per teler individueel overwogen worden.
- De Start-ingang is optioneel en is additioneel op de automatische start (interval) en de handstart op de PLC en het bedieningskastje. Voor toekomstige uitbreidingen kan de klimaatcomputer en een ander instrument (PC, timer o.i.d.) gebruikt worden om een ander intervalschema voor het starten van de drainmeter te gebruiken. Sommige telers hebben aangegeven dat zij de drainmeter vaker dan 1x per dag willen laten starten.

4.4 Datakoppeling Letsgrow.com

Situatie gedurende het project

Gedurende het project is gewerkt met de datakoppeling via de WUR-server naar Letsgrow.com voor de lysimeter en de sensoren. Deze koppeling bleek goed te functioneren. Af en toe bleef dataoverdracht achter (1 x per 6 uur normaal), tot soms enkele dagen, met name wanneer het modem niet bereikbaar was (buiten bereik netwerk in grensstreek), of indien de netspanning van het systeem afgeschakeld was door de teler (per ongeluk). In een paar gevallen is het datalogger systeem (GP1) uitgevallen door het defect raken van sensoren (korstsluiting).

Het heeft een aantal maanden geduurd voordat de meeste klimaatcomputers gekoppeld waren met Letsgrow.com. Daarvoor waren acties nodig van individuele computer leveranciers (Hoirtimax, Hogendoorn en Priva). Ook moesten er daarvoor bij enkele telers upgrades uitgevoerd (al of niet met extra kosten). De werking van de koppelingen zijn per fabrikant verschillend qua complexiteit. Voor een enkele teler met een verouderde computer was de koppeling niet mogelijk. Bij deze teler is een meting van de kasttemperatuur, t.b.v. verdampingsmodellering, mee gemeten met een WET-sensor via de datalogger. De terugkoppeling 1x per 6 uur leek voldoende, alhoewel een enkele telers het frequenter zou willen zien (net na een gietbeurt). Het advies is hier om een directe koppeling met de klimaatcomputer te realiseren zodat data meteen inzichtelijk zijn, tenzij een de turn-around time van een extern systeem via een remote host snelle kan werken, b.v. met GPRS-apparatuur.

4.5 Koppeling met klimaatcomputer (overgang van onderzoek- naar praktijkstelsel)

Na evaluatie van het systeem (beschreven in de vorige paragraaf), zijn aanpassingen uitgevoerd om het systeem voor te bereiden op een werkelijke praktijk situatie. De voornaamste conclusie en redenen voor aanpassing waren de volgende:

- Telers hadden de wens om alle sensoren en drainmeter direct aan te sluiten op hun klimaatcomputer.
- Niet alle telers wilden hun eigen data “delen” met anderen, of hun data op moeten halen van buiten de deur, en daar ook nog voor moeten betalen.
- De combinatie van sensoren, drainmeter en data-acquisitie gemonteerd onder grond was geen succes (corrosie door natte omgeving en slechte bereikbaarheid voor service).
- De gekozen sensor/datalogger combinatie was storingsgevoelig (corrosie van niet RVS kabeldelen en gevoeligheid voor storingen t.g.v. geïnduceerde aardstromen door plant- en oogstmachines).

De acties die ondernomen zijn, luiden:

- Ontwikkelen van een robuuste drainmeter, en rechtstreeks aansluiten op de klimaatcomputer (uitgevoerd voor alle negen telers).
- Vervangen van SM300 sensoren en GP1 datalogger combinatie door een andere sensor (TRIME PICO of DACOM prikstok), en direct aansluiten op klimaatcomputer of uitlezing via internet (pilot voor 2 telers).
- Kabel/connectoren van SM300-sensoren geseald met zuurvrije silicone gel om corrosie te voorkomen (bij alle telers).
- Het advies om op drie diepten vocht te meten is vervangen door meten op (minimaal) twee diepten. (bij alle telers vier SM300 sensoren geïnstalleerd).
- De regenmeter hoeft in principe niet gebruikt te worden, telers (en het model van optie 3) kunnen terugvallen op de watermeters per kraanvak. Met uitzondering van een enkele teler zijn de regenmeters verwijderd.

De situatie die nu bij afloop van het project is ontstaan is de volgende:

Letsgrow.com: Abonnement op Letsgrow.com vervalt per 31-12-2012 (project financiering).

Drainmeter: Eind 2012 zullen alle drainmeters aangesloten zijn op de klimaatcomputer. De installaties bij VV en KT zijn in december 2012 gepland.

Sensoren: Alle telers hebben SM300 sensoren met gesealde connectoren, en een koppeling via het modem en verbinding met WUR-server. Een directe koppeling met de klimaatcomputer van deze sensoren is nog niet mogelijk. Omdat de telers wel met deze sensoren verder zullen werken, moet er een alternatief komen om op termijn (na 2012) de data van deze sensoren te kunnen inzien via:

- Letsgrow.com of
- Een aangepast programma op hun de teler computer, of
- Uitlees software van WUR-server.

Een andere (geprefereerde) aanpak is een waarbij de toeleveranciers en installateurs vochtsensoren in hun producten pakket gaan opnemen en dat telers daarvan gebruik gaan maken. De TRIME, DACOM en WET-sensoren zijn daarbij mogelijk geschikte kandidaten voor de bedrijven om op te pakken.

5 Conclusies en aanbevelingen

De algemene conclusies voor het gehele project geven aan dat het telen op weinig drain zeker mogelijk is. Er blijkt een grote diversiteit aan telers, gewassen (cultivars), grondsoorten, hydrologie en bemesting te zijn. Dit alles leidt ertoe dat voor iedere teler het emissie-managementsysteem een andere vorm behoeft. Om die reden is er voor gekozen om het emissie-managementsysteem qua opzet modulair te maken. Dit betekent dat een teler kan beslissen welke modules hij naast de aanschaf van een lysimeter zou willen gebruiken. Hij moet zich daarbij vooral laten leiden door welke randvoorwaarden zijn eigen bedrijf stelt, maar ook door welke ambities hij zelf voor zijn watergeef strategie en emissie heeft.

De aanpak van het reduceren van de emissie (uitspoeling van nutriënten naar nul brengen), is in dit project gericht op het reduceren van de drain (het waterspoor). Het verminderen van de drain kan in praktische situaties soms op gespannen voet staan met de normale bedrijfsvoering en watergeefstrategie van de teler. De waterbehoefte van het gewas, zeker in verschillende teeltfasen (aangiet beurten, hoge verdampingsperioden, eindfasen met uitdroging e.d.), kan soms hoger zijn dan de bodem aan water kan bergen. Ook, omdat niet op alle plaatsen in de kas evenveel water wordt afgegeven door het systeem, wil hij ervoor zorgen dat op de “slechtste” plek in de kas ook nog voldoende water wordt toegediend; hierdoor wordt op ander plaatsen teveel gegeven. Een beregeningsoverschot, door de teler dan bewust gekozen, kan dan snel leiden tot drain. Sommige telers hebben hier meer last van dan anderen omdat hun bodem andere (minder gunstige) hydraulische eigenschappen hebben. Nog meer dan de andere telers hebben deze telers dan behoefte aan inzicht in de dynamiek van het water in de bodem, ze willen meer weten over de ‘black-box’ die de bodem voor hun is. Het emissie management systeem met zijn modules biedt de telers een scala aan mogelijkheden om hun waterstrategie te optimaliseren.

Sturen op drain met de lysimeter en drainmeter

De lysimeter biedt telers de mogelijkheid om de werkelijke drain te bepalen. Telers die op langere termijn meer watergeven dan hun gewas nodig heeft, of de bodem kan bergen, zullen een drain meten. De lysimeter werkt traag, effecten van het beregeningsoverschot zijn vaak pas na dagen of soms weken terug te vinden in de drain. Telers kunnen de lysimeter, met drainmeter, daarom alleen gebruiken om te leren, om zo hun water management op termijn aan te passen.

Een te lage toediening aan water kan echter niet met de drainmeter gedetecteerd worden, immers een ‘negatieve’ drain, of wel water dat vanuit het grondwater opgezogen wordt (capillaire opstijging), kan niet gemeten worden met de lysimeter. Daarnaast, als het grondwater niveau erg verschilt van de diepte waarop de onderkant van de lysimeter ligt, dan is de hydrologie in de lysimeter anders dan buiten de lysimeter, en zal de met de lysimeter gevonden drain niet overeen behoeven te komen met de werkelijke drain. Telers die meer zekerheid over hun drain willen weten en meer inzicht in wat er in de bodem gebeurt, zullen daarom kiezen voor aanvullende systemen zoals sensoren of modellen.

Sturen op trends met sensoren

Het effect van een beregeningsoverschot is soms pas na enkele dagen zichtbaar in de lysimeter. Sensoren daarentegen reageren direct op veranderingen in het vochtgehalte in de verschillende bodemlagen. Ze geven de teler ondersteuning bij de dagelijkse planning van de watergift en waarschuwen als de juiste werking van de lysimeter in gevaar komt. Vroeger zijn elektronische tensiometers toegepast voor een terugkoppeling naar de teler van de waterstatus. Tensiometers bleken erg onderhoudsgevoelig, en door vele storingen onbetrouwbaar voor sturing. In het onderzoek zijn de laatste jaren positieve ervaringen opgedaan met elektronische bodemvochtgehalte sensoren.

Telers willen robuuste en betrouwbare bodemvochtsensoren die direct afleesbaar zijn op de klimaatcomputer en het normale teeltproces niet verstoren. Sensoren moeten voor specifiek voor elk type bodem gekalibreerd worden. Alhoewel telers doorgaans hun bodem voor verschillende diepten kunnen classificeren in verschillende typen zoals bijvoorbeeld zand, klei, zavel e.d., heeft de bodem toch vaak zo'n grote variabiliteit dat sensoren per locatie gekalibreerd behoeven te worden. Sensoren moeten voor het instellen van deze sensor specifieke kalibratie een mogelijkheid hebben. Naast bodemvocht is het handig om ook de temperatuur en EC te kunnen meten. Het onderzoek geeft aan dat er zowel in als buiten de lysimeter sensoren geplaatst moeten worden, op een representatieve plek in het teeltvak.

Er moeten dan tenminste op twee diepten sensoren geplaatst worden, één midden in de wortelzone, en één aan de onderrand van de wortelzone. Voor de onderzochte teelten was dit globaal op de diepten 15 en 30 cm. Per gewas kan dit verschillen (bewortelingsdiepte) en iedere teler heeft daarbij eigen inzichten. In het onderzoek is ook gewerkt met een sensor op 60cm diepte, maar deze biedt doorgaans weinig extra informatie voor de teler, omdat er weinig of geen dynamiek in het watergehalte op deze diepte waarneembaar was. Wel gaf deze sensor bijvoorbeeld snel aan als de lysimeter (door bv. een defecte pomp) vol dreigde te lopen. Ook signaleerden we met sensoren buiten de lysimeter een opkomend grondwaterpeil. Sensoren moeten geen last hebben van randeffecten (nabij palen, rand van teeltvak e.d.) en moeten ook op een plek staan waar de berekening optimaal werkt (homogeen).

Met de grafieken die de teler op zijn computer scherm krijgt van de metingen kan hij vervolgens gaan sturen op de trends van het bodemvocht. Juist deze trends geven hem inzicht of de bodem vernat (stijgende trend) of juist uitdroogt (dalende trend), en ook in welke lagen dit gebeurt. De teler zal op termijn gevoel krijgen welke vochtgehalten hij zal moeten aanhouden om te kunnen sturen. Dit is een leertraject. Vervelend daarbij is wel dat de teler zijn referentie vochtwaarde verliest zodra een sensor herplaatst is en dus weer opnieuw zal moeten leren.

Eén teler heeft een aanpak ontwikkeld waarbij hij het optimale vochtgehalte in de wortelzone vindt door exact het moment van eerste drain in de lysimeter na aangieten en starten van oplopende grotere gietbeurten te correleren. Deze teler wil zijn sensoren niet uit de grond halen voor grondbewerking, en neemt het risico op beschadiging van een sensor tijdens het stomen voor lief. Vooral het feit dat hij zijn referentie punt door de jaren heen zal kunnen vergelijken weerhoudt hem ervan om sensoren uit- en in- te graven, los van het werk dat daarmee gemoeid is. Hier ligt mogelijk een taak voor het onderzoek om te zien of er een auto-scaling algoritme ontwikkeld kan worden dat de sensorwaarden altijd op een relatieve wijze tussen 0 en 100% weergeeft waarbij 0 overeenkomt met “droog” en 100% met “nat” volgens het gevoel van de teler. De auto-scaling zou ook zelf-lerend kunnen zijn en telkens de minimale en maximale waarden kunnen vasthouden. Momenten in de teeltfase waarbij de teelt uitdroogt (einde teelt) en volledig op vocht (start teelt) gebracht wordt, zouden daarbij als reset-momenten gebruikt kunnen worden. Een complicerend en lastig fenomeen blijft daarbij de sterke invloed van de langzame verdichting van de bodem die ontstaat door inklinking van de grond na grondbewerking en herplaatsing van de sensor.

Het gebruik van sensoren

Het is zaak dat sensoren tenminste bij de eerste plaatsing voorzien worden van een bodemtype kalibratie. Dat kan door instelling via een voorkeurs kalibratie curve van de fabrikant of door middel van een plaats specifieke bemonstering van de bodem, gravimetrische analyses en vervolgens een sensor specifieke kalibratie instelling in de computer of sensor hardware. Herkalibratie van sensoren is in principe nodig na het verwijderen van de sensoren voor grondbewerking en/of stomen. In veel gevallen zal dit te tijdrovend zijn voor telers zodat deze moeten terugvallen op de kalibraties die eerder gedaan zijn of op standaard curven. Hoe meer aandacht voor de kalibratie des te nauwkeuriger zal het volumetrisch vochtgehalte zijn. Telers die minder aandacht aan kalibratie besteden moeten zich realiseren dat daarmee de getallen die de sensoren produceren minder accuraat het bodemvochtgehalte weer zullen geven. Los hiervan weten we dat de variatie van het bodemvochtgehalte in een teeltvak, maar zeker in de gehele kas, erg groot kan zijn. Daarom is het maar zeer de vraag of het wel nodig is om het absoluut vochtgehalte te weten.

Bij alle telers zijn proeven uitgevoerd met de SM300 (Delta-T Devices via Eijkelkamp Agrisearch BV), welke uitleesbaar waren via LetsGrow.com. Bij een aantal teelten is op de meetsignalen storing van plant- en oogstmachines gezien, evenals corrosie van de connectoren. Voor deze problemen zijn oplossingen ingezet zoals het vervangen van de connectoren en kabels (evt. door RVS typen) en het sealen met siliconenvet van de kabels/connectoren. Ervaringen met deze sensoren heeft nog eens duidelijk gemaakt dat telers vooral behoefte hebben aan robuuste sensoren. Daarvoor is een specificatielijst (zie Bijlage 8.1) opgesteld welke telers en leveranciers kunnen gebruiken om de meest geschikte sensor voor hun situatie te selecteren.

Niet alle sensoren zijn geschikt om eenvoudig een koppeling met de computer te maken. De TRIME PICO 64 (IMKO, via Eijkelkamp Agrisearch BV) heeft interne kalibratie en een rechtstreekse koppeling. Met deze sensor is bij één teler een pilot experiment uitgevoerd. De evaluatie was nog niet afgerond bij het afronden van het project.

Wel is er door de teler gerapporteerd dat ook deze sensoren last hadden van storing op de signalen. Over de werking van de EC-meting met deze sensoren is nog geen duidelijkheid. Op basis van de specificaties van deze sensoren zou de sensor intern een correctie algoritme op de bulk EC hebben om zo de poriënwater EC te kunnen bepalen. Telers zouden veel baat bij deze meting kunnen hebben omdat deze poriënwater EC is te correleren met de werkelijke nutriënten uitspoeling. Voor het zover is zou er meer onderzoek uitgevoerd moeten worden in hoeverre deze relatie robuust in de praktijk ingezet kan worden.

Er is ook een experiment gestart met een eenvoudig herplaatsbare prikstok van DACOM. Deze werkt op een batterij met zonnepaneel, heeft zes meetpunten en is draadloos. Een directe computerkoppeling is vooralsnog daarvoor niet beschikbaar, maar data wordt opgehaald van de DACOM server en kan op de PC bekeken worden. Ook dit experiment is niet volledig afgerond en loopt nog. Wel is er inmiddels als goede ervaring mee opgedaan. De sensoren lijken geen last van storing te hebben ten gevolge van oogst- en plantmachines, terwijl het experiment juist was opgezet bij de teler die daarvan veel last had met het eerdere systeem. Vooralsnog lijkt het er dus op dat sensoren die niet direct een koppeling met het 230V-net hebben (DACOM werkt op batterij en zonnepaneel) hier een voordeel hebben.

Voor alle sensoren blijft gelden dat ze niet stoombaar zijn en verwijderd moeten worden voor het stomen en diepe grondbewerking.

Een aanbeveling aan toeleveranciers en klimaatcomputer fabrikanten is, dat zij nu er naar toe moeten werken om ook vochtsensoren (met koppeling op de klimaatcomputer) in hun producten pakket standaard op te gaan nemen. Er moet wel voor een goede sensor gekozen worden, en toeleveranciers en installateurs (eventueel adviseurs) moeten er op toezien dat de telers de sensoren op een juiste wijze gaan gebruiken.

Om de optimale watergift (moment en beurtgrootte) te bepalen kunnen telers vooral gebruik maken van trendmeting (onder wortelzone) en directe terugkoppeling (in wortelzone). Telers kunnen een referentie vochtgehalte vinden om op te sturen door het eerste drainmoment na de start van een teelt op te zoeken door steeds grotere beurten te geven. Telers vinden zo de maximale watergift (beurtgrootte) waarbij geen uitspoeling plaatsvindt. Ze kunnen deze kennis dan vervolgens ook inzetten bij de andere teeltvakken waar geen lysimeter en sensoren staan.

Sturen naar behoefte met modellen

Telers kunnen gaan sturen op de behoefte van de plant (om daarmee uitspoeling naar nul te brengen) door te kiezen voor een uitbreiding op de lysimeter en sensoren met een Beslissings Ondersteunend Systeem met ingebouwde modellen. De modellen bevatten alle gecumuleerde kennis omtrent het watertransport in de bodem en de verdamping. Doordat ook per teelt de cumulatie gereset kan worden, kan de teler tevens een compleet historisch inzicht krijgen per teelt en teeltseizoen. Op basis van die modellen kan de teler voorspellen of een bepaalde beregeningsactie al of niet zal leiden tot uitspoeling. Met de lysimeter alleen kan hij pas na enkele dagen tot weken reageren op een te hoge drain; met de sensoren kon hij al op dagbasis bekijken wat er na een gietbeurt gebeurt; maar, met modellen (verdamping van het gewas, transport van water en meststoffen in de bodem) kan hij gericht op voorhand dus de juiste keuzes maken. Modellen zijn sterk onderhevig aan wijzigingen door voortschrijdende inzichten vanuit onderzoek. Hierdoor is het verstandiger om modellen op een centrale plaats (een remote server) te onderhouden en te laten werken. Daarom verdient het aanbeveling om ook de benodigde proces data (klimaat, drainmeter en sensoren) beschikbaar te stellen via een internet link met de externe server en daarvan weer terug de resultaten te ontvangen. In het onderzoek is voor dit doel LetsGrow.com gebruikt.

De telers binnen het project hebben de wens geuit om de drainmeter, regenmeter en bodemvochtsensoren rechtstreeks via hun klimaatcomputer te kunnen inzien. Om die reden is aan het eind van het project een actie ondernomen om voor deze systemen de weg via de WUR-server en LetsGrow.com te ontkoppelen en daarvoor een directe koppeling met de klimaatcomputer te realiseren. Het resultaat van deze ontkoppeling is daarmee wel dat op de korte termijn telers geen inzicht meer hebben in de cumulatieve data van drain en de regenmeter, omdat de klimaatcomputer software daarvoor soms niet direct een mogelijkheid voor biedt. In ieder geval een teler heeft aangegeven dat te missen. Klimaatcomputer fabrikanten moeten daartoe dus aanpassingen in hun systemen maken.

Zolang klimaatcomputer fabrikanten geen extra faciliteiten ontwikkelen, zal in de nabije toekomst de DSS op de WUR-server zich toegang tot de benodigde input data (ook dus de drain en regenmeter) moeten verschaffen via een andere route, zoals bijvoorbeeld de standaard weg via LetsGrow.com. Er zullen nog een aantal stappen gezet moeten alvorens telers vanuit hun toeleveranciers een kant en klaar product kunnen afnemen voor de modellen. Het verdient aanbeveling om met alle betrokken partijen (onderzoek, toeleveranciers, installateurs) te komen tot een standaard aanpak zodat marktintroductie vereenvoudigd kan worden. Telers zullen vooral de wens hebben om de modellen ook op de klimaatcomputer te krijgen, maar vanwege het onderhoud en het feit dat de data een bewerkingsslag nodig heeft om praktisch te zijn, zal dat een lange weg zijn. Mogelijk dat het verdampingsmodel een eerste model is dat geïntroduceerd zou kunnen worden. Internationaal (ook bij open teelt sturing van watergiften bijvoorbeeld in aride gebieden) is dit namelijk al redelijk ingevoerd, sturen op verdamping.

Telers hebben vaak meerdere teelten op hun bedrijf staan in verschillende fases, zoals bijvoorbeeld in de chrysantenteelt. De watergift in die teeltvakken kan dan niet 1-op-1 gekopieerd worden van het teeltvak waar de lysimeter staat. Vanwege de hoge investerings- en onderhoudskosten kunnen sensoren en lysimeters ook maar in één of hooguit enkele teeltvakken geïnstalleerd worden. Het emissie management-adviesstelsel biedt dan de mogelijkheid om modellen voor gewasverdamping en bodemuitspoeling (optie 3) in te zetten in de teeltvakken zonder monitoring. De kennis die de teler opdoet in het vak met de lysimeter/drainmeter en de vochtsensoren kan ingevoerd worden in die modellen in parametervorm, waardoor ook de andere teeltvakken optimaal gefertigeerd kunnen worden en min of meer asynchroon meelopen met het teeltvak van de lysimeter. In het onderzoek is geëxperimenteerd met het kalibreren van het verdampingsmodel op basis van op langere termijn gemeten drain (zie Heinen, 2012). Deze methode lijkt een redelijke mogelijkheid te bieden om een beter water management ook te realiseren in die teeltvakken waar geen lysimeter of sensoren staan.

Samenvattend moeten telers vooral letten op:

- Gebruik een robuuste bodemvochtgehalte sensor en wees kritisch bij aanschaf (checklist).
- Installeer en gebruik de sensoren volgens advies (instructie boek).
- Gebruik de standaard bodemkalibratie van de leverancier, of laat een gravimetrische bodemkalibratie uitvoeren.
- Voor het optimaal houden van de nauwkeurigheid van bodemvochtgehalte sensoren, is het zinvol om een her-kalibratie uit te voeren na herplaatsing van de sensoren na grondbewerking en stomen.²
- Laat sensoren zolang mogelijk ongestoord in de grond zitten.
- Let bij teelthandeling erop waar sensoren in de grond zitten en instrueer het personeel daarover.
- Gebruik vooral trendmeting (onder wortelzone) en directe terugkoppeling (in wortelzone) om de optimale watergiften te bepalen. Probeer een referentie vochtgehalte te vinden door te correleren met drainmomenten uit de lysimeter.
- Met de Beslissings Ondersteunend Systeem kan water gegeven worden naar behoefte van de plant (verdampingsmodel)
- Emissies zijn inzichtelijk te maken door verschillende watergeefstrategieën vooraf te evalueren (scenario's) met het bodemmodel.
- De werking van de lysimeter kan met de sensoren gecontroleerd worden.
- Met het emissie management systeem, met al zijn modules of onderdelen daarvan, kunnen telers ervaringen opdoen en meer inzicht verkrijgen over de waterstromen in hun bodem (de black-box). Dit alles is een leerproces.

2 Telers hebben in principe de keuze om uit kostenoverwegingen toch niet te besluiten na herplaatsing een hernieuwde kalibratie uit te voeren. In dat geval moeten telers zich realiseren dat de sensoren mogelijk minder nauwkeurig het absolute vochtgehalte aan zullen geven. Vergelijk met eerdere perioden zal dan lastiger zijn, en telers zullen zich meer moeten laten leiden door trends. Er is meer onderzoek nodig om een methode te ontwikkelen die het in de praktijk mogelijk maakt om één standaard kalibratie per bodemtype te gebruiken, om zo te voorkomen dat sensoren altijd per stuk gekalibreerd behoeven te worden.

Het toeleveranciers zouden vooral moeten letten op:

- Het aanbieden van sensoren en bijbehorende hardware/software in het productenpakket van de klimaatcomputer fabrikant, waar mogelijk in de vorm van een totaalpakket voor emissie management voor de lysimeter, drainmeter, sensoren en eventueel enkele modellen.
- Het aanbieden aan telers van goede installatie en gebruiksinstructies voor sensoren.
- Letsgrow.com, en andere datahosting leveranciers, moeten een emissie management module ontwikkelen specifiek voor de lysimeter welke een koppeling met externe modellen van WUR kan waarborgen.
- Storingen van andere bronnen in de kas op de sensormeetwaarden kunnen vooral voorkomen worden door toepassing van draadloze systemen (zonnepanelen en accu's) waarmee een direct elektrisch contact via de bodem met het elektrisch net wordt voorkomen.

Het onderzoek kan zich vooral richten op:

- Het verder door ontwikkelen van modellen voor gewas verdamping en bodem hydrologie
- Het verder ontwikkelen van strategieën om sensor signalen via grafieken inzichtelijk maken, en te vertalen in gerichte acties voor telers.
- Het ontwikkelen van een robuust algoritme om fouten en storingen uit sensor signalen te filteren.
- Het ontwikkelen van een strategie om in de praktijk eenvoudig en zonder veel tijdsinspanning met her-kalibratie om te gaan (het behouden van referentie vochtgehalten/setpoints). Bijvoorbeeld het nadenken over weergave van sensortrends (auto scaling).

6 Referenties

- Bakker G., M. Heinen, F.B.T. Assinck & W. Voogt, 2010. Lysimeter als meetinstrument voor emissies in grondgebonden glastuinbouw. Alterra-rapport 2105. Alterra, Wageningen.
- Balendonck, Jos, Max Hilhorst, 2002. WET-sensor - Application note (Revision: Version 2), Wageningen, February 1st, 2002, IMAG B.V. Revised from: Report Number: 2001-07 / ISBN 90-5406-193-6.
- Balendonck, J. *et al.* 2010. FLOW-AID, Farm Level Optimal Water management: Assistant for Irrigation under Deficit. Publishable Final Activity Report, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving BV, Wageningen, August 17th, 2010, beschikbaar via: www.flow-aid.eu.
- Bissey, L.; Cobos, D. R.; Campbell, C. S.; Dunne, K., 2010. Development of a Sensor to Measure Water Content and Pore Water Electrical Conductivity of Soilless Substrates. Decagon Devices, Inc., 2365 Ne Hopkins Court, 83843, Pullman, WA, United States. Congres IHC₂010 Lisboa, Portugal.
- Darold Wobschall, Deepak Lakshmanan, 2005. Wireless Soil Moisture Sensor Based on Fringing Capacitance (Esensors Inc, Buffalo NY, and University at Buffalo NY) Sensors, 2005 IEEE http://www.eesensors.com/DocsPDFs/ESP06_moist.pdf. ISBN: 0-7803-9056-3. Digital Object Identifier: 10.1109/ICSENS.2005.1597624 4 pp.
- Delta-T Devices Ltd, 2010. SM300, Soil Moisture and Temperature Sensor, Quick Start Guide version 1.1
- Heinen, M., F. Assinck, W. Voogt, G.-J. Swinkels & J. Balendonck. 2012. Ontwikkeling emissie-managementsysteem grondgebonden teelt - modellen ; modellen. GTB rapport nummer GTB-1192, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk. Ook verschenen als Alterra-rapport 2369, Wageningen UR Alterra, Wageningen, oktober 2012.
- Hilhorst, M.A., 1998. Dielectric characterisation of soil. Doctoral Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, Publication nr. 98-01, ISBN 90-5406-162-6, 141p.
- Incrocci, L., G. Incrocci, A. Pardossi, G. Lock, C. Nicholl and J. Balendonck, 2008. The calibration of WET® sensor for volumetric water content and pore water electrical conductivity in different horticultural substrates. ISHS Symposium Antalya 2008.
- Regalado, C. M., A. Ritter, O. Garcia, 2010. Dielectric Response of Commercial Capacitance, Impedance and TDR Electromagnetic Sensors in Standard Liquid Media, The 3rd Int. Symp. On Soil Water Measurement Using Capacitance, Impedance and TDT, Murcia, Spain, paper 1.3.
- Sonneveld, Cees; Wim Voogt, 2009. Nutrient Management of Soil Grown Crops, in: Plant Nutrition of Greenhouse Crops, 2009, pp 363-391.
- Topp, G.C., J. L. Davis, A. P. Annan, 1980. Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 16, NO. 3, PAGES 574-582, JUNE 1980.
- Voogt *et al.* 2012a. Ontwikkeling emissie-managementsysteem grondgebonden teelt - lysimeter en drainmeter. GTB rapport nummer GTB-1190, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk, oktober 2012.
- Voogt *et al.* 2012b. Ontwikkeling emissie-managementsysteem grondgebonden teelt; - praktijktoetsing. GTB (deel IV), rapport nummer GTB-1193, Wageningen UR Glastuinbouw, Bleiswijk. oktober 2012.
- Voogt, W.; van Winkel, A., Houter, B. 2009. Ontwikkeling en toetsing van de lysimeter voor chrysantenbedrijven meet diep grondwater. Bleiswijk, Wageningen UR glastuinbouw, Rapport 295, 41 p. Weihermüller, L., Siemens, J., Deurer, M., Knoblauch, S., Rupp, H., Göttlein, A., and Pütz, T.: In Situ Soil Water Extraction: A Review, J. Environ. Qual., 36, 1735-1748, 2007.

7 Bijlagen

7.1 Marktverkenning sensoren

Bij het zoeken naar geschikte sensoren voor toepassing in de grondteelten in kassen is een marktverkenning (quick-scan) uitgevoerd naar beschikbare bodemvochtgehalte sensoren. Het is bekend dat de afgelopen twee decennia (sinds 1990) veel elektronische watergehalte sensoren op de markt zijn verschenen. Vooral na de introductie van TDR (Topp, 1980) en WET-sensoren (Hilhorst, 1998).

De variatie in het aanbod is enorm groot, zowel qua kwaliteit, functies als ook in prijs. Het was ondoenlijk om een uitputtende lijst te maken, maar nog lastiger om alle specificaties volledig in beeld te krijgen. De volgende informatie is een 1-op-1 weergave van informatie die is verzameld via een web-search (Engelse teksten zijn onvertaald, volledig overgenomen). De specificaties van de sensoren zijn niet geverifieerd door ook de wetenschappelijke literatuur daarover te raadplegen, alhoewel ook daar inmiddels al veel over beschikbaar is. De prijs is indicatief, gegeven voor een totale installatie (sensoren, koppeling en software) er vanuit gaande dat er tenminste 2x2 meetpunten geïnstalleerd worden. Uit het onderzoek is een specificatielijst voortgekomen (Tabel 5. Specificaties bodemvochtgehalte sensoren) voor sensoren die als robuust voor de grondteelt in kassen beschouwd kan worden.

Tabel 5. Specificaties bodemvochtgehalte sensoren.

Inzet voor trendmeting (onder wortelzone) en directe terugkoppeling (in wortelzone) op watergiften en controle van de werking lysimeter. Direct zichtbaar op klimaatcomputer. Weergave op computer van grafieken, in relatie te zien tot watergiften, verdamping en drainage.
Analoge interface voor klimaatcomputer (0 - 4-20mA).
Robuuste sensoren, bekabeling en connectoren. In verband met corrosiebestendigheid (kabel aanhechting - water indringing) liefst een aangegoten kabel (geen connector).
Stoombaar als mogelijk (sensoren laten zitten). Sensoren die niet uit de grond kunnen, moeten na het stomen blijven functioneren. Tijdens stomen moet in dat geval de sensor van spanning af gaan, of in ieder geval niet actief zijn.
Storingsongevoelig (oogst- en plantmachines).
Eenvoudige installatie.
Bescherming tegen grondbewerking (metalen gaas/kabels).
Kalibratie voor bodemsoort, in % (volume fractie), eenvoudig aanpasbaar of in sensor, of in interfacing of in computer.
Naast vochtgehalte liefst ook mogelijkheid om EC en T te meten.
Redelijk betaalbaar (~ € 500 per meetpunt). Logging frequentie: 1 x per 5 minuten, logger faciliteit.
Nauwkeurigheid (1%), Vochtgehalte ongevoelig voor bulk EC meting. In orde van enkele vol. % (na eenmalige bodemtype kalibratie) ¹ . Sensor meetfrequentie (>50 MHz, minder gevoelig voor bodemtype kalibratie).
Aantal (minimaal) per lysimeter: 4 stuks (2 in bak, 2 buiten bak). Plaatsen in en net onder wortelzone (bv 15 en 30 cm onder maaiveld).

Op basis van deze wensenlijst is uit de marktverkenninglijst een selectie gemaakt voor die sensoren die grotendeels konden voldoen aan deze wensen. De geselecteerde sensoren zijn weergegeven door middel van een grijze balk. Omdat het selectie proces uitsluitend op basis van door de fabrikant gegeven specificaties (in alle beperkingen) en de wensen is gemaakt, is het niet zo dat de geselecteerde sensoren behoeven te voldoen aan alle telers wensen. Omgekeerd zal het ook niet zo zijn dat niet geselecteerde sensoren a priori ongeschikt zijn voor toepassing. Vooralsnog is er onvoldoende praktische ervaring met bodemvochtgehalte sensoren om tot een 100% waterdicht advies te komen.

Alleen de TRIME PICO 64 en DACOM TerraSen zijn daadwerkelijk in pilots ingezet. Met de WET-sensor + Growlab convertor zijn ervaringen bij WUR-glastuinbouw (Bleiswijk) opgedaan, en zijn een paar sensoren aan het begin van het onderzoek bij de bio-telers toegepast. M.b.t. de werking van andere sensoren is binnen het project geen praktijkervaring opgedaan.

WaterScout SM 100 Soil Moisture Sensor

Vertegenwoordiging in Nederland (Aalten), ook verkrijgbaar als SM300EC met W, EC, T. Ook verkrijgbaar via Verdict Systems, Aalten.



Waterscout, Spectrum technologies, Inc.

- Capacitance-type sensor responds immediately to changes in soil moisture content
- Calibrated for mineral soils or soilless media
- Installs easily into 3/4 in (1.9 cm) hole
- Install permanently or use to take spot measurements
- Can be read with hand-held digital reader or connected to data logging weather station
- Compatible with 1000 Series Micro Stations and all 2000 Series Weather Stations and Mini Stations
- Connect up to 8 sensors to one station Not compatible with 400/200 loggers. WatchDog Stations sold prior to 2009 must be upgraded. (call for support)

WET-sensor

De WET sensor van Delta T kan T, EC en vocht meten, aanschafprijs ca. €800 per stuk. De koppeling is serieel (RS232 op TTL niveau). Er is binnen WUR Glastuinbouw ervaring met deze sensor. Er zijn een aantal sensoren in Wageningen en Bleiswijk op voorraad. De sensor kan uitgelezen worden met de GP1 datalogger. Behoeft een computer met rekenmogelijkheden om watergehalte te bepalen.



WET sensor WET2 Delta T.

Measures Water content, EC and Temperature, directly within the root zone. The WET Sensor has crucial applications in precision horticulture and soil science research and is usable in both soils and growing substrates. It is exceptional in its ability to measure pore water conductivity (ECp), the EC of the water that is available to the plant. Where plants are grown in artificial substrates, nutrients are routinely supplied in irrigation water, “fertigation”. Nutrient levels are controlled by monitoring the water content and conductivity (EC) and adjusting the injection of liquid fertiliser into the irrigation water. The Delta-T WET Sensor excels in monitoring this crucial information. Container-grown shrubs and trees. Nutrients are sometimes provided by fertigation but are often provided by Controlled Release Fertilisers. The rate at which these are taken up depends on the weather conditions. The Delta-T WET Sensor can be used to measure the EC within the growing media and so take much of the guesswork out of this process. Soil salinity: If the irrigation water is recycled or abstracted from rivers with high levels of dissolved salts, over time there can be a build up of soil salinity. Soil salinisation will eventually reduce crop yields. The WET Sensor is fast and efficient for sampling soil salinity, ensuring that farmers have the essential information they need to take remedial action as quickly as possible.

SM300

De SM300 (vervangt SM200) en meet bodemvocht en bodemtemperatuur, de meetwaarden zijn als een analoog signaal van 0-1V beschikbaar. Documentatie: [delta\SM300 data sheet.pdf](#) en [delta\SM300 user manual.pdf](#) verkrijgbaar via website.



Delta T SM300 (analog).

New research grade sensor. Soil moisture and temperature. The new SM300 achieves $\pm 2.5\%$ accuracy and offers outstanding performance in all soil types. The SM300 is a versatile, high quality, research grade sensor that offers convenience and cost saving by combining soil moisture and temperature measurement in a single probe. Analogue output (0-1V). Thermistor output for T. Price is about €200-300.

Theta-probe

Deze sensor berust op het meten van een staande golf verhouding op een transmissielijn afgesloten met set van 4 meetpennen die in de bodem gestoken zitten. Het vochtgehalte en de EC zijn als een analoog signaal van 0-1 V beschikbaar. Documentatie via website: [ML2x Thetaprobe User Manual.pdf](#); [ThetaProbe ML2x Principles of Operation and Applications.pdf](#) en [delta\TK3 ThetaKit Data Sheet.pdf](#).



ThetaProbe Soil Moisture Sensor - ML2x (digital).

High performance soil moisture sensor - true $\pm 1\%$ accuracy. With the ThetaProbe it's easy to make reliable, accurate soil moisture measurements. Simply insert the probe into the soil, connect to your data logger or meter, and within seconds you can be logging soil moisture. ThetaProbes are robust, buriable and maintenance free. Easy data logger connection (DC in DC out). Excellent temperature and salinity stability. Dual purpose: either hand-held for spot readings or left in-situ for data logging. With the ThetaProbe it's easy to make reliable, accurate soil moisture measurements. Simply insert the probe into the soil, connect to your data logger or meter, provide 5-15V DC at 20mA, and within seconds you can be logging soil moisture. ThetaProbes are robust, buriable and maintenance free. They can be easily installed at depth in the soil by inserting them into augered holes using the optional extension tubes.

Decagon EC5



Decagon EC5.

Lowest Cost Individual Sensors for Large Sensor Networks. Looking for a basic, no-frills soil moisture sensor? Use the EC-5 to accurately measure water content in any soil or soil-less media with minimal salinity and textural effects. The EC-5 delivers research-grade accuracy at a price that makes large sensor networks economically practical. You can adequately characterize your site with sensors at multiple depths and locations, even if you're on a tight budget. Engineered for Accuracy. The EC-5 determines volumetric water content (VWC) by measuring the dielectric constant of the media using capacitance/frequency domain technology. The sensor uses a 70 MHz frequency, which minimizes salinity and textural effects, making the EC-5 accurate in almost any soil or soil-less media. Factory calibrations are included for mineral soils, potting soils, rockwool, and perlite. Easy Installation. The EC5's small size makes it easy to install—handy in field installations and good for nursery pots. The EC-5's robust design makes it easy to push directly into undisturbed soil to ensure good accuracy. Integrate with CSI Data Loggers. The EC-5's analog signal means no-hassle integration with systems run by other data loggers (like CSI). Reasons to pick the EC-5: If volumetric water content is the only measurement you need. If you have a tight budget. If you just want a simple, all-purpose sensor with excellent accuracy. If you are interested in a small volume of influence (eg., field spatial variability, lab column studies, or greenhouse research).



ECHO-10 (Decagon Devices + ONSet A/D convertor).

Measure soil water content with the affordably-priced Soil Moisture Smart Sensor; this sensor integrates the field-proven ECH20™ Sensor and a 12-bit A/D, providing $\pm 4\%$ accuracy in typical soil conditions, and $\pm 2\%$ accuracy with soil-specific calibration. The sensor's thin profile and 10 cm probe length make the sensor easy to install, while measuring a representative cross-section of soil. Readings are provided directly in volumetric water content. Measurement Range: In soil: 0 to 0.450(m³/m³) Extended range: -0.376 to 1.964 m³/m³ (full scale) The sensor is capable of providing readings outside the standard volumetric water content range. This is helpful in diagnosing sensor operation and installation. See the Operation section below for more details. Accuracy: ± 0.041 m³/m³ ($\pm 4\%$) typical 0 to 50 °C (32° to 122°F); ± 0.020 m³/m³ ($\pm 2\%$) with soil specific calibration. This is a system level accuracy specification and is comprised of the ECH20 probe's accuracy of ± 0.04 m³/m³ typical (± 0.02 m³/m³ soil specific) plus the smart sensor adapter accuracy of ± 0.001 m³/m³ at 25 °C (77°F). There are additional temperature accuracy deviations of ± 0.003 m³/m³ / °C maximum for the ECH20 probe across operating temperature environment, typical < 0.001 m³/m³ / °C. (The temperature dependence of the smart sensor adapter is negligible.) Resolution: ± 0.0006 m³/m³ ($\pm 0.06\%$).

Soil Probe Dimensions: 152 x 32 x 1.0 mm (6 x 1.25 x 0.04 in.) Weight: 190 grams (6.7 oz) Decagon ECH20 Probe Part No.: EC-10 Sensor Operating Temperature: 0° to 50 °C (32° to 122°F). While the sensor probe and cable can safely operate at below-freezing temperatures (to -40 °C/F) and up to 75 °C (167°F), the soil moisture data collected at these extreme temperatures is outside of the sensor's accurate measurement range. Bits per Sample: 12 Volume of Influence: 0.13 liter (4.4 oz) Sensor Frequency: 5 MHz Number of Data Channels: 1 (A single smart sensor-compatible HOBO logger can accommodate 15 data channels and up to 100 m (328 ft) of smart sensor cable (the digital communications portion of the sensor cables) Measurement Averaging Option: No Cable Length Available: 5 m (16 ft) Length of Smart Sensor Network Cable: 0.5 m (1.6 ft).

Costs: \$139

10HS Soil Moisture, large volume, Decagon



10HS Soil Moisture, large volume, Decagon.

Larger Volume of Influence. Looking for a soil moisture sensor with a larger volume of influence? Use the 10HS to accurately measure water content in virtually any soil with minimal salinity and textural effects. Characterize Spatial Variability. At 10 cm long, the 10HS has a 1 liter area of influence. Imagine the probe running the length of a one liter bottle-the bottle represents the approximate area of influence. The 10HS will estimate the volumetric water content of the soil within that volume. Engineered for Accuracy. The 10HS determines volumetric water content (VWC) by measuring the dielectric constant of the soil using capacitance/frequency domain technology. The sensor uses a 70 MHz frequency, which minimizes salinity and textural effects, making the 10HS accurate in almost any soil. Factory calibrations can be used in most typical soils with a saturation extract EC of 10 dS/m.

Decagon ECH20 EC-5

Deze sensor heeft een digitale koppeling geschikt voor de datalogger EM50. Op deze datalogger kunnen 5 sensoren aangesloten worden, uitlezing via een seriële poort (COM poort). In Bleiswijk zijn uit een proef een tiental sensoren eventueel beschikbaar. Uit deze proef is ook data beschikbaar zodat de bruikbaarheid bestudeerd kan worden (Decagon sensoren en dataloggers\data). De importeur is Catec b.v. (Wierden). www.decagon.com www.downloads.hortipro.com/?HortiPro_-_Decagon en Decagon - ECHO-probe versie 5TE (met EC). WUR (Bleiswijk) heeft ervaring, maar heeft vragen over de EC-meting nauwkeurigheid. Er zijn ook goedkopere varianten.



Decagon ECH20 EC-5 Moisture sensor (digital).

ECHO-probe versie 5TE (Digitaal met EC)

De Decagon 5TE sensor meet bodemvocht, EC en T. Output: Serial TTL, 3.6 Volt Levels or SDI 12. Documentatie: SDI-12_version1_3 January 12 2009.pdf en HortiPro_Decagon5TE.pdf. Ervaring met deze sensoren is o.a. opgedaan in het FLOW-AID onderzoek (Balendonck, *et al.* 2010) met experimenten in het open veld (Vredepeel, sla en prei in vollegrond). Vooral een eenvoudige interface, lage kostprijs (ca. €300) maar onduidelijkheid over de werking van de EC meting. Ook geëvalueerd door Regalado (2010).



Decagon - ECHO-probe versie 5TE (Digitaal met EC).

Our full-featured soil moisture sensor. Measures volumetric water content, temperature, and electrical conductivity in soil. This three-pronged, 5 cm long sensor is for use in soil only. High frequency oscillation and patented signal filtering deliver excellent accuracy with minimal textural effects. Serial or SDI-12 communication give lots of options for integrating into systems run by other data loggers (including Campbell Scientific). Leverbaar via dealer CATEC in Nederland (<http://www.decagon.com/netherlands-benelux/>). Meet bodemvocht, EC en T. Output: Serial TTL, 3.6 Volt Levels or SDI 12

5TM Soil Moisture and Temperature, Decagon



5TM Soil Moisture and Temperature, Decagon.

Measurements: Dielectric Permittivity, Soil Moisture, Temperature, Volumetric Water Content Applications: Greenhouse Management, Microbial Ecology, Soil Respiration, Watershed Our full-featured soil moisture sensor. Measures volumetric water content, temperature, and electrical conductivity in soil. This three-pronged, 5 cm long sensor is for use in soil only. High frequency oscillation and patented signal filtering deliver excellent accuracy with minimal textural effects. Serial or SDI-12 communication give lots of options for integrating into systems run by other data loggers (including Campbell Scientific). Characterization. Many a researcher has looked over a soil moisture data set and thought, "I wish I had temperature data with this." Temperature Integrated with Soil Moisture. The 5TM delivers temperature along with accurate volumetric water content. Temperature is measured with an onboard thermistor. Engineered for Accuracy. The 5TM determines volumetric water content (VWC) by measuring the dielectric constant of the soil (or other media) using capacitance/frequency domain technology. Signal filtering minimizes salinity and textural effects, making the 5TM accurate in almost any soil or soil-less media. Factory calibrations are included for mineral soils, potting soils, rockwool, and perlite. Easy Installation. The 5TM's small size makes it easy to install—perfect in field installations. This robust probe can be pushed directly into undisturbed soil to ensure good accuracy. Its compact design makes it useful in labs and greenhouses as well.

Trime PICO 64 of 32

De Trime PICO sensor berust op het TDR principe. De koppeling is optioneel analoog of digitaal. Via de digitale koppeling kan de sensor geconfigureerd /geparametriseerd worden. De fabrikant IMKO levert een uitgebreid software pakket voor het configureren en loggen. De fabrikant beweert dat de sensor ook bij hoge zout concentraties nog goed werkt. De website is uitgebreid en geeft veel informatie. Vertegenwoordiging Eijkelkamp, account manager Jaap Slaager (www.eijkelkamp.com, j.slaager@eijkelkamp.com). De richtprijs per stuk €585.

Documentatie: TRIME-PICO64-32-manual_engl_web.pdf; IMKO\BLUE-EDITION_brochure_ENG_web.pdf



Trime PICO 64 of 32.

Using a highly accurate TDR probe like the Pico 64 or Pico 32 for: Highly accurate TDR technology. Direct measurement of soil moisture content. Integrated soil temperature sensor. Large measurement volumes (PICO 32 small volumes). User replaceable rods. Trime Pico 32 or Trime Pico 64 probes can be networked, logged or read manually with the HD2 display unit. To take measurements the probe rods are inserted into the soil and within a few seconds the moisture measurement and soil EC values and temperature are presented on the HD2 display. The operating mode "Normal" shows you at a glance the value of Moisture, Temperature, and the RBC (material conductivity).

SPECIFICATIONS: Power supply: 7V.24V-DC, Power consumption: 100mA @ 12V/DC during 2.3sec. of measuring, Moisture measuring range: 0.100% volumetric water content, Soil temperature measuring range: -15 °C.50 °C, Soil temperature measuring accuracy: $\pm 0,2$ °C, Measurement volume: 1.25L \pm 160x100mm diameter, Operating Temperature: -15 °C.50 °C (extended temperature range on request), Probe body: Waterproof sealed PVC (IP68), Size: 155 x \varnothing 63mm, Rod length: standard: 160mm, Rod diameter: 6mm, Interfaces: IMP-BUS, RS485, Analogue output: 2x 0.1V, 0(4).20mA* 0.100% vol. water content -40.+70 °C soil temperature. Bulk soil electrical conductivity up to 12dS/m. Large measurement volume > 1250ml

Soil Moisture Sensor (Vernier)

Dit is mogelijk een variant van de ECHO probe of EC5. Dit type sensoren wordt namelijk via een groot aantal resellers in de markt gezet. Documentatie: sms-bta.pdf.



Soil Moisture Sensor (Vernier, ECHO probe EC5?).

Range 0 to 45% volumetric water content in soil (capable of 0 to 100% VWC with alternate calibration). Accuracy $\pm 4\%$ typical. 13-bit resolution (using SensorDAQ) 0.05%. 12-bit resolution (using LabPro, LabQuest, LabQuest Mini, Go!Link, or EasyLink). 0.1%. 10-bit resolution (using CBL 2) 0.4%. Power 3 mA @ 5VDC. Operating temperature $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dimensions 8.9 cm \times 1.8 cm \times 0.7 cm (active sensor length 5 cm). Stored calibration: slope 108%/volt. intercept -42%. Price USD 130.

Vegetronix VG400



Vegetronix VG400 Soil Moisture Sensor Probes.

(www.vegetronix.com/Products/VG400/). Our VG400 series soil moisture sensor probes enable precise low cost monitoring of soil water content. Because our probe measures the dielectric constant of the soil using transmission line techniques, it is insensitive to water salinity, and will not corrode over time as does conductivity based probes. Our probes are small, rugged, and consume under a milliamp of power. Compared to other low cost sensor such as gypsum block sensors, our probes offer a rapid response time. They can be inserted and take an accurate reading in under 1 second. We offer two probes in the VG400 series. The VG400 which has an output range of 0 to 3V and the VG400-LV which has an output range of 0 to 1.8V related proportionally to water content. The VG400-LV is so power efficient that it can be run continuously for over 300 hours from a single coin battery, or over 5 years if the soil is sampled once per minute.

When choosing between the -LV and standard VG400, only use the -LV, if you have to power the probe with less than 3.3V. Probes come standard with a 2 meter cable. Also see our high frequency VH₄00 series soil moisture sensors, which are more sensitive in the higher VWC regions, at the cost of using slightly more power.

Specifications: Power consumption < 800uA. Supply Voltage 3.3V to 20 VDC. Power on to Output stable 400 ms. Output Impedance 100K ohms. Operational Temperature -40°C to 85°C. Output 0 to 3V related to moisture content. Shell Color Black. Voltage Output Curves Curves. VG400-LV (Ultra-Low Voltage Probe). Power consumption < 600uA. Supply Voltage 2.0V to 20 VDC. Power on to Output stable 400 ms. Output Impedance 100K ohms. Operational Temperature -40°C to 85°C. Output 0 to 1.8V related to moisture content. Price: USD 30, accuracy not specified.

WATERMARK

Watermarks worden al heel lang toegepast om irrigatie bij open teelten te sturen. Ze zijn heel goedkoop, werken volgens een resistieve meting, waarbij de elektrische geleiding gemeten wordt in een poreus medium om vochtgahlte te meten. Omdat de EC een directe invloed heeft, de meting traag is, en mede omdat de sensoren na verloop van tijd vervuild raken is de toepassing niet eenvoudig.



Soil Moisture Sensor, Vantage Pro® and Vantage Pro2™ WATERMARK.

(http://www.davisnet.com/weather/products/weather_product.asp?pnun=06440).

Watermark® soil moisture sensor uses electrical resistance to measure the moisture level of the soil. Does not require periodic maintenance during the growing season. Simply bury at the desired depth, then monitor moisture levels throughout the season. Add up to 4 sensors to a single Leaf & Soil Moisture/Temperature Station. Includes 15' (4.6m) cable. Compatible with Vantage Pro and Vantage Pro2. The Soil Moisture Sensor must be connected via a Leaf & Soil. Moisture/Temperature Station (#6345). Price: USD 55. Type: resistance.

Hydra probe II soil Sensor, Stevens

De Hydra probe heeft een robuuste uitstraling. Heeft veel uitgebreide mogelijkheden. Meet watergehalte, EC en temperatuur. De interfacing is uitsluitend digitaal, en kan met meederen aan elkaar gekoppeld worden. Lijkt een goede kandidaat voor de toepassing voor grondteelten. Omdat de interfacing digitaal is, is de koppeling met de klimaatcomputers zonder veel inspanning van klimaatcomputer fabrikanten niet eenvoudig. De prijs is relatief goedkoop met US 395.



Hydra probe II soil Sensor, Stevens.

The Stevens Hydra Probe II soil sensor is an in-situ soil probe that measures 21 different soil parameters simultaneously with digital output. The Hydra Probe II soil sensor instantly calculates soil moisture, electrical conductivity/salinity, and temperature as well as supplying voltage outputs for research applications. Stevens also offers an "Extended Temperature Range" version of the Hydra Probe II soil sensor which can measure down to -30° C for research, cold-climate, high-altitude, arctic applications or any other measurement situation where there will be significant below-freezing ground temperatures. For more information on soil sensors such as the Hydra Probe II soil sensor and monitoring information, please visit Soilsensor.com.

BENEFITS Instantly measure soil moisture, conductivity/salinity, and temperature. Optimize soil analysis and watering. Enables measurement of native (undisturbed) soil. Low risk: ten years of field proven science. Measure flow of water from topsoil to sub-root zone. Performs well in high-salinity soil. Easier monitoring of remote sites. Review real-time soil data and trends from the office.

FEATURES: Instantaneous sensor response. Serial addressable: multiple units on one cable. Maintenance-free. Easily linked to wireless systems. One-click calibration. Compatible with most data logging systems. Digital or analog output. Compact, rugged for years of in-soil use. Hydra Probe data add science to soil management for better understanding of soil conditions. The result is optimized analysis of soil for scientific study and for enhanced quality and yield of turf and crops. Hydra Probe sensing technology has been deployed over 10 years by the USDA and is used by NASA for ground truthing of satellite-based soil imaging. A compact, rugged design with potted internal components makes the Hydra Probe easier to deploy than competing sensors and ideal for remote and harsh conditions. Durable construction makes it possible for the units to remain in the field for many years, maintenance-free. The defined sensing area allows accurate measurements in regions where there are strong soil moisture gradients, such as near the soil surface. Response time to changing soil conditions is immediate, and calibration is as simple as selecting a soil type (sand, silt, loam or clay). Each Hydra Probe is serial addressable, allowing for multiple sensors to be connected to any RS485 or SDI-12 data logger via a single cable. Sensor data can also be sent directly to a radio modem through a small RS485-RS232 converter. The Hydra Probe uses an electromagnetic signal propagated from the center tine of the probe to measure multiple parameters. The voltages recorded depend on the type of electrical properties of the soil. On-board software converts the raw voltage to standard units of measurement for each parameter. With a standard database or spreadsheet, managers can view real-time soil snapshots or long-term soil trends. Used in wireless irrigation management (Lopez, 2009).

Adcom SM1 Soil Moisture Sensor



Adcom SM1 Soil Moisture Sensor.

The new Adcon SM1 Soil Moisture Sensor is a multilevel capacitance probe, which is available in many different lengths. Its outstandingly low power consumption allows several sensors to be connected to the same RTU, with which it is communicating via the standardized SDI-12 protocol. What makes the probe even more interesting is its excellent price-performance ratio. This sensor is meant for outdoor soil use, and has multiple sensing points. Price indication above € 1000.

AquaSpy Sensor



AquaSpy Sensor.

Digital RS485, ASCII, AO, SDI-12. Accuracy not specified. <http://www.agmoisture.com/aquaspy.html>

AT210 Soil Moisture Sensor



Global Water AT210 Soil Moisture Sensor.

http://www.fondriest.com/products/global_water_at210.htm. Global Water's AT210 Soil Moisture Sensor provides reliable and accurate soil moisture monitoring for applications including bioremediation, wastewater reclamation, landfill management, and agriculture. Features Reliable and accurate sensor with 4-20mA output Uses time domain reflectometry (TDR) for direct soil moisture measurement. Can be installed vertically or horizontally through a soil column. Your Price \$287.00 Range: 0-100% saturation. Accuracy: +/-2% Power Requirements: 12VDC +/-20% @ 40mA. Output: 4-20mA. Operating Temp: -40 to +131 F (-40 to +55 C). Dimensions: 3/4" Diameter x 30.5" Long (2cm x 77.5cm) Weight: 2.5lbs (1.1kg)

EasyAG 50cm Soil Moisture Sensor (RS Hydro, Sentek)



EasyAG 50cm Soil Moisture Sensor (RS Hydro, Sentek).

The introduction of the EasyAG series from Sentek has given soil moisture monitoring a significant boost. Firstly, because EasyAG Sensors are very fast and easy to install (thanks to their slim design), and eliminate the need for the time-consuming augering job required by the bigger sensors. And secondly, the Easy AG range are significantly more attractive in price than their big brothers from the EnviroSMART series of products. The sensor measures soil moisture by sending an electromagnetic signal through sensors that are mounted at preset depths. Soil moisture is then derived from the resulting soils conductivity measurements. Currently the algorithms are available for light and sandy soils, while those for heavier soils are under development. Measuring range: 0 - 100% Vol. Method HF Capacitance. Accuracy $\pm 0.06\%$ Vol. Interface SDI-12. Lengths 50cm. Number of Sensors 5. Sensor depths in cm 10/20/30/40/50. Operating temperature -20°C - $+75^{\circ}\text{C}$.

Moisture Point and Gro-Point E.S.I. Environmental Sensors Inc.



Moisture Point and Gro-Point E.S.I. Environmental Sensors Inc.

Profiling probe for agriculture and science. (http://www.esica.com/products_moisturepoint.php) Simple probes with diodes and TDR method. Accuracy not specified. Profiling probe. Gro-Point™ provides accurate, cost effective measurement of soil moisture by volume for most agricultural soils, enabling growers to obtain higher yields and better quality crops, optimizing water use and reducing excessive leaching. The unit responds immediately to changes in soil moisture, providing accuracy to 1% volumetric soil moisture. The rugged, easy to use probe can be used in permanent installations or inserted for a set period of time, such as the growing season. The primary components of the Gro Point system are the moisture sensor, the display unit and the data logger. Output format Standard format: 0.5 - 5.0 mA. Optional formats: 0 - 2.5V, 4 - 20 mA. GroPoint Lite: Moisture Range from 0% to 50%, Accuracy $< \pm 1\%$, Repeatability of .5%.

RAINBIRD SMRT-Y Soil Moisture Sensor Kit



RAINBIRD SMRT-Y Soil Moisture Sensor Kit.

Digital TDT™ Soil Moisture. Sensor uses Time Domain Transmissometry (TDT) and digital signal processing to measure soil moisture content accurately and consistently. Corrosion-resistant in-ground sensor made of high-grade 304 stainless steel. No maintenance sensor - just bury and forget. Reads absolute - rather than relative - Volumetric Water Content (0-100%). Precisely measures soil temperature and electrical conductivity (EC). Moisture readings remain stable as soil salinity and temperature change. Sensor never needs calibration. Price USD 113

EnviroSCAN® soil moisture sensor probe

Niet verder uitgewerkt omdat aanvankelijk naar losse sensoren is gekeken. In het licht van eenvoudig herplaatsbare sensoren zou dit mogelijk een interessante sensor kunnen worden. Vooralsnog is er een soortgelijke kandidaat geselecteerd van een Nederlandse fabrikant: DACOM.



EnviroSCAN® soil moisture sensor probe.

Irritrol 101SMS

Deze sensor heeft alleen een relais uitgang en is daarbij niet toepasbaar.



Irritrol 101SMS, Toro Australia.

Hydrosense CS620 Water Content Probe (2001)



Hydrosense CS620 Water Content Probe (2001).

The HydroSense System (Cambell Scientific, Inc) combines a compact, handheld display and a sophisticated soil water sensing probe in a portable package to provide quick and reliable soil water content measurements. Each measurement takes less than one second and is obtained by inserting the probe rods into the soil and pressing a single button on the display unit. A choice of 12- or 20-cm long probe rods makes HydroSense a versatile tool for monitoring and managing soil water in a wide range of conditions. Accuracy: $\pm 3\%$ water content □Resolution: 0.25% □Range: Dry to saturation □Body Dimensions: 105 x 70 x 18 mm □Rod Diameter: 5 mm □Spacing: 32 mm □Rod Length: 120 or 200 mm □Weight: 390 grams (14 oz).

CS616 & CS625 Water Content Reflectometer



CS616 & CS625 Water Content Reflectometer.

The CS616 Water Content Reflectometer measures the volumetric water content from 0% to saturation. It uses time-domain measurement methods, but a reflectometer (cable tester) such as the TDR100 is not required. The probe consists of two 30 cm long stainless steel rods connected to the measurement electronics (printed circuit board). The probe rods can be inserted from the surface or the probe can be buried at any orientation to the surface. The CS625 has slightly modified electronics to make it suitable to be used with the CR200-series dataloggers. Features: Measures volumetric water content using time-domain reflectometry methods. Designed for long-term unattended water content monitoring. Accuracy $\pm 2.5\%$ VWC using standard calibration. Resolution better than 0.1% VWC. Measurement time is < 500 microseconds. Can multiplex up to 48 CS616 probes with AM16/32B. Specifications. Accuracy: $\pm 2.5\%$ VWC using standard calibration in measurement range 0% VWC to 50% VWC. Precision: CS616 - 0.05% VWC; CS625 - 0.1% VWC. Resolution: 0.1% VWC. Rod Length: 300 mm. Rod Diameter: 3.2 mm. Rod Spacing: 32 mm. Probe Head: 85 mm x 63 mm x 18 mm. Maximum cable length: 1000 feet (305 m). Weight: 280 g (9.9 oz).

Aquaflex SE200 Soil Moisture Meter



Aquaflex SE200 Soil Moisture Meter.

Has been designed to overcome the historical problems associated with measuring the soil moisture content at one point only, and in a relatively small amount of soil. Aquaflex measures average moisture over a 3 metre (10 feet) length and in a cylindrical volume of 6 litres (370 cubic inches) of soil. The system uses Time Domain Transmission (TDT) which is similar Time domain Reflectometry. There are three solutions available, the Aquaflex System measures soil moisture content at selected intervals, logs readings and then easily transfers to your PC for analysis. The portable Aquaflex Handheld Reader - volumetric moisture content or temperature is displayed at the push of a button! Aquaflex is also compatible with irrigation controllers, weather stations and data loggers. For further information contact your local distributor or Aquaflex manufacturers, Streat Instruments Ltd.

AquaTag

Deze sensoren zijn klein, zijn passief (werken zonder voedingsspanning) en uiterst goedkoop en oorspronkelijk bedoeld voor toepassing in (mobiele) potplanten teelten, vanwaar hun draadloze uitlezing. Voor continue uitlezing zijn deze sensoren niet geschikt. Wel zouden deze sensoren een eenvoudige oplossing zijn om in veel teeltvakken directe informatie te verschaffen over de vochttoestand. Het gebruik vergt dan wel een arbeidsintensieve gang, doordat bijvoorbeeld een keer per week een medewerker alle sensoren moet aflopen. De ontwikkeling van deze sensoren is nog in volle gang.



AquaTag, SensorTag Solutions BV

The Dutch SME (SensorTag Solutions BV, <http://www.aquatag.nl/>) has developed a simple soil moisture measuring concept. This concept involves in principle very low cost (about €10) soil moisture sensors (EC-sensors are also possible), which can be read-out contactless from near distance (10-20 cm) with a hand-held meter (abt. €500). In principle this tool was developed for container plants, but the sensors can be applied in any soil or substrate based growing system. Rather than having data available on-line (via a wire) this technology cannot be used for real-time control, since it involves a manual action: gathering data in the field by walking around with what we call a data-mule.

DACOM-TerraSen

DACOM- Het Bodemvochtstation de TerraSen™ bestaat uit een meet unit en een sensor die op verschillende (6) dieptes (elke 10 cm) het water in de bodem afleest. Deze informatie wordt gecombineerd met de metingen van een regenmeter die naast regen ook de irrigatie meet. Het station werkt op zonne-energie. De kostprijs van 2 sensoren, regenmeter en software ligt in de orde van €5000. Dit is exclusief een data abonnement.



DACOM TerraSen.

Tabel 6. Samenvattend overzicht bodemvochtgehalte sensoren (niet uitputtend).

Naam	Leverancier	Meetprincipe	Parameters	Koppeling	Nauwkeurigheid	Prijs
AquaTag	SensorTag Solutions BV		W, EC	Contactless	1-10	Sensor 10€, reader 500€
SM300	DeltaT Devices Ltd.	FD	W, T	0-1V		€250
5TN Soil Moisture and T	Decagon	FD	W, T	Serial TTL, 3.6 Volt Levels or SDI-12	± 1 (ε) (1-40)	
ECHO-5TE	Decagon Devices Inc.	Capacitance	W, EC, T	RS232		€250
WET-sensor	DeltaT Devices Ltd.	Impedance (20MHz)	W, EC, T	RS232-TTL + extra converter van Growlab		>€600
Theta Probe ML2x	DeltaT Devices Ltd.	Impedance (100 MHz)	W	Digital		
ECH20 EC10	Decagon	FD, 5 Mhz	W	Analog	4%	€100
ECHO EC5	Decagon Devices Inc.	Capacitance	W	Digital		
10 HS	Decagon Devices Inc.	Capacitance, 70 MHz	W	Voltage	± 2.5 (ε) 10- 50	
ECH20 EC ₂ 0	Decagon Devices Inc. (PACE)	Capacitance	W		± 3%	€90
TRIME-PICO 64	IMKO GmbH	TDR	W, T			€585
3-rod Trase probe	Soil Moisture Equipment Corp.	TDR (2-3 GHz)	W			
TRIME-P2	IMKO GmbH	TDR (0.6-1.2GHz)	W			
TRIME-EZ	IMKO GmbH	TDR (0.6-1.2GHz)	W			
EnviroSCAN	Sentek Pty. Ltd.		W (>)			
TriSCAN®	Sentek Pty. Ltd.	Multi-Capacitance (100M+27M)	W, EC (10)			
Vegetronix VG400 Soil Moisture Sensor Probes			W			€25
WATERMARK	DAVIS	Resistance	W, T			€50
Hydra Probe	Stevens	FD, 50 MHz	W, EC, T	SDI 12, RS 485	± 1.5% or 0.2	€300
RAINBIRD SMRT-Y	Rainbird	TDT	W, EC, T	Special		€100
DACOM TerraSen	DACOM	FDR	6xW, EC, T	GPRS, web-server		€2000

7.2 Gebruikershandleiding bodemvochtgehalte sensoren

De Kader Richtlijn Water dwingt telers op termijn naast hun teeltdoel (maximaal economisch rendement) een tweede doel na te streven in hun water- en nutriëntenmanagement: nul-emissie. Ongestraft de watergift minimaliseren is geen optie, en in de praktijk komt dit neer op een subtiele instelling van de watergift en het vinden van een optimum dat aan beide teeltdoelen recht doet. De lysimeter vormt een belangrijk instrument voor de teler om de uitspoeling onomstotelijk te meten en om de watergift op nul-emissie van meststoffen in te stellen. Het optimum hangt van een aantal factoren af zoals het gewastype, de variëteit, de bodemsoort het teeltsysteem, en kan sterk verschillen per teler. Sommige telers kunnen met gemak droger gaan telen, en anderen blijken een bodem te hebben die zo lek is als een mandje.

De lysimeter is traag, veranderingen zijn vaak pas na dagen of weken zichtbaar, waardoor de drainmeter dus niet echt geschikt is voor de dagelijkse planning. Deze geeft meer inzicht over een langere termijn en stelt de teler in staat te leren hoe zijn watermanagement er in het algemeen moet uitzien. Telers die het risico op uitdroging willen voorkomen hebben aanvullend behoefte aan snellere en accuratere informatie over het bodemwater. Daarnaast kan de lysimeter lokaal effect op de hydrologie in de bodem hebben, waardoor watergehalten op gelijke diepte binnen en buiten de lysimeterbak verschillend kunnen zijn. In zo'n geval is het mogelijk dat de lysimeter de juiste drain aangeeft en verdient het aanbeveling om dit op enerlei wijze te controleren of te signaleren.

Sensoren

Naast de afvoerinformatie uit de lysimeter zullen sensoren die het vochtgehalte meten een belangrijke aanvullende functie moeten gaan vervullen. In de eerste plaats geeft het verloop van het vochtgehalte in de bodem de teler inzicht in het vochtverloop na een gietbeurt en dit draagt bij aan de bewustwording over uitspoeling. Verder is er door de te verwachten vermindering van de watergift sprake van een toename van het risico voor teeltproblemen (uitdroging, zoutophoping). Telers zullen ook beter geïnformeerd willen worden over de actuele vochtsituatie. Bodemvochtgehaltesensoren reageren instantaan op vochtveranderingen in de verschillende lagen van de bodem (profiel), en geven de teler extra, waardevolle informatie voor de dagelijkse planning van de watergift en de werking van de lysimeter. In het onderzoek zijn er de laatste jaren positieve resultaten met nieuwe, elektronische sensoren opgedaan.

In theorie werkt de lysimeter optimaal als het grondwater op hetzelfde niveau zit als de onderkant van de bak. Maar dat zal niet altijd het geval zijn. Daarnaast geldt nog dat capillaire opstijging vanuit het grondwater in de lysimeter niet mogelijk is. Om die redenen is het zinvol om in de lysimeter én buiten de lysimeter het watergehalte te bepalen op gelijke diepten. Als er verschillende watergehalten gevonden worden, kan dit in indicatie zijn dat de lysimeter niet goed functioneert. De lysimeter functioneert dan nog wel, maar de uitkomsten zijn niet representatief voor de rest van de kas. Om deze reden kan de teler ook vochtsensoren en/of EC-sensoren in de grond plaatsen, in en buiten de lysimeter. Bij voorkeur ook op meerdere diepten (tenminste 2, in de wortelzone en onder de wortelzone op enige afstand boven het aftappunt van de pomp).

Binnen het project is afgesproken dat er vier sensoren gebruikt worden op 15 en 30 cm onder het maaiveld zowel binnen als buiten de lysimeterbak. Deze sensoren reageren instantaan op veranderingen van het vochtgehalte of de EC in de bodem. Let wel, zij geven niet aan wat de absolute uitspoeling (in mm/dag o.i.d.) of wat de werkelijke uitspoeling van nutriënten in kg/m²/dag is. Wel kunnen zij een snelle en vroegtijdige indicatie (waarschuwing) geven of er uitspoeling is of gaat optreden. Op basis van dit type sensoren kunnen telers dus extra informatie verkrijgen om op dag of zelfs uurbasis beslissingen te nemen over hun water en nutriëntengiften.

Achtergrond

In de jaren 80-90 zijn *et al.* grondtelers geweest die met tensiometers aan de slag zijn gegaan om hun watergiften te sturen op basis van de zuigspanning in de bodem. Tensiometers slaan door bij ca. 700-800 cm onderdruk; droger kunnen ze dus niet meten, tenzij een hele dure polymeer tensiometer gebruikt wordt. Mede ook vanwege de hoge onderhoudsbehoefte heeft dit zich niet echt doorgezet, en heeft de markt sindsdien, mede door goede resultaten vanuit het onderzoek, zich ontwikkeld in de richting van elektronische sensoren.

Watergehaltesensoren kunnen in principe het hele traject bemeten. Er zijn momenteel een groot aantal verschillende typen sensoren voorhanden (van even zo vele leveranciers, en met uiteenlopende specificaties) waarmee water in de bodem gemeten kan worden. Een voorbeeld is de WET-sensor (Hilhorst, 1998), bekend uit de substraateelt, die naast watergehalte ook EC en temperatuur kan bepalen.

De elektronische sensoren bepalen het volumetrisch bodemvochtgehalte via een permittiviteitsmeting (het polaire gedrag van water). Een volledig uitgedroogde grond geeft een waarde van 0% en een volledig verzadigde grond zal - afhankelijk van de dichtheid van de bodem - een waarde van 40-50% (porositeit) kunnen bereiken, maar nooit 100%³. In de praktijk is het werkgebied voor vochtgehalten veel smaller omdat de teler zijn grond nooit helemaal zal uitdrogen of langdurig zijn grond zal verzadigen. Waarden liggen doorgaans tussen de 15 - 40% mede afhankelijk van de grondsoort. In de pF-curve voor de grond kunnen deze minimale en maximale waarden gevonden worden door het vochtgehalte te nemen bij de veldcapaciteit (pF 2) en het punt van vrije verzadiging (pF ~0).

Eventueel kunnen vochtsensoren een vroegtijdige waarschuwing geven of er uitspoeling op zou kunnen gaan treden. Let wel, zij geven niet aan wat de absolute uitspoeling (in mm/dag o.i.d.) of wat de werkelijke nutriëntenuitspoeling (in kg/m²/dag) is.

Bodemvochtgehaltesensoren hebben een hoge nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid (1-3%) voor de primaire meetgrootte permittiviteit. Echter, om een absoluut vochtpercentage te krijgen moet deze grootte vertaald worden, en juist deze vertaalslag is erg afhankelijk van de grondsoort. Fabrikanten leveren daarom (niet-lineaire!) ijk-curven voor een aantal verschillende grondsoorten. Dichtheidsvariëaties die ontstaan na grondbewerking en stomen beïnvloeden deze ijkings, en na herplaatsen moet in principe ook een herijking plaatsvinden. Afhankelijk van de kwaliteit, en het werkingsprincipe van sensoren, kan de vochtmeting in meer of mindere mate beïnvloed worden door de EC in de bodem, maar ook gevoelig zijn voor elektrische storingen van plant- en oogstmachines of het schakelen van de WKK en pompen e.d. Juist gekalibreerde sensoren kunnen nauwkeurig zijn tot op enkele procenten, onjuist gekalibreerde sensoren kunnen afwijkingen geven tot wel 20%. Omdat veelvuldige ijkings praktisch niet haalbaar is moeten sensoren het liefst met rust gelaten worden en moet meer naar de trend dan naar de absolute waarde gekeken worden. Sowieso worden daarom alleen vast geïnstalleerde sensoren aanbevolen, en het gebruik van handmeters afgeraden. Voor meer achtergrond over elektronische watergehalte sensoren wordt verwezen naar Balendonck & Hilhorst (2002), waar uitgelegd wordt hoe het gebruik en vooral de kalibratie van dit type sensoren uitgevoerd moet worden.

De juiste keuze

Een juiste keuze houdt rekening met gebruikers specificaties voor de aantallen sensoren, het type (losse sensoren of een prikstok), de te meten parameters (bodemvocht, EC, temperatuur), de kostprijs, de manier van koppeling (draadloos of bedraad), de kalibratie mogelijkheden en de nauwkeurigheden. Omdat er zoveel typen en varianten van sensoren op de markt zijn is het maken van een juiste keuze echter niet zo gemakkelijk. Het beste kan de teler zich laten leiden door de eisen die vanuit zijn eigen bedrijf gesteld worden, en de praktische ervaringen opgedaan in het lysimeter project.

Minimaal zullen er op twee diepten (bv. 10-20 cm; 25-35 cm), buiten en binnen de lysimeter meetpunten komen. Vervolgens moet een keuze gemaakt worden tussen vier losse sensoren (veel kabels, veel graafwerk) of twee prikstokken (eenvoudige installatie). Verder aan de teler de keus of er aanvullend temperatuur en/of EC⁴ gemeten moet worden. Belangrijk is een robuuste vochtsensor te kiezen met een aangegoten kabel. Wanneer toch metalen delen in contact staan met de bodem, dan moeten die van RVS zijn om corrosie te voorkomen.

3 Door toeleveranciers wordt wel eens voor het gemak het actuele werkgebied (veldcapaciteit tot vrije verzadiging) als 0 - 100% weergegeven. Deze wijze van weergeven wordt erg ontraden omdat dan de relatie met absoluut vochtgehalte verloren gaat.

4 Het meten van EC zou extra informatie kunnen geven over het al of niet ophopen van zouten of ongebruikte meststoffen. Binnen het project is de keuze gemaakt om geen EC te meten in de tuinders opstellingen. Bij een paar tuinders is wel wat data verzameld met andere dan de SM300/SM200 sensoren zoals de WET-sensor, de Trime PICO en de DACOM sensor. Aan de hand van deze data zijn wel indicaties gevonden dat het mogelijk zou moeten kunnen zijn om ophoping van zouten te constateren, maar vooralsnog kunnen daarover geen eenduidige adviezen gegeven worden.

De eis of de meetwaarden op de eigen klimaatcomputer te zien moeten zijn - in combinatie met de drain of watergift - bepaalt in sterke mate welke koppelingsmogelijkheden de sensoren moeten hebben (analoog/digitaal of 0-20mA). Ook is het belangrijk dat de sensoren een interne voorziening voor de ijkcurven hebben of dat de klimaatcomputer daarvoor voorzieningen moet hebben. De huisinstallateur, en eventueel de computerfabrikant zal daarbij moeten adviseren. Een algemene trend is overigens dat sensoren steeds vaker een directe dataverbinding hebben met een externe server die zijn data via internet beschikbaar kan stellen (abonnementskosten). Afhankelijk van de eisen kan de prijs per meetpunt, exclusief installatie en koppeling, liggen tussen de 200 en 1000 euro.

Bij de aanvankelijke keuze (begin project) is gekozen om de SM300 (Delta-T Devices, opvolger van SM200) in te zetten bij alle telers. Deze keuze was voornamelijk ingegeven door de prijs/prestatie verhouding. De betrekkelijk lage prijs (ca. €300) en de mogelijkheid van eenvoudige koppeling via kleine dataloggers + modem, en de bekendheid met deze sensoren en systemen vanuit een eerder lysimeter project hebben mede tot deze keuze geleid. Op papier voldeden deze sensoren aan de in het vorige hoofdstuk gestelde functionele eisen.



Figuur 26. De SM300 bodemvochtgehalte sensor van DeltaT-Devices Ltd (UK) zoals gebruikt in dit project.

Gaande het project is geconcludeerd dat deze sensoren niet op alle punten volledig konden scoren (zie §4.1) en is besloten om de functionele eisen nader te bezien. Een nieuwe lijst met criteria is opgesteld op basis van de praktijkervaringen van twee jaar. Aansluitend is een marktverkenning uitgevoerd van beschikbare sensoren, en op basis van de uitkomsten zijn voor twee pilot experimenten twee nieuwe sensoren geselecteerd, de TRIME PICO en de DACOM prikstok. In de Bijlage 0 (marktverkenning) is het resultaat van een marktverkenning opgenomen van bodemvochtgehalte sensoren evenals de lijst met functionele eisen.



Figuur 27. Losse sensoren (TRIME PICO 64) geplaatst in het verticale profiel (links) en het plaatsen van een prikstok (DACOM).

Praktische toepassing

De installatie van bodemvochtsensoren moet zorgvuldig gebeuren, waarbij een goed bodemcontact met de sensor uiterst belangrijk is. Het hele meetvolume moet omringd zijn door grond. Ook moet een representatieve plek gekozen worden, niet te dicht bij storende metalen constructiedelen, en een plek waar ook de watergift gemiddeld is. Sensoren hebben doorgaans een actief meetvolume in de orde van 0,5 - 1 liter, waardoor 5 - 10 cm rond de sensor geen storende delen mogen zitten.

Het verdient aanbeveling om tenminste eenmalig een bodemkalibratie uit te laten voeren door de installateur of sensorfabrikant voor alle gekozen sensordiepten. In het uiterste geval kan men vertrouwen op een standaard curve op basis van grondtype.



Figuur 28. Grondbemonstering voor bodemtype kalibratie van vochtsensoren.

Voor losse sensoren moet een gat gegraven worden en de sensoren worden op diepte, horizontaal in het verticale profiel gestoken. Let er daarbij vooral op dat de sensor maar één keer op dezelfde plaats ingestoken kan worden, dit om te voorkomen dat er luchtspleten tussen elektroden en de bodem ontstaan (Balendonck & Hilhorst, 2002). De grond moet op originele dichtheid weer terug aangevuld worden. Om te voorkomen dat de sensoren en kabels per ongeluk door grondbewerking worden beschadigd, moeten de kabels in buizen geplaatst worden en kunnen de sensoren afgeschermd worden met een RVS-gaas. Afhankelijk op welke diepte telers grondbewerking uitvoeren moeten de kabels/buizen e.d. onder deze diepte gehouden worden. Als de teler besluit sensoren op een ondiepe plek te plaatsen zal hij voor grondbewerking deze sensoren moeten verwijderen. Mantelbuizen kunnen desgewenst gelegd worden in de bodem tussen de teeltvakken waar geen grondbewerking wordt uitgevoerd. Voor prikstokken moet het liefst een iets smaller gat voorgeboord worden.



Figuur 29. Plaatsing van sensoren op twee diepten in het verticale profiel (SM300).

In het gebruik moet men regelmatig controleren of de sensoren nog goed functioneren. Plotselinge sprongen in de meetsignalen geven vaak aan dat er iets met de sensor is gebeurd (grondbewerking, kabel beschadigd, vochtindringing connectoren, storing van andere apparatuur, of apparatuur uitgezet of defect). Bij teeltwisselingen moet er aandacht zijn dat sensoren niet beschadigd worden, en verwijderd worden bij diepere grondbewerking of bij stomen. Zorgvuldig herplaatsen is dan belangrijk.

Na het in gebruik nemen moet de teler vooral “gevoel” krijgen voor de metingen, en zijn ijkpunten in de lijnen vinden. Bij het uitlezen van sensoren direct na herplaatsing moet tevens rekening gehouden worden met het effect van het inklinken van de grond op de meting. Dichtheidsverschillen in de bodem hebben namelijk direct invloed op de volumetrisch vochtgehalte metingen. Omdat een echte ijking erg arbeidsintensief is, en absolute vochtbepaling vrij lastig, is het uitvoeren van een praktische werkkalibratie de aangewezen weg. De teler kan daartoe eenmalig (aan het einde van zijn teelt bijvoorbeeld) de bodem ver uit laten drogen, en aan het begin van zijn teelt bij aangieten, veel water geven en de bodem (nagenoeg) verzadigen. Deze twee punten kan hij als minimale en maximale werkwaarde hanteren. Gedurende het hele teeltseizoen kan hij de trends volgen en als setpoint voor zijn regeling een acceptabel vochniveau tussen de minimum en maximum waarden kiezen. Indien op enig moment er drain gesignaleerd wordt, moet het setpoint lager gekozen worden. Het kan belangrijk zijn om de meetdata te analyseren voorafgaand aan een drainmoment om zo in soortgelijke toekomstige situaties deze drain juist te voorkomen.

In deel IV (Voogt *et al.* 2012b) worden meer praktische toepassingen van de sensoren beschreven.

7.3 Storingsfilter vochtgehaltesensoren

```
function output = vochtfilter(data)
factor=10; drempel=1; factor_s=40;
inputfilter=data(1);
outputfilter=data(1);
storingsfilter =0;
output=data;

for t=2: length(data)
inputfilter = data(t)/factor + (1-1/factor)*inputfilter; %Input lopend gemiddelde
% piek- en groot niveaudetectie
storing = min(10, abs(data(t)-data(t-1)) + abs(data(t)-inputfilter));
storingsfilter = max(storing, storing/factor_s + (1-1/factor_s)*storingsfilter);
if storingsfilter > drempel
err = 10; %Hier kan een storingsdelay zitten
else
if data(t)<1 || data(t)> 70
err = 10; % Signalen buiten bereik, of geen signaal
else
err = 0;
end
end

if err==0
output(t)= data(t);
else
output(t) =outputfilter;
end

outputfilter = output(t)/factor + (1-1/factor)*outputfilter; % output lopend gemiddelde
end
```

7.4 Filterbeschrijving

(Zie ook exel file: **Storingsfilter voor Letsgrow data.xlsx**)

```
%Initialisatie
Factor:=10; Drempel:=1; Factor-s:=40;
Output:=0;
Input-filter:=input(1); Output-filter:=input(1); Storingsfilter:=0; ERROR:=0;
LOOP:
Input=filter(t):= input(t)/factor + input-filter(t-1)*(1-factor)/factor; %Input lopend gemiddelde
Output-filter(t):= output(t)/factor + output-filter(t-1)*(1-factor)/factor; % output lopend gemiddelde
% piek- en groot niveaudetectie
Storing(t):= MIN (10, ABS(input(t)-input(t-1))+ABS(input(t)-input-filter(t)));
Storingsfilter:= MAX (Storing(t), Storing(t)/Factor-s + Storingsfilter(t-1)*(Factor-s-1)/Factor-s);
IF Storingsfilter(t)> Drempel THEN ERROR:=10%Hier kan een storingsdelay zitten
ELSE IF Input(t)<1 OR Input(t)> 70 THEN ERROR:=10% Signalen buiten bereik, of geen signaal
ELSE ERROR:=0;
IF ERROR=0 THEN ouput(t):= input(t)
ELSE Output(t):=Output-filter(t-1);
REDO LOOP
```

- 1 In principe zouden bodemvochtsensoren telkens individueel gekalibreerd moeten worden na herplaatsing (na grondbewerking). Omwille van gemak en de arbeidsintensieve werkzaamheden, is hier van afgezien. Telers moeten dientengevolge accepteren dat met bodemvochtgehalte metingen niet echt absolute waarden gemeten kunnen worden maar slechts trendmetingen (grafieken) inzicht in uitdrogen of vernatten van teeltlagen kunnen geven. Na herplaatsing geven sensoren per definitie een andere waarde.

