

Sachbericht

Projekt im ERA-Net
ICT-AGRI

Teilprojekt des ATB

Aktenzeichen: 314-06.01-2812ERA038

Förderzeichen: 2812ERA038

*"USability of Environmentally sound and Reliable techniques in Precision
Agriculture (USER-PA)"*

Berichtszeitraum: 01.03.2013 – 31.12.2015

Projektleitung: Prof. Dr. Manuela Zude



I. Zusammenfassung

Im Projekt USER-PA wurde eine technologische Architektur für den Präzisions-Gartenbau umgesetzt, wobei Kronen- und Fruchtsensoren mittels autonomer Plattformen und drahtloser Sensornetzwerke (WSN) entwickelt sowie die Informationsgewinnung in einem räumlich aufgelösten Farm-Management-System integriert wurden. Das Projekt war in acht Arbeitspakete (*Work package*, WP) gegliedert: WP1 - Pflanzensensoren, WP2 - Autonome Plattform, WP3 - Systemintegration, WP4 - *Farm management information system* (FMIS) WP5 - Kosten und Technologiebewertung, WP6 - Feldversuche, WP7 - Demonstration, WP8 - Projektmanagement

Das ATB koordinierte das Arbeitspaket WP1 „Pflanzensensoren“ (Prof. Dr. Manuela Zude) und unterstützte die Durchführung des WP 4 „FMIS“, WP 6 „Feldversuche“, WP7 „Demonstration“, wobei eine Nachwuchswissenschaftlerin, ein Versuchstechniker und studentische Hilfskräfte eingebunden waren.

Das ATB führte im Rahmen von USER-PA Arbeiten zur Anpassung von Fruchtsensoren für die räumliche Datenerfassung mit WSN im Freiland durch. Hierbei wurden Sensoren für den Feldeinsatz entwickelt und auf den Fruchtpigmentgehalt kalibriert. Die optische Kalibrierung erfolgte multispektral mittels bildgebender Rückstreuungsmessungen unter Verwendung von hierfür entwickelten optischen Referenzmaterialien mit angepassten Absorptions- und Streukoeffizienten am ATB. Die Kalibrierungen der Sensoren wurden hinsichtlich ihrer Robustheit im Verlauf der Fruchtentwicklung evaluiert.

Freilandmessungen erfolgten am ATB Forschungsstandort Marquardt (180 Bäume) und in den gemeinsamen Feldversuchen beim Projektpartner im Schweizer Obstanbaugebiet (1242 Bäume) zur Charakterisierung der räumlichen Bestands- und Bodenvariabilität mit Hilfe von Laserscanner-Daten und Analyse der elektrischen Bodenleitfähigkeit. Räumliche Hotspot-Analysen wurden zur Bestimmung von extremen Bäumen bzw. Baumgruppen eingesetzt.

Weiterhin übernahm das ATB die Analytik für Chlorophylle, Pheophytin und Carotinoide sowie die Stammwasserpotenzialbestimmung zum Referenzieren der am ATB bearbeiteten Fruchtsensoren sowie für die Raman- und zeitaufgelösten spektraloptischen Messungen und Thermalbilder der Projektpartner: FBH (Deutschland), PoliMi (Italien) und ARO (Israel).

Die Zusammenarbeit mit den Forschungspartnern auf dem Gebiet der Wasserstressbestimmung mit Thermalkameras in semi-humiden Klima und Einsatz von Laserscannern auf einer mobilen Plattform führte zu verbesserten Datenverarbeitungsmethoden zur Bestimmung von Pflanzendaten.

Die chemische Referenzanalytik am ATB wurde im Projektrahmen optimiert und Pheophytin als Stressindikator bei Wasser- und Hitzestress identifiziert. Die optische Referenz durch die multispektrale, bildgebende Labormethode wurde von relativen Einheiten in SI-Einheiten übertragen, wodurch optische Kalibrierungen von in situ Pflanzensensoren möglich sind. Erste Erfahrungen mit den Fruchtsensoren wurden in der präzisen Bewirtschaftung im Rahmen von 3-jährigen Feldtests im Apfelanbau (Schweiz) erarbeitet und durch UCPH (Dänemark) bewertet.

In einer Demonstration mit Beratern aus dem Gartenbau in einer kommerziellen Apfelproduktion beim Schweizer Partner unter Beteiligung aller Messprinzipien zur Fruchtanalyse wurde Stakeholdern der Zugang zu den präzisen Methoden gegeben.

II. SOLL/IST-Vergleich im Teilprojekt ATB – gegliedert entsprechend der Arbeitspakete

WP1: Pflanzensensoren

1. Optische Spinne

Ein neuartiger multispektraler Fruchtsensor mit acht Wellenlängen (*optical Spider*) wurde für die *in-situ* Fruchtanalyse am Baum entwickelt.



Abb. 1: Messaufbau zur automatisierten Messung mit dem neuen optischen Fruchtsensor im Freiland.

Die Messung wurde mit Hilfe einer hierfür erarbeiteten Einheit zur Datenauslesung über das integrierte drahtlose Sensornetzwerk durchgeführt (Abbildung 1). Diese wurde im Berichtszeitraum mit Industrierechner und weiteren kommerziell verfügbaren Modulen aufgebaut. Die vom Netzwerk aufgezeichneten Daten wurden über das Mobilfunknetz an einen ftp-Server des ATB geschickt. Auch der Rechner konnte im Remote-Zugriff bedient werden. Mit diesem Aufbau wurden erstmals im Feldversuch in der Schweiz automatisiert Zeitreihen der Fruchtentwicklung aufgezeichnet.

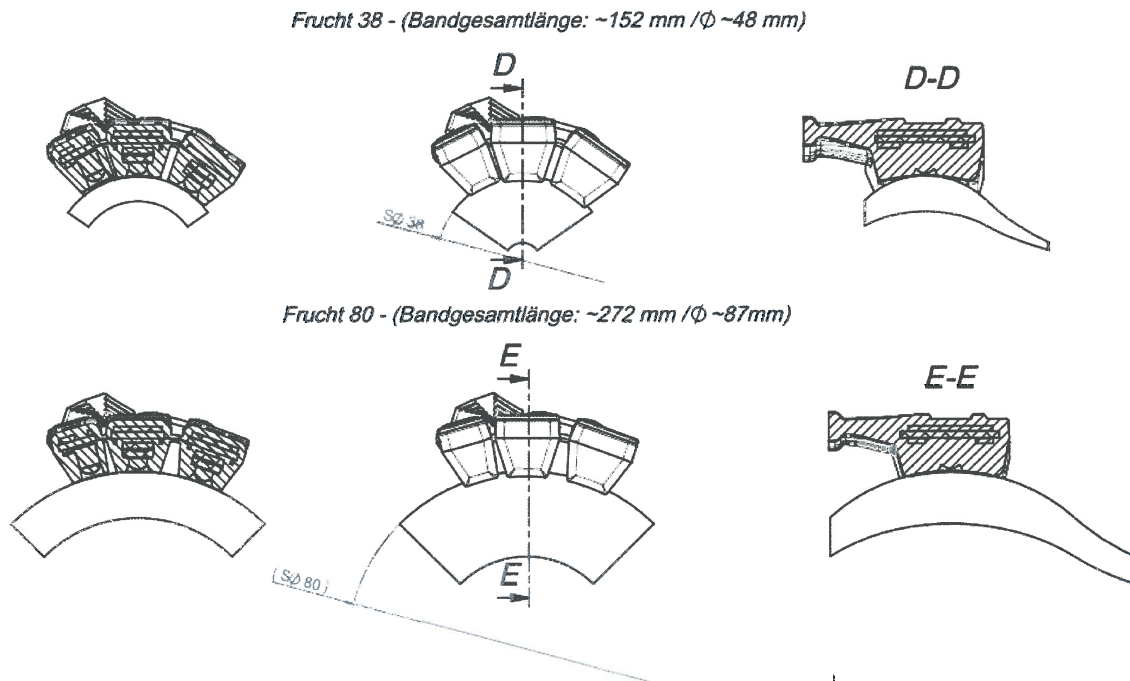


Abb. 2: Entwicklung der Befestigungsbänder.

In den Messkampagnen wurde insgesamt an 9 Tagen Zeitreihen gemessen, wobei maximal über einen Zeitraum von 5 Tagen kontinuierlich gemessen wurde. Weiterhin wurden zahlreiche Einzelmessungen durchgeführt. Bei Verbleiben der Sensoren an der Frucht über mehrere Wochen (ca. 6 Wochen) waren leicht reduzierte Anthozyan-Gehalte unter dem Sensor festzustellen. An einigen Früchten waren kleine (<1mm) punktförmige Pilzinfektionen zu verzeichnen. Es wurden unterschiedliche Befestigungsvarianten erprobt, wobei Nylon am schlechtesten und Polyurethan am besten hinsichtlich geringer Symptome am Apfel bewertet wurde. Trotz der leichten Einflussnahme durch den Sensor wird im Folgenden an der Befestigung mit Polyurethan-Bändern (Abbildung 2) festgehalten. Leider zeigte sich im dritten Versuchsjahr, dass die Bänder trotz erneuter Anfertigung nicht UV-stabil sind. Für eine kommerzielle Nutzung müssten umfangreiche Erprobungen und die konstruktive Anpassung erfolgen.

Im Projektrahmen war der Aufbau des Systems und die Einhausung für den IP-Schutz erfolgt, der jedoch den Starkregenfällen in der Schweiz nicht ausreichend Stand gehalten hat und somit Sensoren ausfielen. Ursachen waren zum einen eine abgebrochene Antenne, wobei die Bruchstelle wasserdurchlässig wurde. Darüber hinaus wäre für eine kommerzielle Vermarktung des Sensors auch ein grundsätzliches Neu-Design des Gehäuses notwendig, um einen zuverlässigen Schutz gegen eindringendes Niederschlagswasser zu gewährleisten.

Weitere Unterbrechungen waren durch Stromausfall begründet, teilweise durch unvorhergesehenes Entfernen der Stecker durch Projekt-Unbeteiligte, aber auch durch unzureichende Energieversorgung durch die Solarpanels bei Bewölkung. Der Energieverbrauch wurde durch eine neue Software gesenkt, so dass längere Messzeiten mit dem Prototypen ermöglicht wurden.

Ein entscheidender Arbeitsschwerpunkt lag auf der Sensorkalibrierung, die durch Referenzmaterialien im Labor erarbeitet wurde: Hierfür wurden Halbkugeln aus weißem Teflon und Epoxid-Halbkugeln für eine erste Kalibrierung auf den Absorptions- und Streukoeffizienten gefertigt und verwendet. Die kontinuierlich erhobenen Daten zeigten bereits nach Weiß-Kalibrierung eine hohe Korrelation mit dem Fruchtchlorophyllgehalt und dem Anthocyan-Gehalt der Frucht. Somit zeigt der Fruchtsensor „Spider“ ein hohes Potenzial im Erntemanagement eingesetzt zu werden.

Das Teilziel D1.2.2 *“Portable system (multispectral multidistance) ready for measurements on the fruits from experimental sites – future input for FMIS”* wurde termingerecht erreicht – siehe *Project-Deliverable* im Anhang. Im *Deliverable* wurden keine Konstruktionszeichnungen, Schaltpläne oder Algorithmen aufgenommen.

2. Referenzanalytik und räumliche Datenanalyse:

2.1. Laboranalysen

Für die Raman-Spektroskopie (FBH), die zeitaufgelöste Spektroskopie (PoliMi) und die multispektrale Messung mit zwei Abständen in der optischen Spinne (ATB) werden der Chlorophyll-Pool, Anthocyane und Carotenoide bestimmt, wobei Chlorophyll a, b und Pheophytin a sowie β -Carotin unterschieden werden. Vorliegende Daten von Pflaumen und Apfel zeigten aufschlussreiche Ergebnisse zur Charakterisierung des Chlorophyll-Pools in Früchten, die mittlerweile publiziert wurden (Seifert et al., 2015). Die chemische Pigmentzusammensetzung und Protokolle für die Referenzanalytik für die Projektpartner wurden in den Feldversuchen eingesetzt.

Die optische Charakterisierung der Früchte erfolgte mit dem Resultat, das die Ansätze zur Sensorkalibrierung basierend auf Farrells Diffusionstheorie teilweise bestätigt wurden. Die Diffusionstheorie ist jedoch nicht in der Lage Absorptions- und Streukoeffizienten unabhängig zu bestimmen. Dies bedeutet, dass der Streukoeffizient mit einer anderen Methode vorbestimmt wird und folgend die Zielgröße Absorption zerstörungsfrei analysiert werden kann. Diese Erkenntnis führte zur Erarbeitung (aus Haushaltsmitteln) weiterer Standards, die mit Hilfe von Analysen der Photonendichtewellen (PDW) charakterisiert wurden und nun zur Referenzierung in SI-Einheiten genutzt werden. Im Ergebnis kann am ATB Streu- und Absorptionskoeffizient von kompaktem Pflanzengewebe in cm^{-1} bestimmt werden.

Weiterhin wurde in den Vorversuchen der Projektpartner die Messung an kleinen Früchten getestet und für das vorliegende Projekt im Konsens mit allen Partnern ausgeschlossen.

In Zusammenarbeit mit dem FBH wurden Vorversuche und eine umfangreiche Messreihe an Äpfeln durchgeführt. Hierzu wurde der Prüfplatz zur Raman-Messung am ATB aufgebaut. Die Vorversuche mit dem FBH zur Analyse der kutikulären Wachsschicht bei

Gala-Äpfeln sind weiterhin in der Auswertung. FBH hat mit ATB-Co-Autorenschaft zum Messaufbau einen Artikel publiziert.

Das Teilziel D1.2.1 "Characterization of optical and chemical fruit properties" wurde erreicht – siehe *Project-Deliverable* im Anhang.

2.2. Feldtest am Heimatinstitut zur Vorbereitung der gemeinsamen Messkampagnen mit allen Partnern

Bereits in 2013 wurden umfangreiche Feldversuche am ATB zur räumlichen Charakterisierung einer Obstanlage abgeschlossen und die Daten ausgewertet.

Die Versuchsobstanlage befindet sich in Hanglage (3°) auf pleistozänen und postpleistozänen Substraten (Potsdam, Deutschland) und umfasst eine Fläche von 0,37 ha mit 156 Bäumen. Die Messungen an der Pflanze (Blütenansatz, Fruchtansatz, Fruchtfall, Ertrag) erfolgten an jedem Baum. Die punktuelle ECa des Oberbodens (0,25 m) wurde mit Hilfe von geoelektrischen Messungen mit einem Elektrodenabstand von 0,5 m (4-point light) durchgeführt.

Die Boniturdaten wurden mit Hilfe eines Varianz-Stabilisierungsverfahren in eine Normalverteilung transformiert. Die statistischen Analysen erfolgen mit einem Statistik-Paket in MATLAB® (R2010b, MathWorks, USA). Die Ergebnisse werden im European Journal of Horticultural Science publiziert (Käthner et al., in press).

Die erhobenen Daten zu den räumlichen Verteilungen der Kronentemperatur (Thermalkamera, Flir) und Berechnung des *crop water stress index*, CWSI, und des Blattflächenverhältnis (LiDAR, Ibeo Automobile Sensor GmbH, Deutschland) werden noch weiter ausgewertet und für die Publikation vorbereitet.

Eine erste Regressionsanalyse mit den ECa-Daten ergab für den CWSI ein adjustiertes Bestimmtheitsmaß, R^2_{adj} von 0,72**, für die Blattfläche $R^2_{adj} = 0,77**$ und die Blattfrischmasse $R^2_{adj} = 0,82**$. Die vorläufigen Ergebnisse der Anova zeigen für den CWSI signifikante Unterschiede mit $F = 4,43$ ($p = 0,038$) und weisen auf räumliche Muster in der Obstanlage hin.

Die Ergebnisse wurden mittlerweile publiziert (Käthner und Zude-Sasse, 2015).

WP2: Autonome Plattform

Testaufbau zur Datenübertragung mit dem Partner von Harper Adams wurde realisiert und in einem Feldversuch in der Schweiz eingesetzt.

WP3: Systemintegration

Keine Aktivitäten des ATB.

WP4: Farm management information system, FMIS

Zuarbeit zum Griechischen Partner: Räumliche Daten zur Bodenvariabilität des Schweizer Feldversuchs und Fruchtsensordaten, sowie eine Fruchtsensor wurden übergeben.

WP5: Kosten- und Technologiebewertung

Zuarbeit zum Dänischen Projektpartner: Wirtschaftliche Daten sowie Ergebnisse der Fruchtqualitätsanalysen wurden übergeben.

WP6: Feldversuche

Die Messung fanden in einer kommerziellen Obstanlage mit 1242 Bäumen (*Malus x domestica* Borkh. 'Gala') statt. Diese befindet sich im gemäßigten Klima (Changins-Prangins, Schweiz) auf miozänen und pleistozänen Böden, bestehend aus 26 % Ton, 29 % Schluff und 45 % Sand. Der Pflanzabstand ist in relativer x- Richtung (in der Reihe) 1 m und in y-Richtung (zwischen den Reihen) 4 m. In 3,5 m Höhe werden die Bäume mit einem Hagelnetz geschützt.

Die punktuelle ECa des Oberbodens (0,25 m) wurde bereits im ersten Projektjahr, 2013, mit Hilfe von geoelektrischen Messungen mit einem Elektrodenabstand von 0,5 m (4-point light hp, LGM, Deutschland) an jedem Baum gemessen, wodurch eine räumliche Charakterisierung des Bodens mithilfe von ECa ermöglicht war (Abb. 3). Die Auswertung der Bodeninformation ergab eine geringe Variation von 0 bis 4 mS/m der ECa-Werte in der Obstanlage. Die Erstellung einer Bodenkarte wurde nicht wiederholt, da in 2013 eine geringe Varianz in der elektrischen Bodenleitfähigkeit vorlag und die Bodenkarten von aufeinanderfolgenden Jahren überwiegend stark korreliert sind.

Das Wasserpotential [MPa] wurde mit einer Druckpumpe (Plant water status console 3000, Soilmoisture, USA) an jeweils drei Blättern pro Baum zu Sonnenhöchststand gemessen. Osmotische Konzentration und Wassergehalt (Trocknung bei 105 °C) wurden an 118 Blättern und 48 Bodenproben analysiert. Die geoelektrische Bodenkarte und Stammwasserpotenzialdaten dienten als Metadatensatz für alle Versuchsteilnehmer im Feldversuch 2014 und 2015.

Nach Abschluss aller Messreihen fanden Fruchtanalysen statt: Fruchtgröße [mm], gelöster Trockensubstanz [°Brix] und Gewebefestigkeit [N/cm²] der Früchte sowie vom Ertrag [# Früchte/Baum]. Die Ergebnisse können als typisch für den Apfelanbau in der Anbauregion angesehen werden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Statistische Varianz der erhobenen Referenzdaten

Blattfläche [cm ²]	22.287	95.992	157.842
Osmotische Konzentration [mmol /kg]	766	1155	8525.935
Wassergehalt (Blätter) [%]	66.955	75.590	2.885
Wassergehalt (Boden) [%]	8.263	19.380	9.232
Gesamtlösliche Trockensubstanz (Frucht) [°Brix]	8.683	10.5	0.193
Fruchtfleisfestigkeit [N/cm ²]	157.72	189.902	55.607
Fruchtgröße [cm ²]	35.976	58.085	39.783
Ertrag [#Früchte/Baum]	4.8	22.4	26.098

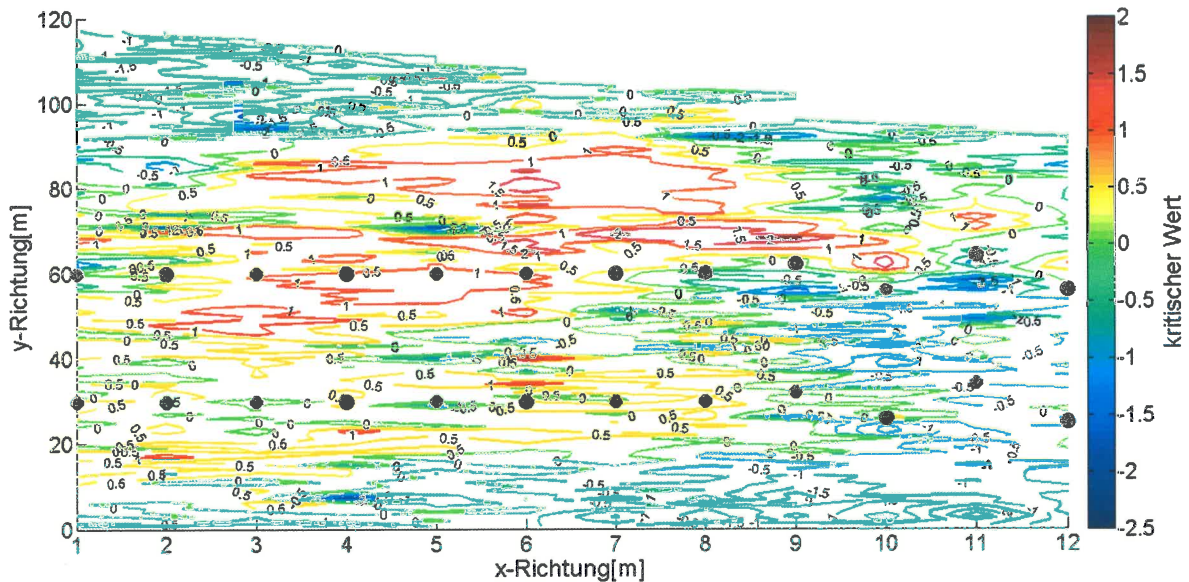


Abb. 3: Isolinien der kritischen Werte aus der *Hot-Spot* Analyse überlagert mit schwarzen Kreisen. Die zunehmende Größe entspricht dabei der Zunahme der osmotischen Konzentration von 942 bis 1289 mMol/kg.

Aus der *Hot-Spot* Analyse wurde ermittelt, dass 1,04 % der Daten *Hot-Spots* und 5,13 % *Cold-Spots* zugeordnet werden können. Daten, die in diese *Spots* fallen, sind mit der Blattfläche ($R = -0.99$), dem Blattwassergehalt ($R = -0.97$) und der osmotischer Konzentration ($R = 0.79$; Abb. 3) korreliert. Die räumliche Analyse weist auf Muster in der Anlage hin, die auf ihre Relevanz für die Bewässerung weiter untersucht werden sollen. Die Niederschläge waren in 2014 sehr hoch, so dass keine Ertragseinbußen festgestellt werden konnten. Für 2015 wurden *rain-out-shelter* in Form von Folien in den Baumreihen installiert, um das Wasser aus der Anlage abfließen zu lassen. Diese führten jedoch zu sehr hohen Temperaturen im Wurzelbereich.

Aufwändige Messreihen am ATB umfassten die Referenzanalytik zu den Fruchtpigmenten für FBH und PoliMi sowie den ATB-Sensor (Tabelle 2) und die Messung des Stammwasserpotenzials als Referenz für ARO. Die Daten wurden an die Projektpartner übergeben.

Tabelle 2: Mittelwerte der Fruchtpigmente in *Malus x domestica* Borkh. 'Gala'.

	Chl_a	Chl_b	Lutein	β -Carotin	Pheophytin
Messtermin	[mg/m ²]	[mg/m ²]	[mg/m ²]	[mg/m ²]	[mg/m ²]
30.06.2014	36,96	18,55	38,87	67,37	24,35
27.07.2014	21,96	10,77	19,44	44,34	13,31
05.09.2014	6,84	4,64	34,89	14,87	8,53

Darüberhinaus wurden vom ATB die optische Spinne, Dendrometer, Mikroklimasensoren und LiDAR eingesetzt.



Abb. 4: Feldmessungen in drei Kampagnen unter Teilnahme aller Partner des WP1 in 2014. Links ist der Fruchtsensor optische Spinne und links die autonome Plattform zur Messwert-Akquisition zu sehen.

Die Messsignale zeigen noch eine erhebliche Streuung, wobei die automatisierten Messungen während der Nacht erwartungsgemäß das beste Signal-Rausch-Verhältnis liefern. Die im postprocessing kalibrierten Sensoren zeigten die erwartete Abnahme des Fruchtchlorophyll-Pools in der zerstörungsfreien, automatisierten Messung (Abbildung 5). Bekanntermaßen ist der NDVI bei Chlorophyllgehalten ab 21 mg/m² nicht mehr sensitiv, was aber für die Ernteterminbestimmung unerheblich ist. Im relevanten Bereich wurde ein Bestimmtheitsmaß von 0.65 mit dem neuen Sensor im Freiland erreicht (Abbildung 6).

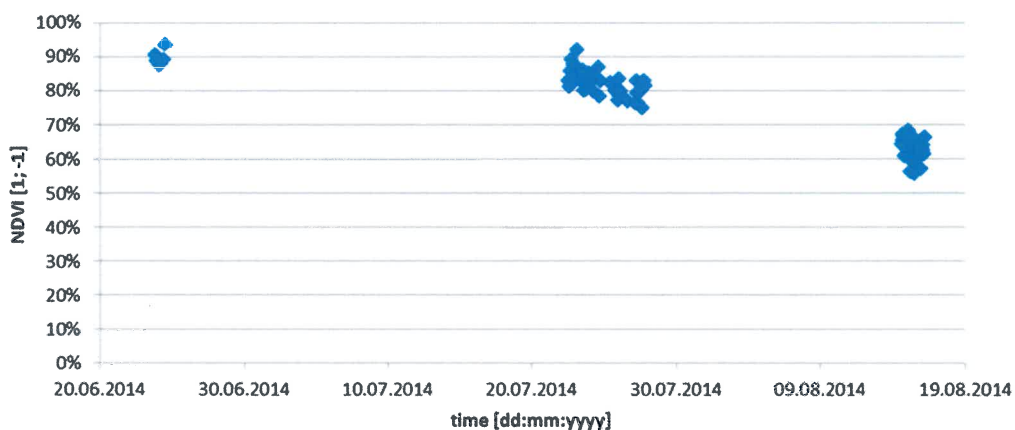


Abb. 5: Fruchtsensordaten (NDVI) in drei Kampagnen 2014.



	Chl_a [mg/m ²]	Chl_b [mg/m ²]	Pheophytin [mg/m ²]	NDVI [0; 1]
30.06.2014	37	19	24	0.93
27.07.2014	22	11	13	0.79
05.09.2014	7	5	9	0.64

Abb. 6: Automatisiert erfasste Sensordaten bezogen auf chemische Analysen des Chlorophyll-Pools.

Das Teilziel D6.1.1 "Data acquired in the experimental fields by partners" wurde abgeschlossen – siehe Project-Deliverable im Anhang.

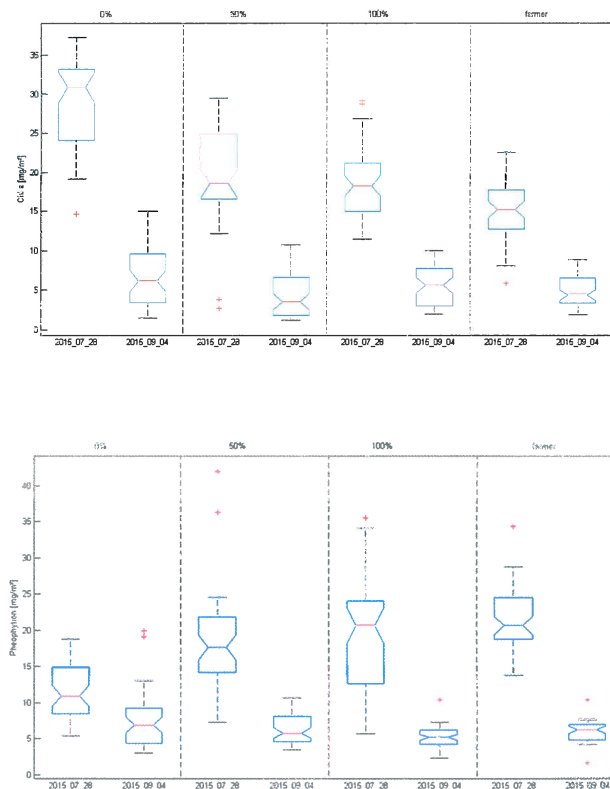


Abb. 7: Abnahme von Chlorophyll a und Pheophytin im Verlauf der Fruchtentwicklung in allen Varianten (0% Zusatzberegnung, 50% Beregnung zur Feldkapazität, 100% Beregnung zur Feldkapazität und Anbauer-geführte Beregnung).

In 2015 wurden von den Projektpartnern zusätzliche Messungen in der Schweiz bei Ausfall der geplanten Messungen in England anberaumt. Das ATB hat an einem Messtermin und

einmal bei durch den Schweizer Partner transportierte Früchte Analysen durchgeführt. Im Vergleich wurde zwischen beiden Messtermine eine Abnahme des Chlorophyll-Pools der Früchte festgestellt (Abbildung 7). Dies betraf erwartungsgemäß alle Bewässerungsvarianten. Interessant ist ein vermutlich durch Hitzestress verursachter relativer Anstieg des Frucht-Pheophytins beim zweiten Messtermin (Abbildung 8).

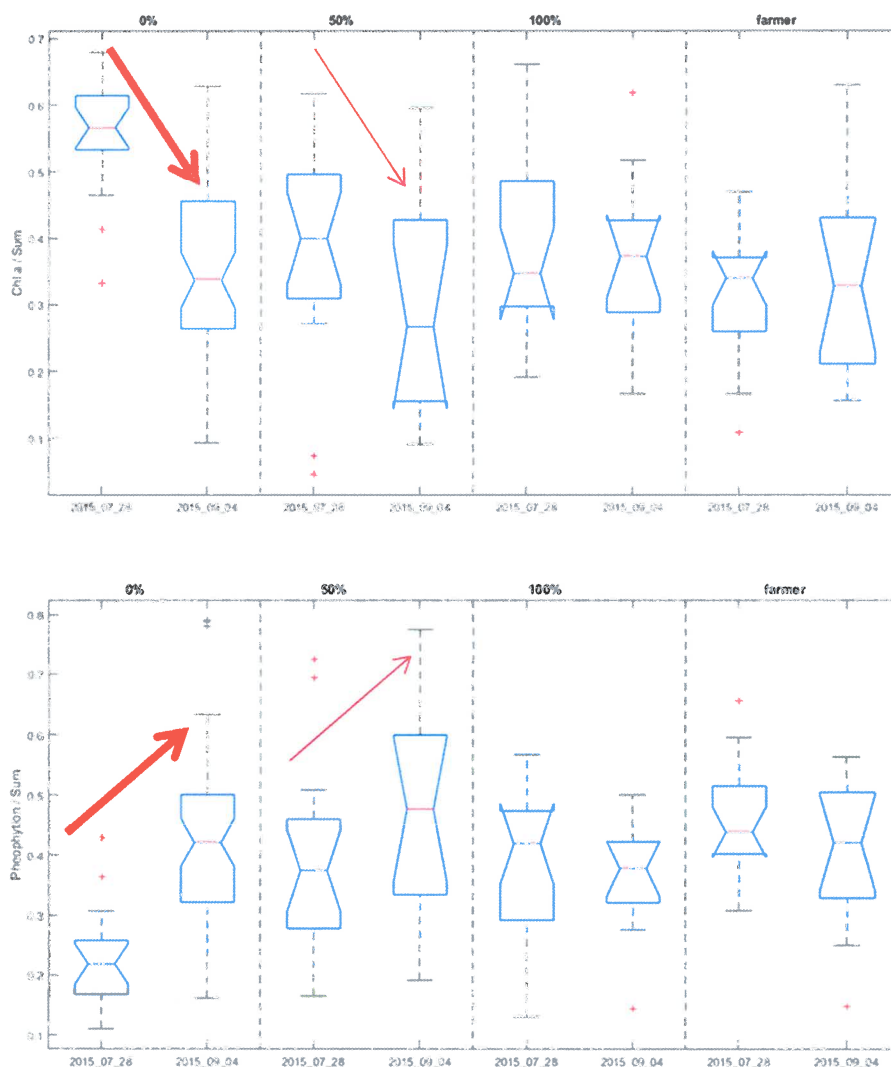


Abb. 8: Veränderungen des Chlorophyll a und Pheophytin bezogen auf den gesamten Chlorophyll-Pool der Früchte in den vier Bewässerungsvarianten.

Die Ergebnisse werden derzeit final analysiert und von der Projektbearbeiterin zur Publikation in einer wissenschaftlichen Zeitschrift eingereicht.

Die Kalibrierung der Sensoren wurde gemeinsam mit dem italienischen Partner weiterentwickelt. Die bildgebende Labormethode dient zum Referenzieren der Fruchtsensoren. Es soll die Zielgröße, der Absorptionskoeffizient μ_a , aus dem gemessenen Summensignal, welches durch μ_a und den Streukoeffizienten μ_s beeinflusst ist, ermittelt

werden. Der Einfluss der Lichtstreuung auf das Signal ist um eine Dezimalstelle größer als die Absorption. Hierdurch können bei variierenden Streukoeffizienten, beispielsweise im Verlauf der Fruchtentwicklung, erhebliche Fehler auftreten. Bei Steinobst konnte gezeigt werden, dass eine zerstörungsfreie Messung der Chlorophyll-Absorption aus dem Messsignal unmöglich erscheint. Mit Hilfe des Farrell-Modells zur Diffusion von Photonen (Gleichung 1) kann in kompakten, streuenden Medien μ_a aus dem Summensignal ermittelt werden.

$$R_F(r) = \frac{a'}{4\pi} \left[\frac{1}{\mu_t'} \left(\mu_{eff} + \frac{1}{r_1} \right) \frac{\exp(-\mu_{eff} r_1)}{r_1^2} + \left(\frac{1}{\mu_t'} + \frac{4A}{3\mu_t'} \right) \left(\mu_{eff} + \frac{1}{r_2} \right) \frac{\exp(-\mu_{eff} r_2)}{r_2^2} \right] \quad (\text{Gl. 1})$$

where r is the distance from the center of photon injection; a' is the transport albedo; μ_{eff} is the effective attenuation coefficient, $\mu_{eff} = [3\mu_a(\mu_a + \mu_s')]^{1/2}$; μ_t' is the total interaction coefficient; the variables r_1 and r_2 are given by the equations $r_1 = [(1/\mu_t')^2 + r^2]^{1/2}$ and $r_2 = [((1/\mu_t') + (4A/3\mu_t'))^2 + r^2]^{1/2}$, respectively; A is the internal refractive index.

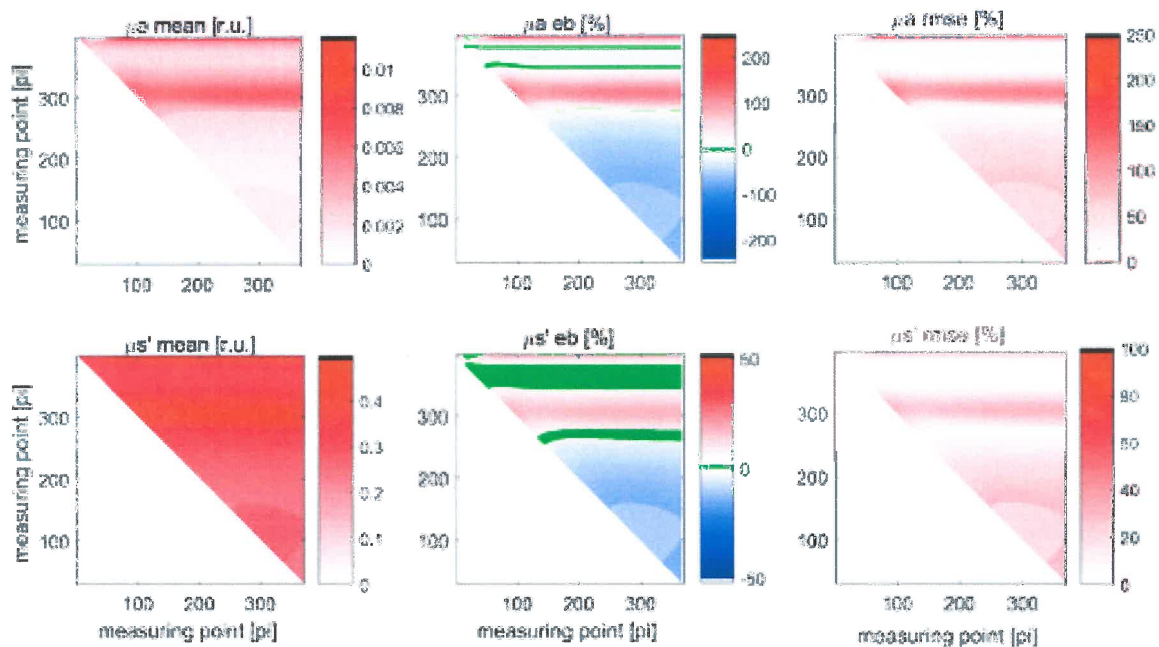


Abb. 9: Abhängigkeit der Stützstellenauswahl in der bildgebenden Messung mit jeweils 300 Messpunkten in x und y Richtung. Berechnete Werte des Absorptions-, μ_a , und Streukoeffizienten, μ_s' (linke Spalte) sowie die Abweichung (mittlere Spalte) und Streufehler (rechte Spalte) bei der Bestimmung mit drei Messpunkten entsprechend des automatisierten Fruchtsensors „spider“. Grüne Bereiche in der mittleren Spalte und weiße Bereiche in der linken Spalte zeigen Fehler <5% an.

Mit dem weiterentwickelten Ansatz wurde auf Basis der Diffusionstheorie und einem zuvor im Labor bestimmten Bereich für μ_s' die Absorption des Chlorophylls an dessen Q-Band um 680 nm analysiert. Abbildung 9 zeigt die Fehler bei Verwendung unterschiedlicher Stützstellen für die Analyse. Im Versuch konnten Fehler <5% ermittelt werden.

WP7: Demonstration

Ein dritter Termin in 2015 wurde zur Demonstration in der kommerziellen Apfelanlage in der Schweiz anberaumt, an dem alle WP1 Partner teilnahmen (Abbildung 10).



Abb. 10: Demonstration der drei Fruchtsensoren basierend auf dem automatisierten Spider Sensor, der TRS-Messung und Raman-Spektroskopie in Changins, Schweiz, 2015.

WP8: Projektmanagement

- Die Teilziele/*Deliverables* des WP1 wurden vom ATB als WP-Koordinator erstellt.
- Eine nationale operationelle Gruppe (OG) im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft (EIP) bestehend aus 3 Produzenten, Beratung, Gartenbau-Verband und dem ATB wurde zur Fragestellung „Entwicklung eines internetgestützten Informations- und Beratungssystems zur Erhöhung der Wassernutzungseffizienz im Obstbau“, Akronym: AquaC+, in Brandenburg für den Zeitraum 2016 – 2021 bewilligt.

Hier können die gewonnenen Erkenntnisse zu räumlichen *Hot-spot* Analysen, bewässerungsrelevante Charakterisierung der Fruchtentwicklungsphasen, aber auch der Erfahrungsaustausch mit ARO zur Messung des Wasserzustands bei Bäumen aus USER-PA eingebracht werden.

III. Zusammenfassender SOLL/IST-Vergleich der Mittelplanung im Teilprojekt – gegliedert entsprechend der Arbeitspakete

WP1: Pflanzensensoren

Teilziele/*Deliverables* wurden entsprechend der Projektmittelplanung erreicht. Erhebliche Pilzinfektionen nach Verwendung von Nylonbändern machten jedoch die Erprobung weiterer Materialien notwendig. Hier sind Mehrkosten bei der Firma Constin GmbH entstanden.



Abb. 11: Pilzinfektion unter dem Befestigungsband des Fruchtsensors.

WP4: Farm management information system, FMIS

Wurde termingerecht in Zusammenarbeit mit dem Griechischen Partner durchgeführt.

WP5: Kosten- und Technologiebewertung

Entsprechend der Projektplanung fand die Zuarbeit für den Dänischen Projektpartner statt.

WP6: Feldversuche

Verlauf entsprechend der bei Projektstart veränderten Projektplanung mit Messungen am Institutsstandort und in der Schweiz. Messungen in der Türkei werden lediglich vom Israelischen Partner durchgeführt. Dies hat fachlich Gründe zwecks Wiederholung der Messungen an Äpfeln in der Schweiz.

In 2015 wurde eine wiederholte Messkampagne in der Schweiz durchgeführt, wodurch die Messung einer Zeitreihe und die Demonstration in der Versuchsanlage in Changins ökonomisch machbarer erschien. *Rain-out-shelter* wurden vom Projektpartner in der Schweiz installiert, um gezielt die Wasserverfügbarkeit in der Versuchsanlage zu beeinflussen. In 2014 wurde in den Varianten kein Trockenstress festgestellt.

WP7: Demonstration

Wurde am Versuchsstandort in der Schweiz mit den WP1 Partnern durchgeführt.

WP8: Projektmanagement

Personal

Wie im Schreiben vom 07.11.2014 bewilligt. Die Entscheidung von Frau Käthner ein Promotionsstudium zu beginnen war für das Projekt positiv. Eine weitere Publikation und Abgabe der Dissertation sind noch in 2016 geplant.

Es wurden mehr studentische Hilfskräfte eingebunden als ursprünglich geplant. Nur hierdurch ließen sich die Feld-Messungen, die oft mit zwei Personen durchgeführt werden müssen, realisieren.

Dienstreisen im Rahmen des Projektmanagements und der Ergebnisveröffentlichung

Durch die veränderte Planung bei Wegfall der Messungen in der Türkei, konnten die zusätzlichen Messungen in der Schweiz realisiert werden. Es wurden jedoch mehr Haushaltsmittel aufgewendet, da die Messungen nicht allein durch die Projektbearbeiterin durchgeführt werden konnten und neben dem Versuchstechniker und Studenten auch ATB-Laborkräfte streckenweise sehr stark eingebunden wurden.

Sensoren

Für die Befestigungsbänder wurde zunächst Nylon, später Polyurethan verwendet. Die Bestellung musste mit Mehrkosten und zweimalig ausgelöst werden, da die Umfänge nicht für die kleineren Äpfel bei Beginn der Beprobung in der Schweiz ausreichten. Hier sind Mehrkosten bei der Firma Constin GmbH entstanden.

IV. Publikationen

Peer-reviewed paper

Käthner, J.; Zude, M. (2015): Interaction of 3D soil electrical conductivity and generative growth in *Prunus domestica* L. *European Journal of Horticultural Science*. 80 (5): 231-239 Online: <http://dx.doi.org/10.17660/eJHS.2015/80.5.5>

Seifert, B.; Zude, M.; Spinelli, L.; Torricelli, A. (2015): Optical properties of developing pip and stone fruit reveal underlying structural changes. *Physiologia Plantarum*. 153 (2): 327-336 Online: <http://dx.doi.org/10.1111/ppl.12232>

Zude-Sasse, M., Fountas, S., Gemtos, T.A., Abu-Khalaf, N. (2016). Applications of Precision Agriculture in Horticultural Crops – Review. *European Journal of Horticultural Science* 81: 78-90.

Conference contributions

Zude-Sasse M (2015): Keynote - Using data from in-situ fruit assessment to inform pre- and post-harvest management decisions. 10th ECPA, 12-16 July, Tel Aviv, Isreal (oral)

Zude-Sasse M (2014): Keynote – In-situ fruit sensors. International Workshop on Smart Farming, 11.08.2014, Kuala Lumpur, Malaysia (oral)

Zude-Sasse M (2014): Keynote - Using data from in-situ fruit assessment to inform pre- and post-harvest management decisions. International Horticulture Congress, IHC, August 2014, Brisbane, Australia (oral)

Zude-Sasse, M.; Seifert, B.; Spinelli, L.; Torricelli, A. (2014): Influence of absorption and scattering properties on the robustness of pigment calibrations in apple and plum fruit. International Horticulture Congress, IHC, August 2014, Brisbane, Australia (oral)

Käthner, J.; Selbeck, J.; Peeters, A.; Ben-Gal, A.; Blumenstein, O. und Zude, M. (2014): Einfluss geringer Variabilität der elektrischen Bodenleitfähigkeit auf den Wasserzustand, das Kronenvolumen und den Ertrag bei *Prunus domestica*. 49. DGG & BHGL 5-8 March, Dresden, Germany (oral)

Käthner, J.; Fleury, D.; Herppich, W. and Zude, M. (2015): Einfluss der elektrischen Bodenleitfähigkeit auf die Fruchtqualität bei *Malus x domestica*. 50. DGG, 24- 28 February, Freising, Germany (poster)

Käthner, J; Fleury, D; Herppich, W and Zude, M (2015): Influence of apparent soil ECa on the fruit quality in *Malus x domestica* orchard, 9th Frutic, 15- 22 May, Milano, Italy, (poster)

Zude, M; Käthner, J; Selbeck, J; Pflanz, M; Fronimos, T; Hristos Anastassiou, Vougioukas, SG (2014) Automated Monitoring of Tree Crops and Delineation of Hot spots. International Horticulture Congress, IHC, August 2014, Brisbane, Australia (digital poster)

Käthner, J.; Alchanatis, V.; Selbeck, J.; Peeters, A.; Ben-Gal, A.; Blumenstein, O. and Zude, M. (2014): Influence of small scale variability of soil ECa on the crop water stress index, canopy volume, - density, and yield in *Prunus domestica* orchard. AgEng 6-10 July, Zurich, Switzerland (poster)

Käthner, J.; Geyer, M.; Zude-Sasse, M. (2015): Precision fruticulture. EITI (European Interconnect Technology Initiative e.V.) Crazy Guy Meeting, 12-13.2.2015, Frankfurt, Germany

Zude-Sasse, M.; Käthner, J (2014): Roboter zur Messung der Reifeentwicklung und des Wasserbedarfs in Obstanlagen. Pillnitzer Obstbautage, 9-10.12.2014, Breitenbrunn, Germany

Proceedings

Käthner, J.; Alchanatis, V.; Selbeck, J.; Peeters, A.; Ben-Gal, A.; Blumenstein, O. and Zude, M. (2014): Influence of small scale variability of soil ECa on the crop water stress index, canopy volume, - density, and yield in *Prunus domestica* orchard. AgEng, 6-10.7.2014, Zurich, Switzerland

Technical journal for farmers

Zude-Sasse, M.; Käthner, J.; Weckschmied, A.; Selbeck J. (2014): Selbst eine geringe Bodenvariabilität kann Unterschiede im Pflanzenwachstum hervorrufen. Obstbau 3: 128-130

Media

Bernard Messerli, De l'ingenierie pointue pour l'irrigation, Agri, 18 September 2015

Foltan, H.; Zude, M. (2013/03): Press release: "Usability of environmentally sound and reliable techniques in precision agriculture (USER-PA)"

Zude, M. (11.10.2013): Radio interview: Deutschlandfunk, Sendung Forschung aktuell, 16:35 Uhr: <http://www.dradio.de/aodflash/player.php?station=1&broadcast=9507&datum=20131010&playtime=1381416305&fileid=21fe68fd&sendung=9507&beitrag=2281890&/>

Käthner, J.; Kunzelmann, J.; Zude, M. (2014): Phytotechnology of Horticulture – Fruit Sensors. Lange Nacht der Wissenschaften, 10.05.2014, Berlin, Germany

Käthner, J.; Pflanz, M.; Zude, M. (2015): Phytotechnology of Horticulture – Fruit Sensors. Lange Nacht der Wissenschaften, 13.06.2015, Berlin, Germany

Zude, M. (2016). Radio interview on precision horticulture, 15.1.2016, NDR, Sendung LOGO

Anlagen

- 1. Overall Report by Project Coordinator**

- 2. Deliverable D1.2.1**
- 3. Deliverable D1.2.2**
- 4. Deliverable D1.2.3**
- 5. Deliverable D6.1.1**
- 6. Deliverable D6.2.1**
- 7. Deliverable D1.2.4**
- 8. Deliverable D8.2.2**

Artikel

- 9. Käthner, J.; Zude, M. (2015): Interaction of 3D soil electrical conductivity and generative growth in *Prunus domestica* L. European Journal of Horticultural Science. 80 (5): 231-239 Online:
<http://dx.doi.org/10.17660/eJHS.2015/80.5.5>**
- 10. Seifert, B.; Zude, M.; Spinelli, L.; Torricelli, A. (2015): Optical properties of developing pip and stone fruit reveal underlying structural changes. Physiologia Plantarum. 153 (2): 327-336 Online:
<http://dx.doi.org/10.1111/ppl.12232>**
- 11. Zude-Sasse, M., Fountas, S., Gemtos, T.A., Abu-Khalaf, N. (2016). Applications of Precision Agriculture in Horticultural Crops – Review. European Journal of Horticultural Science 81: 78-90.**