

Aktueller Stand der Technik im Bereich der Sensoren für Precision Agriculture

Cornelia Weltzien¹ und Robin Gebbers²

Abstract: Dieser Beitrag gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der terrestrischen mobilen Pflanzen- und Bodensensoren für Precision Agriculture. Am Beispiel der Erfassung von Bodenparametern wird dargestellt wie weit Sensordatenfusion vorangekommen ist und welche weiteren Schritte auf dem Weg zum Smart Farming noch folgen müssen.

Keywords: Smart Farming, Precision Agriculture, Sensorfusion, Datenfusion.

1 Einleitung

Auf der Agritechnica 2015 wurde unter den Überschriften ‚Smart Farming‘ und ‚Digital Cropping‘ viele Sensorbasierte Lösungen ausgezeichnet. Die digitalisierte Landwirtschaft scheint hier bereits umgesetzt, aber in Realität mangelt es oftmals an verfügbaren, validen und relevanten Informationen zu akzeptablen Kosten. Aufgrund des Bedarfs an geeigneten Informationen in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zur Umsetzung präziser Bewirtschaftungsmaßnahmen bilden Sensoren ein zentrales Element von Precision Agriculture.

Die Herausforderung an die Sensoren für Precision Agriculture liegt darin unter schwierigen, wechselhaften Umgebungsbedingungen (Temperatur, Lichtverhältnisse und Staubentwicklung) kostengünstig und schnell, sehr komplexe Analysen durchzuführen. Dabei sind viele der bewirtschaftungsrelevanten Parameter nicht direkt messbar sondern werden als sogenannte „Proxis“ nur abgeschätzt, dazu werden direkt messbare Größen über empirische Beziehungen und Kalibriermodelle an den eigentlichen Parameter approximiert. Der folgende Überblick betrachtet den aktuellen Stand bei terrestrisch eingesetzten Pflanzen und Boden Sensoren.

2 Stand der Technik

Hinsichtlich der Messstrategie werden absätzig und Echtzeitverfahren unterschieden. Bei *absätzigen Verfahren* lassen sich die Sensordaten im Post-processing kalibrieren und

¹ Leibniz Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Technik im Pflanzenbau & TU Berlin, Agromechatronik, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, cweltzien@atb-potsdam.de

² Leibniz Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim, Technik im Pflanzenbau, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, rgebbers@atb-potsdam.de

in komplexere Entscheidungsalgorithmen einbinden die durch den Nutzer geprüft werden können. *Echtzeitsysteme* ermöglichen die Messung, Analyse und Applikation in einem Arbeitsgang. Hierbei hat der Landwirt wenig Möglichkeit einzugreifen.

Marktverfügbare echtzeitfähige *Pflanzensensorsysteme* messen mittels Spektralanalysen der Lichtreflektion den Blattflächenindex (LAI leaf area index), die Biomasse (NDVI normalized differential vegetation index) und die Chlorophyllkonzentration. Zur bedarfsorientierten Düngerapplikation werden diese Parameter als Indikatoren der Stickstoffversorgung ausgewertet und zur Echtzeitsteuerung genutzt. Zwischen Stickstoffversorgung und Chlorophyllkonzentration besteht zwar ein kausaler aber kein deterministischer Zusammenhang, d.h. die Zuordnung der Grünfärbung zur Stickstoffversorgung ist eine Approximation welche weitere komplexe Zusammenhänge des Pflanzenzustands vernachlässigt und die daher durch andere Effekte z.B. Mangelerscheinungen gestört werden kann. Es gibt mehrere Anbieter solcher „N-Sensoren“, so dass die Technik als etabliert anzusehen ist. Alle diese Sensoren messen punktförmig, d.h. es sind nicht-bildgebende Verfahren.

In Forschung und Entwicklung wird an der Erfassung weiterer *Pflanzenparameter* (z.B. Morphologie, Krankheitsbefall) gearbeitet, insbesondere der spektraloptischen Analyse mittels punktbezogener Sensoren (LAI) [Sc15] und von Kamerabildern (NDVI) [Ge14]. Die Morphologie wird durch mechanische und Ultraschall Sensoren, Laserentfernungsmesser, 2-D und 3-D-Kameras sowie Lichtgitter ermittelt [Bu13]. Die Erkennung von Beikräutern durch Kameratechnik [Da14] und Pilzbefall mittels optoelektronischer Sensoren [Da15] sind aktuelle Forschungsthemen. Die Kameratechnik ist sowohl in Echtzeitverfahren als auch bei Bonituren durch Feldroboter oder UAV (unmanned aerial vehicles) einsetzbar. Beschränkungen sind aktuell die Leistung der Embedded Controller sowie die Zuladung der UAV. Die Miniaturisierung der Sensoren sowie die Reduzierung der Komplexität der Programmierung werden hierzu vorangetrieben [DHS15].

Mechanisch Treibstoff Verbrauch (0) Zugkraft (0) Vertikal Penetrometer (?) Horizontal Penetrometer (0)	Elektrisch Geo-elektrisch (EC, EMI, Kap) (+) TDR, FDR (0) Geo-radar (0) THz (-)	Radioaktiv Gamma Spektroskopie (pass.) (+) Neutron Impuls (aktive) (-) Röntgenfluoreszenz XRF (0)
Chemisch Galvanisch (SoilDoctor) (?) Ionenselektiveelektroden (pH) (+) FET Feldeffekttransistoren (-) Künstliche Nase (-) Antikörper (-)	Optisch Vis-NIR Spektroskopie (? 0) Kamera (? 0) Raman Spektroskopie (-) Plasma Spektroskopie (-)	Akustisch Seismisch (-)
		Pneumatisch Luftleitfähigkeit (-)

(+) Produkt verfügbar, häufig eingesetzt (?) Produkt verfügbar, selten eingesetzt
 (0) Produktentwicklung, int. Forschung (-) Reine Forschung

Abb.1: Übersicht vorhandener Sensoren zur Bodenkartierung [Ge14]

Bei Bodensensoren wurden bislang ausschließlich off-line Lösungen angeboten. Der Topsoilmapper ist der erste echtzeitfähige Bodensensor [At15]. Er ermittelt die scheinbare elektrische Leitfähigkeit bis in eine Tiefe von 1,1 m. Daraus sollen sich Verdichtungszonen, Wassersättigung und Bodenart ableiten lassen. Das System ermöglicht die direkte Steuerung von Bodenbearbeitungsgeräten, allerdings fehlen für die Umsetzung in

eine differenzierte Bearbeitung noch Entscheidungsfindungssysteme. Dies ist durchaus typisch für die Nutzung von Boden- und Pflanzensensoren: die produzierten Daten können nur unzureichend in Informationen und Entscheidungen umgesetzt werden.

Nahbereichsensorik zur Bodenkartierung wird meist in einem unabhängigen Arbeitsgang einzeln oder kombiniert eingesetzt. Kommerziell angeboten werden die in Abb. grau hinterlegten Messverfahren VIS-NIR Spektroskopie (Humus-, Nährstoffgehalt) [KS13], elektrische Leitfähigkeitssensoren (Wasser-, Ton-, Humusgehalt, Salze), Ionenselektive Elektroden (pH, Acidität, freie H⁺) sowie seltener Gammastrahlen-Spektroskopie [VR11] (geol. Ursprung, Textur/Humus, K, Fe, Corg, pH [Ge14]). Neue Forschungsfelder im Labormaßstab sind künstliche Nasen, Immunosensoren, Raman- und Terahertz Spektroskopie [Dw13]. Die einzigen direkt gemessenen bewirtschaftungsrelevanten Parameter sind der pH Wert durch die Ionenselektiven Elektroden sowie der Kaliumgehalt durch die Gammaskopie. Die anderen Parameter sind indirekte Messgrößen. Auch die Bodenfeuchte abgeleitet aus der Leitfähigkeit ist ein „Proxi“ und muss zwingend auf die Textur kalibriert werden. Dieser Wert gibt noch nicht das pflanzenverfügbare Wasserpotential an, sondern benennt den Wassergehalt des Bodens. Bis heute kann kein Sensor den wichtigsten bewirtschaftungsrelevanten Parameter in Echtzeit messen oder auch nur approximieren: den pflanzenverfügbaren Stickstoff im Boden.

Die Differenzierung verschiedener Stressoren wie Krankheiten, Wasser-, Nährstoffmangel ist noch Gegenstand der Forschung. Hierzu müssen wesentlich mehr Messgrößen, ggfls. auch Sensoren, kombiniert ausgewertet werden. Die Sensorfusion wird weitere Differenzierungen ermöglichen, Multisensorplattformen sind Thema bei Phänotypisierung [Bu13], Bodenparametern [VR11] oder Fungiziden [Da14].

3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Herausforderungen liegen in der Entwicklung neuer Messverfahren, neuer Analysemethoden, in der Datenfusion zu neuen Informationen und in der Automatisierung der Arbeitsschritte zur Datenerhebung.

Es ist viel Sensorik vorhanden und wird auf Multisensorplattformen eingesetzt, aber die Sensor-Daten-Fusion im Sinne der überlagerten Auswertung von unterschiedlichen Informationsebenen steht noch am Anfang. Noch nicht alle bewirtschaftungsrelevanten Parameter können in Echtzeit ermittelt werden und nur einige Parameter werden direkt gemessen, der Großteil der Werte basiert auf empirischen Zusammenhängen.

Nur wenige Sensorsysteme sind wirklich „smart“ in dem Sinne dass die Entscheidungsfindungssysteme auf dem Sensor eingebettet sind und sie durch mobile Anbindung in der Lage sind Informationen aus externen Datenquellen direkt auf der Maschine zu nutzen.

Zur der Weiterentwicklung smarterer Sensoren müssen die relevanten Informationen in multikausale Entscheidungsfindungssysteme integriert werden um Wissen zu generieren.

Das Ziel sind komplexe Systeme die einfach zu bedienen sind. Lösungen mit *systemischen, durchgängigen und transparenten* Ansätzen, mit guter „Usability“ und *einfacher Handhabung*. Die *mobile Datenübertragung* ist eine Basistechnologie um *vollintegrierte Systeme* zu erstellen bei denen eine Datenfusion aus verschiedenen Quellen in Echtzeit möglich wird. Auch Praxiserfahrungen müssen in diese integrierten Systeme einfließen können, damit Landwirte mit Hilfe der Technik ihr Expertenwissen weiter ausbauen.

Literaturverzeichnis

- [KS13] Kodaira, M.; Shibusawa, S.: Using a mobile real-time soil visible-near infrared sensor for high resolution soil property mapping, *Geoderma* 199 (2013), 64-79, [<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.09.007>], 2013
- [Dw13] Dworak, V.; Augustin, S.; Selbeck, J.; Gebbers, R.: Potentials of terahertz transmission measurements as a new methodology for proximal soil sensing. In (Gebbers, R.; Lück, E.; Rühlmann, J.): 3rd Global Workshop on Proximal Soil Sensing, Eigenverlag, Potsdam, (0947-7314), p. 12-21, 2013.
- [VR11] Viscarra Rossel, R. A.; et. al.; Proximal Soil Sensing: An Effective Approach for Soil Measurements in Space and Time. In (Donald L. Sparks): *Advances in Agronomy*, Vol. 113, Burlington: Academic Press, pp. 237-282, 2011.
- [Ge14] Gebbers, R.: Current soil and plant sensors in precision agriculture. Keynote. ConBAP 2014. Brazilian Conference on Precision Agriculture 2014. Sao Pedro, Sao Paulo State, Brazil, http://www.atb-potsdam.de/uploads/feupload/Gebbers_SensorsPrecisionAgriculture_ConBAP2014_v04.pdf
- [Bu13] Busemeyer, L.; Ruckelshausen, A.; et al: Breed Vision – A Multi-Sensor Platform for Non-Destructive Field-Based Phenotyping in Plant Breeding. *Sensors* 13/2013, pp 2830-2847, 2013.
- [DHS15] Dworak, V.; Hübner, M.; Selbeck, J.: Precise Navigation of Small Agricultural Robots in Sensitive Areas with a Smart Plant Camera. *Journal of Imaging* 1/15, 115-13, 2015.
- [At15] Übersicht Neuheiten Agritechnika 2015, [<https://www.agritechnica.com/de/neuheiten/neuheiten-2015-uebersicht/>], 19.11.2015
- [Da14] Dammer, K.-H.: Sensorgesteuerte Applikation von Pflanzenschutzmitteln. *Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 85, ATB*, 2014.
- [Da15] Dammer, K.-H.; Tackenberg, M.; et al: Zielflächenorientierte präzise Echtzeit-Fungizidapplikation in Getreide. *Landtechnik* Bd. 70, Nr. 2, pp 31-43, 2015.
- [Sc15] Schirrmann, M.; Hamdorf, A.; Giebel, A.; Dammer, K.; Garz, A.: A mobile sensor for leaf area index estimation from canopy light transmittance in wheat crops. *Biosystems Engineering* 140, 23-33, 2015.