

Christian Peveling-Oberhag und Peter Schulze Lammers

Ultra-Breitband RADAR-Sensor zur nicht destruktiven Analyse von Speicherwurzeln

Sensorsysteme können bei der Phänotypisierung zur Objektivierung der Bewertung von Pflanzenparametern und auch zur Reduzierung von Arbeitsaufwand und Kosten beitragen. Während für oberirdische Pflanzenteile eine große Bandbreite an nicht destruktiven Sensoren vorhanden ist, sind nicht destruktive Sensoren für unterirdische Pflanzenteile nur eingeschränkt verfügbar und meist kostenintensiv. Der hier vorgestellte Sensor auf Basis von Ultra-Breitband (UWB) RADAR ist für Hochdurchsatzverfahren der Phänotypisierung, eine kostengünstige und gleichzeitig effektive Möglichkeit der nicht destruktiven Analyse von Wurzelfrüchten.

Schlüsselwörter

Pflanzenzüchtung, Mikrowellen, UWB, Zuckerrüben, Phänotypisierung

Keywords

Plant breeding, microwaves, UWB, sugar beets, phenotyping

Abstract

Peveling-Oberhag, Christian and Schulze Lammers, Peter

Ultra-WideBand RADAR-Sensor for non destructive analysis of storage roots

Landtechnik 67 (2012), no. 2, pp.102–105, 3 figures, 13 references

Sensor systems can provide accurate information for plant phenotyping and reduce labor and costs. While various non-destructive sensors are available for above soil plant parts, there are only a few for in-soil plant parts which are generally expensive. The UWB-sensor presented will show an effective and reasonable approach for non-destructive high-throughput phenotyping of root crops.

higkeit einer neuen Pflanzensorte hinreichend zu beschreiben. Für Nutzpflanzen, deren Ertragspotenzial sich oberirdisch bildet (z.B. Getreide) ist eine Reihe von Sensorsystemen vorhanden, die sich für eine automatisierte Quantifizierung eignen. Hierzu zählen vor allem optische [1, 2, 3] und elektromechanische [4] Sensorsysteme, mit deren Hilfe Parameter auf nicht destruktive Art und Weise erfasst werden können.

Dagegen ist die Auswahl an nicht destruktiven Sensorsystemen für Wurzelfrüchte, deren Ertragsbildung hauptsächlich unterirdisch stattfindet, eingeschränkt. Mithilfe von Magnetresonanztomographie (MRT) [5] oder Computertomographie [6] können Wurzelfrüchte, wenn sie in Pflanzgefäßen angezogen wurden, untersucht und die äußere und innere Struktur mit hoher Auflösung dargestellt werden. Diese Untersuchungen sind jedoch aufwendig, kostenintensiv und die Geräte wenig mobil. Im Bereich der Phänotypisierung von Wurzelfrüchten besteht deshalb ein Bedarf an kostengünstigen, einfach zu handhabenden und mobilen Sensorsystemen.

Ein System, das diese Anforderungen erfüllt, könnte das bodenpenetrierende RADAR (GPR) sein. Dieses System hat die Fähigkeit, Böden und andere Oberflächen zu durchdringen und durch Reflexion der ausgestrahlten Wellen am Zielobjekt z.B. Wurzelfrüchten, Informationen über bestimmte Merkmale dieses Objektes zu sammeln. Erfolgreiche Einsätze von GPR lassen sich bei der Wurzeldetektion im Forstbereich [7, 8] und in der Detektion von geköpften Zuckerrüben [9] finden. Hohe Bodenfeuchten und bestimmte Bodenarten stören jedoch das GPR, sodass eine großflächige Anwendung im Feld bisher ausgeblieben ist.

Trotzdem ist das GPR-Prinzip für die Phänotypisierung von Wurzelfrüchten ein interessanter und vielversprechender

Die Phänotypisierung von Pflanzenmerkmalen ist für Züchtungsprozesse essenziell, da bestimmte Merkmale der zu züchtenden Nutzpflanze wie Ertrag oder Krankheitsbefall erfasst und quantifiziert werden müssen, um die Leistungsfähigkeit

Ansatz, wenn Bodenfeuchte und Bodenart eine ausreichende Kontrastbildung zulassen. Im Folgenden wird deshalb ein Sensorsystem auf Basis von GPR für die Detektion von Speicherwurzeln in Pflanzgefäßen vorgestellt.

Material und Methoden

Das verwendete GPR basiert auf der sogenannten Ultra-Breitband(UWB)-Technik, bei der statt eines schmalen Frequenzbandes ein breitbandiges Signal in der Größenordnung von mehreren GHz genutzt wird. Dieses besitzt den Vorteil, dass der erzeugte Puls zeitlich extrem kurz ist und damit ein hohes Auflösungsvermögen aufweist. UWB-Systeme haben eine sehr spezifische Funktionsweise und verschiedene Vorteile gegenüber schmalbandigen Systemen, die in [10] detailliert dargelegt werden. Das hier verwendete UWB-System weist eine maximale Bandbreite von 18 GHz und damit ein Auflösungsvermögen von 0,0556 ns im Zeitbereich auf. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen beträgt im Vakuum (c_0) und näherungsweise in Luft, $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. In anderen Medien ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit (c) wesentlich geringer und hängt von deren dielektrischen Eigenschaften, ausgedrückt durch die Dielektrizitätskonstante ϵ_r , ab: [11]

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{Gl. 1})$$

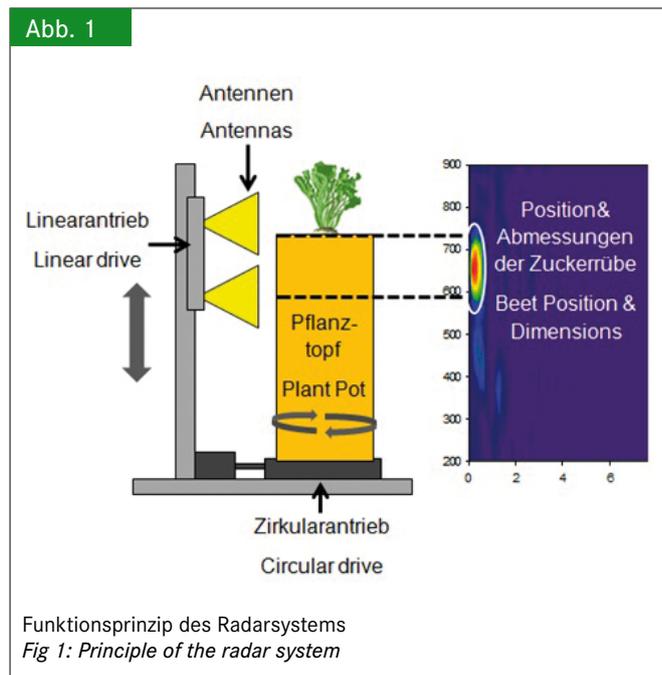
Treffen im Boden unterschiedliche Schichten oder Gegenstände mit unterschiedlichen (dielektrischen) Eigenschaften aufeinander, so kommt es zur Reflexion der eingestrahlt elektromagnetischen Wellen. Die Stärke der Reflexionen, ausgedrückt durch einen Koeffizienten, hängt von den Dielektrizitätskonstanten der betreffenden Schichten (ϵ_1, ϵ_2) ab:

$$r = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad (\text{Gl. 2})$$

Die Reflexion fällt dabei umso stärker aus, je größer der Unterschied (Kontrast) zwischen beiden Schichten ist [12]. Auf Grundlage dieses Prinzips erfolgt die Ortung verborgener Strukturen im Boden. Über die Laufzeit des Signals (t) sowie Stärke und Muster der Reflexion können spezifische Eigenschaften des betreffenden Gegenstandes abgeleitet werden.

Um die Messung räumlich durchführen zu können wurde ein Versuchstand erstellt, der aus einem Linear- und einem Zirkularantrieb besteht. Der Linearantrieb ermöglicht die Positionierung der Antennen des Radarsystems in vertikaler Richtung, während der Zirkularantrieb die Positionierung des Pflanztopfes in horizontaler Richtung ermöglicht.

Die reflektierten elektromagnetischen Wellen werden vom Radarsystem aufgezeichnet und mithilfe der Software Matlab weiterverarbeitet und dargestellt. Das Funktionsprinzip ist in **Abbildung 1** dargestellt.



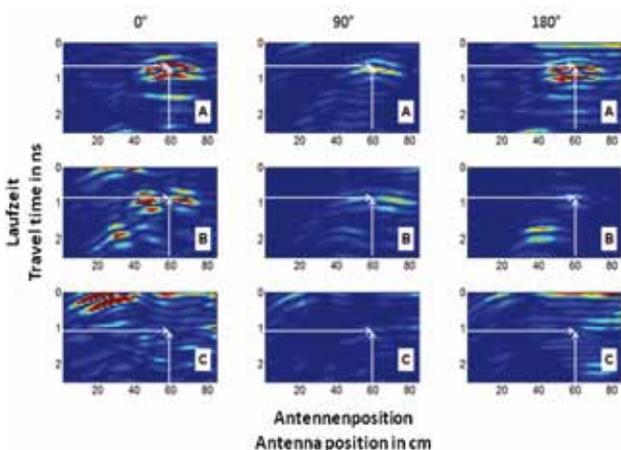
Für die Versuche wurden Pflanzgefäße aus PVC-Rohren mit einem Außendurchmesser von 250 mm und einer maximalen Länge von 1 500 mm angefertigt. Für erste Versuche wurden an Stelle von Wurzelfrüchten, Testobjekte aus Frischblumensteckschaum verwendet. Dieser kann in seiner Form und Größe modifiziert werden, weist eine hohe Wassersättigung (>90 %) auf und ist damit mit Pflanzenwurzeln vergleichbar. Als Substrat wurde Quarzsand gewählt, der einen sehr homogenen Boden repräsentiert und relativ günstige dielektrische Eigenschaften aufweist.

Ergebnisse und Diskussion

Testkörper mit unterschiedlichen geometrischen Eigenschaften konnten mit Hilfe des RADAR-Systems zuverlässig detektiert werden. Die unterschiedlichen Symmetrien und Abmessungen dieser Objekte konnten in den einzelnen Radargrammen (B-Scans) leicht identifiziert werden, speziell wenn Aufnahmen aus unterschiedlichen Winkeln miteinander kombiniert wurden. Details hierzu können [13] entnommen werden.

Versuche mit unterschiedlichen Bodenfeuchten zeigten, dass die Detektion der Testobjekte mit zunehmender Bodenfeuchte deutlich nachließ. **Abbildung 2** zeigt die B-Scans einer vergrabenen Testkugel mit 120 mm Durchmesser bei unterschiedlichen Feuchtebedingungen. Es zeigt sich, dass die hyperbelartigen Reflexionen des Testobjektes mit zunehmender Feuchte in einem späteren Zeitbereich auftreten und deutlich schwächer ausgeprägt sind. Dies liegt an der Dielektrizitätskonstante des Bodens, die mit zunehmender Bodenfeuchte zunimmt. Das heißt, dass die elektromagnetischen Wellen für eine identische Strecke mehr Zeit benötigen (Gleichung 1). Die vergleichsweise schwachen Reflexionen der Testkörper in Teil B und C der **Abbildung 2** sind auf den geringeren dielektrischen Kontrast zwischen Testkörper und Boden und damit

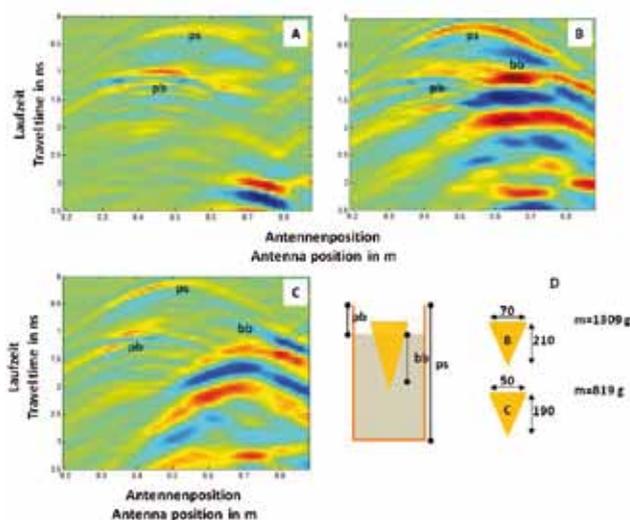
Abb. 2



B-Scans (Radargramme) einer wassergesättigten 120 mm Kugel aus unterschiedlichen Winkeln. Der verwendete Quarzsand wies eine volumetrische Feuchte von 7,2 % (A), 12,4 % (B) und 22,4 % (C) auf. Die weißen Pfeile zeigen eine Abschätzung der Position des Testkörpers im Weg- und Zeitbereich

Fig. 2: B-Scans (radargrams) of water saturated 120 mm test-body from different shooting angles. The volumetric moisture of the quartz sand was 7.2 % (A), 12.4 % (B) and 22.4 % (C). The white arrows indicate the approximate position of the test body in time-domain and on the scanner track.

Abb. 3



Radargramme einer Referenzmessungen ohne (A) und Messungen mit geköpften Zuckerrüben (B und C) in Quarzsand (Bodenfeuchte 9,6 %). Markante Reflexionscharakteristika sind in den Radargrammen gekennzeichnet. Deren Lage sowie die Abmessungen der Zuckerrüben (in mm) und deren Masse werden in D) erläutert: ps: Oberfläche des Pflanzgefäßes, pb: nicht von Erde bedeckte Rückseite des Gefäßes, bb: Rübenkörper.

Fig. 3: Radargrams of reference measurement (A) and measurement of different topped sugar beets (B and C) in quartz sand (volumetric moisture 9.6 %). Distinctive reflection characteristics are marked in the radargrams. The marks, the dimensions of the different sugar beets (in mm) and their mass are explained in D): ps: plant pot surface, pb: backside of the plant pot which is not covered by quartz sand, bb: beet body

auf einen niedrigeren Reflexionskoeffizienten zurückzuführen (Gleichung 2). Über alle beobachteten Winkel in Teil A der **Abbildung 2** war der Testkörper bei etwa 60 cm und 0,75 ns leicht zu identifizieren. Für alle Winkel war das Erkennen des Körpers bei hoher Bodenfeuchte (Teil B) deutlich schwieriger. Bei der Aufnahme aus 0° zeigt sich zudem eine deutliche Reflexion der Pflanztopfoberfläche (30 cm, 0 ns), die in Teil A nicht sichtbar war. In Teil C sind die Reflexionen des Testkörpers nur noch marginal erkennbar und nur mittels weiterer Daten- und Bildverarbeitungsschritte identifizierbar. Die Reflexionen der Pflanztopfoberfläche dominieren deutlich bei allen Aufnahme-winkeln die Reflexionen des Testobjektes.

Bei allen Aufnahmewinkeln zeigen sich in allen Varianten Unterschiede im Reflexionsmuster der Radargramme, obwohl sowohl Pflanztopf als auch Testobjekt rotationssymmetrische Eigenschaften aufweisen. Die Unterschiede werden im Wesentlichen darauf zurückgeführt, dass die Testobjekte nicht in der Mitte des jeweiligen Pflanztopfes zentriert waren und dass die Wasserverteilung im Boden unterschiedlich war.

Erste Versuche mit geköpften Zuckerrüben, die manuell in Quarzsand vergraben wurden, brachten ähnliche Ergebnisse wie die Testkörper. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass sich die Zuckerrübe nicht vollständig unter der Bodenoberfläche befand, sondern der Rübenkopf aus dem Boden hervorragte. Dadurch kam es zu mehreren Reflexionen uns zwar an der Bodenoberfläche und am in der Erde verborgenen Teil der Rübe (**Abbildung 3**). Die Reflexionshyperbel wird infolgedessen „verzerrt“, da sich beide Reflexionen überlagern, zumal eine ausgewachsene Zuckerrübe im Vergleich zu den verwendeten Testobjekten länger ist.

Für die Detektierbarkeit bei verschiedenen Bodenfeuchten gelten für die Testkörper und die Rübe identische Bedingungen: Je höher die Bodenfeuchte, desto schlechter kann das Objekt dedektiert werden. Auch hier ist der Grund ein geringerer dielektrischer Kontrast zwischen Objekt und Boden bei höherer Bodenfeuchte. Große und schwere Zuckerrüben produzieren dabei deutlichere Reflexionen als kleine Zuckerrüben mit geringer Masse (**Abbildung 3 B und C**).

Schlussfolgerungen

Das vorgestellte RADAR-System machte die Unterschiede zwischen verschiedenen Testkörpern sichtbar. Hohe Bodenfeuchtegehalte schränken die Funktionsfähigkeit des Systems jedoch ein. Bei Bodenfeuchten >20 % ist zu erwarten, dass vor allem kleine Objekte wie Wurzeln, nicht mehr detektiert werden können. Versuche mit geköpften Zuckerrüben zeigten die prinzipielle Anwendbarkeit des Systems. Im Versuch wurden jedoch ausgewachsene und geerntete Früchte eingesetzt, deren Eigenschaften nicht in allen Punkten auf kleineres, lebendes, Pflanzenmaterial übertragbar sind. Um Aussagen über die Leistungsfähigkeit an solchem Pflanzenmaterial treffen zu können, muss das System unter Anzuchtbedingungen (Saat von Zuckerrüben in den Pflanzgefäßen) getestet werden.

Literatur

- [1] Reusch, S. (1997): Entwicklung eines reflexionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Dissertation Universität Kiel
- [2] Thiessen, E. (2002): Optische Sensortechnik für den teilflächenspezifischen Einsatz von Agrarchemikalien. Dissertation Universität Kiel
- [3] Thoren, D.; Schidhalter, U. (2009): Nitrogen status and biomass determination of oilseed rape by laser-induced fluorescence, *Europ. J. Agronomy* 30, pp. 238-242
- [4] Ehlert, D. (2004): Erfassung der Pflanzenmasse mit dem Pendelsensor. In: Hufnagel, J.; Herbst, R.; Jarfe, A.; Werner, A.: Precision Farming - Analyse, Planung, Umsetzung in die Praxis, KTBL-Schrift 419, S. 95-98
- [5] Jahnke, S.; Menzel, M.I.; van Dusschoten, D.; Roeb, G.W.; Bühler, J.; Minwuyet, S.; Blümner, P.; Temperton, V.M.; Hombach, T.; Streun, M.; Beer, S.; Khodaverdi, M.; Ziemons, K.; Coenen, H.H.; Schurr, U. (2009): Combined MRI-PET dissects dynamic changes in plant structures and functions. *Plant J.* 59(4), pp. 634-644
- [6] Heerman, D.A.; Hopmans, J.W.; Clausnitzer, V. (1997): Three dimensional imaging of plant roots in situ with X-ray Computed Tomography. *Plant Soil* 189, pp. 167-179
- [7] Butnor, John R.; Doolittle, J.A.; Johnsen, Kurt H.; Samuelson, L.; Stokes, T.; Kress, L. (2003): Utility of Ground-Penetrating Radar as a Root Biomass Survey Tool in Forest Systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67, pp. 1607-1615
- [8] Butnor, John R.; Doolittle, J.A.; Kress, L.; Cohen, Susan; Johnsen, Kurt H. (2001): Use of ground-penetrating radar to study tree roots in the southeastern United States. *Tree Physiol.* 21, pp. 1269-1278
- [9] Konstantinovic, M. (2007): In-Soil Measuring of Sugar Beet Yield Using UWB Radar Sensor System. Dissertation Universität Bonn
- [10] Sachs, J.; Kmec, M.; Zetik, R.; Peyerl, P.; Rauschenbach, P. (2005): Ultra Wideband Radar Assembly Kit. Proceedings of Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2005), Seoul, Korea
- [11] Davis, J. L.; Annan, A.P. (1989): Ground Penetrating Radar for High-Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy. *Geophys. Prospect.* 37, pp. 531-551
- [12] Paul, W.; Speckmann, H. (2004): Radarsensoren: Neue Technologien zur präzisen Bestandsführung Teil 1: Grundlagen und Messung der Bodenfeuchte *Landbauforschung Völkenrode* 54(2), S. 73-86
- [13] Peveling-Oberhag, C.; Schulze Lammers, P. (2010): In-Soil measuring of root-crop properties using UWB-RADAR. Conference Agricultural Engineering, Land.Technik - AgEng 2011, VDI-MEG, November 11-12, 2011, Hannover, pp. 423-430

Autoren

Dipl.-Ing. agr. Christian Peveling-Oberhag ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn, E-Mail: peveling@uni-bonn.de.

Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers ist Leiter des Bereichs Systemtechnik in der Pflanzenproduktion am Institut für Landtechnik der Universität Bonn.

Studium - und dann....?

VDI-MEG NACHWUCHSFÖRDERUNGSTAGUNGEN AM 11. MAI 2012 IN ANNABURG (SACHSEN-ANHALT) UND AM 1. JUNI 2012 IN SULZBACH/SAAR

Der VDI-Fachbereich Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik (VDI-MEG) veranstaltet jährlich zwei Nachwuchsförderungstagen für Studierende höherer Semester in Unternehmen der Landtechnikindustrie. Vor Ort können sich die angehenden Ingenieure nicht nur über Tätigkeitsfelder informieren, die sich ihnen nach dem Abschluss ihres Studiums eröffnen, sondern sie bekommen von jungen Mitarbeitern der Agrartechnikbranche auch Tipps und Tricks für den Einstieg in das Berufsleben.

Die erste Nachwuchsförderungstagung im Jahr 2012 findet am Freitag, 11. Mai, in Annaburg (Sachsen-Anhalt) statt. Dort sind die Studierenden zu Gast bei der ANNABURGER Nutzfahrzeug GmbH. Das Unternehmen ist ein Nutzfahrzeugproduzent und agiert europaweit mit einer innovativen und hoch spezialisierten Programmpalette zur Lösung von Transportaufgaben. ANNABURGER fertigt ein umfangreiches Fahrzeugprogramm für den schlagkräftigen und kostengünstigen Transport von



Auf den Berufseinstieg vorbereiten... Foto: VDI

landwirtschaftlichen Gütern sowie für die umweltschonende und pflanzengerechte Ausbringung aller organischen Dünger.

Am Freitag, 1. Juni 2012, treffen sich Studentinnen und Studenten zur zweiten Nachwuchsförderungstagung beim Unternehmen HYDAC INTERNATIONAL GmbH in Sulzbach/Saar. HYDAC

Komponenten und Systeme finden sich in allen Bereichen der Industrie- und Mobilhydraulik. Sie kühlen und schmieren Getriebe in Windenergieanlagen, arbeiten in der Spannhydraulik moderner Werkzeugmaschinen, federn die Kabinen von landwirtschaftlichen Maschinen, unterstützen die Arbeitshydraulik von Baggern, prüfen und testen die Belastbarkeit der Flügel des Airbus A 380.

Beide Veranstaltungen werden von den gastgebenden Firmen und von der Max-Eyth-Stiftung unterstützt. Interessenten für die Nachwuchsförderungstagen können sich über ihre Hochschullehrer oder direkt bei der Arbeitsgruppe Nachwuchsförderung anmelden.