

Radarsensoren

Neue Technologien zur präzisen Bestandsführung

In der Radartechnik wurden bemerkenswerte Fortschritte hin zu kleinen Geräten mit äußerst geringen Strahlungsstärken erreicht. Solche modernen Radarsysteme bieten die Möglichkeit, Daten über den Abstand, die Geschwindigkeit und die Eigenschaften eines Objektes berührungslos zu erfassen. Der Trend geht dabei zu verkapselten, Regen und Schmutz unempfindlichen Systemen. Für die Landtechnik werden diese Technologien im Sinne der Nutzung für eine präzise Pflanzenproduktion überprüft. Die direkte Anpassung von Pflegemaßnahmen, Düngergaben oder Spritzmitteleinsätzen an die während der Überfahrt vorgefundenen Verhältnisse ist dabei das übergeordnete Ziel.

Dir. und Prof. Dr.-Ing Wolfgang Paul und Dipl.-Ing Hermann Speckmann sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Technologie und Biosystemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in 38116 Braunschweig, Bundesallee 50 (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Axel Munack); e-mail: wolfgang.paul@fal.de, hermann.speckmann@fal.de

Schlüsselwörter

Radarsensoren, Abstand, Geschwindigkeit, Feuchte, Bestandsdichte

Keywords

Radars, sensors, distance, speed, moisture, crop density

In der Landtechnik sind die Entwicklungen zur exakten Bestandsführung unübersehbar. Unter dem Oberbegriff „precision farming“ werden dabei die zu erledigenden Aktionen an die am jeweiligen Ort zur aktuellen Zeit vorgefundenen Verhältnisse angepasst. Engpass für diese Entwicklung ist eine möglichst berührungslose Erfassung der benötigten Informationen über Boden und Pflanze während der Überfahrt durch preiswerte Sensoren.

Mit dem Aufkommen von Radarsensoren in der Prozesstechnik und insbesondere auch in der Automobiltechnik wurden Entwicklungen angestoßen, die auch für die Landtechnik zu äußerst interessanten Einsatzmöglichkeiten führen. Im Sinne der Vorlauforschung wurde an noch relativ teuren und vergleichsweise voluminösen Abstandssensoren zur Messung von Füllständen in Siloanlagen die Einsatzmöglichkeiten dieser neuen Klasse von Sensoren in der Landtechnik überprüft. Mittlerweile sind erste, für den rauen landtechnischen Einsatz geeignete Radarmodule um 100 € auf dem Markt.

Radarsysteme

Mit Radar bezeichnet man Messtechniken und Geräte, die mit elektromagnetischen Wellen die Eigenschaften, den Ort oder die Bewegung von Objekten erfassen. Elektromagnetische Wellen breiten sich im freien Raum mit Lichtgeschwindigkeit aus und können von metallischen, aber auch von nichtleitenden dielektrischen Körpern reflektiert werden. Laufzeitmessungen standen und stehen deshalb häufig im Mittelpunkt von Radarmessungen (RADAR = radio detecting and ranging). Neben der Laufzeit als Basis für den Abstand eines Objekts wird häufig auch die aufgrund des Dopplereffektes zu beobachtende Frequenzverschiebung für die Geschwindigkeit und die Energiedichte des reflektierten Signals als Maß für den Rückstreuquerschnitt erfasst.

Zur Abstandsmessung im Nahbereich werden heute bevorzugt technische Ausführungen in Form des Pulsradars oder des FMCW - Radars mit äußerst geringer Strahlungsstärke verwendet. Auf Entfernungsmessung ausgelegt werden solche Geräte

zur Überwachung von Füllständen eingesetzt [1, 2, 3]. Neuere Module arbeiten mit Planarantennen und sind nur noch Zigarettenschachtel groß.

Neben der Abstandsmessung dient insbesondere die Messung der Leistungsdichte zur Charakterisierung des rückgestreuten Radarsignals. Die wesentliche Materialeigenschaft, die unter landwirtschaftlichen Bedingungen das Rückstreuverhalten von Radarsignalen beeinflusst, ist die Permittivität des reflektierenden oder zu durchlaufenden Mediums. Für Stoffe aus nichtleitenden Materialien mit der Dielektrizitätszahl ϵ_r (relative Permittivität) und senkrechtem Welleneinfall gilt für die Reflexion einer elektromagnetischen Welle am Übergang, etwa Luft - Bestand oder Luft - Boden:

$$R = (\sqrt{\epsilon_r} - 1 / \sqrt{\epsilon_r} + 1)^2$$

Luft und Wasser haben herausragende Permittivitätseigenschaften. Luft hat praktisch die relative Permittivität des freien Raumes ($\epsilon = 1$) und liegt damit am Minimum. Wasser hat mit $\epsilon = 80$ (bei hohen Frequenzen abfallend) eine sehr hohe Permittivität, deutlich höher als eine Vielzahl sonstiger Materialien. Die Messung der Permittivität ist deshalb geeignet, den Wassergehalt eines Mediums zu bestimmen. Denn die relative Permittivität des Wassers ist meist eine Größenordnung größer als die der anderen (trockenen!)

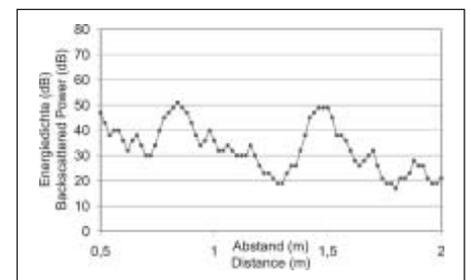


Bild 1: Abstandsmessung in einem Gerstenbestand. Aus der Differenz zwischen Bodenabstand (1,48 m) und Bestandsabstand (0,84 m) ergibt sich eine Wuchshöhe von 0,64 m. Die Reflexionsstärken (Höhe der Peaks) können auf die Bestandsdichte kalibriert werden.

Fig. 1: Measuring distances in barley. The difference between soil (1.48 m) and crop (0.84 m) equals the crop height (0.64 m). The reflection peaks can be calibrated to crop density.

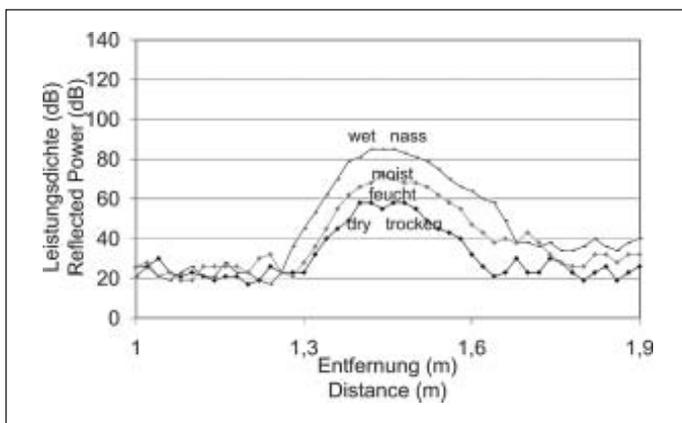


Bild 2: Unterschiedliche Reflexionsstärken eines Ackerbodens je nach Feuchte

Fig. 2: Different reflection peaks of soil due to humidity

mineralischen oder organischen, in der Landwirtschaft vorkommenden Güter (Sand, Ton liegen bei $\epsilon_r = 3 - 6$, organische Bestandteile bei $\epsilon_r = 2 - 5$).

Einsatzgebiete

Abstand

Relativ einfach und sehr genau ist die auf Laufzeitmessungen beruhende Bestimmung des Abstands zu einem Objekt. Der Abstand zur Erdoberfläche ist für ein exaktes Spritzbild damit ebenso leicht zu erfassen wie die genaue Tiefenführung eines Gerätes oder die Einhaltung des Abstandes zu einer Schnittkante als Führungsgröße für Erntemaschinen. Da ein Teil der Radarenergie den Pflanzenbestand durchdringt und so der Erdboden bei senkrechter Anstrahlung durchscheint, ist auch die mittlere Wuchshöhe der Kultur im Radarkegel kontinuierlich messbar. Damit lässt sich das Entwicklungsstadium des Bestandes und die relative Wüchsigkeit innerhalb eines Schlages erfassen. In dichten, ungestressten Beständen ist die Wuchshöhe regelmäßig größer. Das in Bild 1 gezeigte Beispiel zur Abstandsmessung von Boden und Bestandshöhe in einem Gerstenschlag belegt die Tauglichkeit.

Da die weitere Entwicklung von Sensoren für die Automobiltechnik zu fokussierter Abtastmöglichkeit mit Unterscheidungsmöglichkeiten je nach Raumwinkel geht, ergeben sich auch für die Landtechnik weitere Anwendungsmöglichkeiten. Die Einsinktiefe von Maschinen bei der Bodenbearbeitung zum Zwecke des Bodenschutzes ließe sich so erkennen, die Bearbeitungstiefe wird unabhängig von Relativbewegungen exakt messbar. Eine berührungslose und genaue Erkennung von Fahrgassen oder Pflanzenreihen wird möglich.

Geschwindigkeit

Auf Messungen des Frequenzunterschieds (Dopplereffekt) beruht die Erfassung der Geschwindigkeit eines Objektes. Diese zusätzliche Messmöglichkeit ist bei Sensoren für die Fahrzeugsicherheit oftmals mit

berücksichtigt. Geschwindigkeitsmessungen über Grund sind das älteste Anwendungsgebiet von Radarsensoren in der Landtechnik. Ein Anstrahlen von Reifen und Boden ergibt als Geschwindigkeitsdifferenz den Schlupf, ein für die Qualität landwirtschaftlicher Arbeiten wichtiges Kriterium.

Bodenfeuchte

Auf Messungen der Reflexionsstärke, die unter landwirtschaftlichen Bedingungen weitgehend vom Wassergehalt abhängig ist, beruht die Erfassung von Bodenfeuchten. Insbesondere bei Kalibrierung auf den vorgefundenen Boden eines Schlages nahe Feldkapazität lässt sich unabhängig von der Bodenart aus der Reflexionsstärke die Bodenfeuchte in Prozent der Feldkapazität erfassen (Bild 2). Man hat damit allerdings nur ein Maß für den Wassergehalt der obersten Bodenschicht. Der Nachteil der derzeitigen Geräte mit ihrer vergleichsweise hohen Arbeitsfrequenz liegt in deren geringer Eindringtiefe. Bei deutlich niedrigeren Frequenzen könnte etwa die durchschnittliche Feuchte des Wurzelraums statt nur der obersten Bodenschicht erfasst werden. Auch Wurzeln oder Knollen könnten dann im Boden detektiert werden. Bodenrauigkeiten und Bewuchs würden die Bestimmung der Bodenfeuchte weniger stören.

Bestandsdichte

Die über dem Abstand von der Antenne dargestellten relativen Reflexionsintensitäten („Echokurven“) können zur Erfassung der Bestandsdichte der Pflanzen herangezogen werden. Mit einer Arbeitsfrequenz von 26,1 GHz wurde senkrecht von oben aus ~ 1 m Abstand auf einen Weizenbestand geschaut, der als dünn, mittel und dicht klassifiziert wurde.

Die Echokurven (Bild 3) spiegeln die unterschiedlichen Bestandsdichten wieder. Die unterschiedliche Biomasse im angestrahnten Luftvolumen beeinflusst die Reflexion im Abstandsbereich zwischen 90 cm und 1,60 m. Bei dichtem Bestand bildet der Weizen nahezu ein Dach, dessen Höhe und

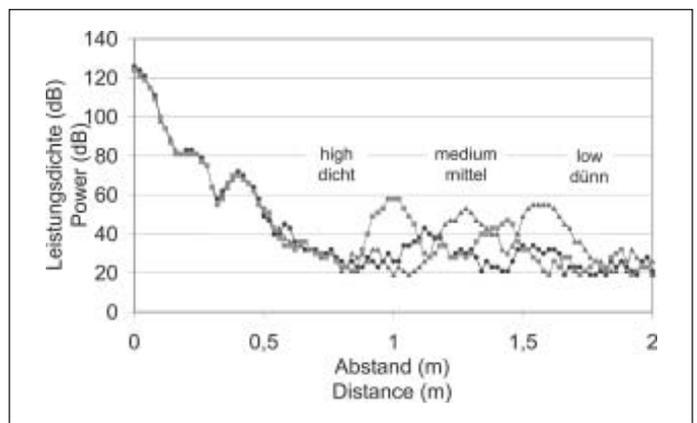


Bild 3: Ergebnisse zur Reflexion von Weizen unterschiedlicher Bestandsdichten

Fig. 3: Reflection of different wheat densities

Dichte am Peak bei 1 m abgelesen werden kann. Der dünne Weizen hat nur geringe Auswirkungen auf Reflexionen im Luftraum. Hier verursacht vielmehr der durchscheinende Boden in 1,60 m Entfernung die Hauptreflexion. In der Mitte liegt die Echo-kurve bei mittlerer Bestandsdichte.

Auch Messungen in Gerste, Rüben, Gras und Mais waren erfolgreich. Pflegearbeiten werden damit punktgenau realisierbar. Auch erntereife Bestände können trotz geringerer Feuchten noch in ihrer Dichte (Erntemenge) beurteilt werden. Messanordnungen zum Monitoring der aktuellen Erntemenge in Maschinen wurden getestet.

Ausblick

Als Ausblick bieten sich noch weitere Messmöglichkeiten für die immer preiswerter werdenden Sensoren an. So lassen sich bei Verwendung von zwei Arbeitsfrequenzen Aussagen über Bodenverdichtungen machen. Wird ferner zum Betrag (= Realteil) auch noch der Imaginärteil des rückgestreuten Radarsignals erfasst (Messung von Amplitude und Phase), erlaubt das die Bestimmung der Salinität des Bodens (Düngezustand). In der praktischen Landwirtschaft entspricht dies weitgehend der auf dem Nitrat-Ion beruhenden Leitfähigkeit des pflanzenverfügbaren Porenwassers. Neben dem volumetrischen Wassergehalt hätte man dann auch einen Hinweis auf den aktuellen wassergelösten und damit pflanzenverfügbaren Düngervorrat im Boden.

Obige Messergebnisse zeigen, dass mit Radarsignalen schon jetzt neue Kennwerte zur Beurteilung der Pflanzenbestände gewonnen werden können. Die Bestandsdichte (wasserführende Pflanzenmasse im Luftvolumen) oder die Wuchshöhe sind berührungslos erfassbar und können wesentliche Hinweise zur Führung der Bestände liefern. Die direkte Anpassung der Düngergabe oder des Spritzmitteleinsatzes je nach aktuellem Wachstumszustand wird ohne großen Aufwand während der Überfahrt ermöglicht.