

5. Zusammenfassung

Unter Verwendung eines Programmsystems, das die Formulierung von physikalischen und geometrischen Nichtlinearitäten erlaubt, wurde ein Allradschlepper mit gefederter und gedämpfter Vorderachse als Schwingungsersatzmodell dargestellt und dessen Schwingungsverhalten simuliert. Als Schwingungsanregung wurde die rechte Fahrspur der Fahrbahn nach ISO 5007 (smooth track) bei einer Geschwindigkeit von 12 km/h zugrunde gelegt. Ein Vergleich der Simulationsergebnisse mit Versuchswerten ergab, daß das Schwingungsmodell aussagekräftige Ergebnisse liefert. Dabei muß bei der Modellbildung auf die wirklichkeitskonforme Abbildung der nichtlinearen Kopplungen besonderer Wert gelegt werden.

Für eine vergleichende Untersuchung wurden außer dem gefederteren Allradschlepper ein ungefederter Allradschlepper und ein Standardschlepper modelliert und auf dieselbe Weise angeregt. Die Simulationsläufe wurden hinsichtlich der dynamischen Radlasten — als Maß für die Fahrsicherheit — sowie der Beschleunigungen am Fahrgestell und am Fahrerhaus — als Maß für den Fahrkomfort — ausgewertet. Unter den untersuchten Varianten hat der Allradschlepper mit Vorderachsfederung die geringsten Beschleunigungswerte gezeigt. Bei Wegfall der Achsfederung stiegen die dynamischen Radlastanteile an der Vorderachse auf über das doppelte, was beim ungefederteren Allradschlepper und beim Standardschlepper zu schlechteren Fahreigenschaften wie auch zu erhöhten Aufbauschwingungen führte. Deshalb wies, bei den angegebenen Betriebsbedingungen, der vorderachsgefederte Allradschlepper die höchste Fahrsicherheit und den größten Fahrkomfort auf.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] *Ulrich, A. u. H. Göhlich:* Fahrdynamik von Schleppern mit und ohne Arbeitsgeräte bei höheren Fahrgeschwindigkeiten. *Grundl. Landtechnik* Bd. 33 (1983) Nr. 4, S. 108/15.
- [2] • *Jungerberg, H.:* Ein Beitrag zur experimentellen und numerischen Simulation von Traktorschwingungen. *Fortschr.-Ber. VDI-Z.* Reihe 14, Nr. 26, 1984.
- [3] *Braun, H.:* FANU — Ein Programmsystem zur rechnerischen Simulation des nicht-linearen dynamischen Verhaltens von Nutzfahrzeugen. *Proc. XX. FISITA-Kongreß, Wien, 6.–11.5.1984*, Nr. 2, S. 291/301.
- [4] ISO/TR 5007-1980 (E): Agricultural wheeled tractors — Operator seat — Measurement of transmitted vibration.
- [5] *Schrogl, H.:* Schwingungsverhalten von rollenden Acker-schlepperreifen. *Proc. 10th CIGR-Kongreß, Budapest, Ungarn, 3.–7.9.1984*, No. 3, S. 507/14.

Vergleichende Untersuchungen von Radargeräten zur Geschwindigkeitsmessung an Landmaschinen

Von Helmut Fichtel und Otto Balcarek,
Stuttgart-Hohenheim*)

DK 631.372:631.3.076:531.76:621.396.96

Für die wirksame Überwachung und Steuerung vieler landwirtschaftlicher Arbeiten wird eine genaue Ermittlung der Fahrgeschwindigkeit gewünscht. Eine berührungslose Messung mit Radargeräten, die nach dem Doppler-Prinzip arbeiten, scheint hierfür besonders geeignet.

Der folgende Beitrag liefert Ergebnisse von Versuchen mit drei verschiedenen Radargeräten, für die in der Bodenrinne und in Feldversuchen die Meßgenauigkeit in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bestimmt wurde. Als Parameter wurden die Beschaffenheit der Bodenoberfläche und der Abstand der Radargeräte zur Bodenoberfläche, sowie die Anordnung der Radargeräte und die Richtung des Radarstrahles in die Versuche einbezogen.

*) *Dipl.-Ing. agr. H. Fichtel ist und Dipl.-Ing. O. Balcarek war wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Busse) der Universität Hohenheim.*

1. Einleitung

Bei vielen Arbeiten in der Landwirtschaft ist die Kenntnis der tatsächlichen Fahrgeschwindigkeit von großem Nutzen. Zur Messung der tatsächlichen Fahrgeschwindigkeit können Geräte mit unterschiedlichen Funktionsprinzipien eingesetzt werden. Ein am Schlepper angebautes 5. Rad erlaubt auf einfache und sichere Weise, die tatsächliche Fahrgeschwindigkeit zu messen. Mit diesem Meßverfahren liegen auch schon umfangreiche Erfahrungen im Versuchseinsatz vor. Für die praktische Anwendung ergeben sich jedoch Einschränkungen hinsichtlich der Handhabung. Berührungslos arbeitende Systeme sind ebenfalls eingehend beschrieben und untersucht worden [1, 2] und teilweise auch schon in der Praxis eingeführt.

In einem früheren Beitrag [2] wurde bereits über Versuche mit einem kommerziell erhältlichen Radargerät berichtet. Dieses Gerät wurde unter verschiedenen Bedingungen in Hinblick auf die erreichbare Genauigkeit untersucht. In diesem Beitrag werden Geräte unterschiedlicher Bauart — darunter ein serienreifes Gerät — vorgestellt und hinsichtlich ihrer Meßgenauigkeit unter verschiedenen Einsatzbedingungen verglichen.

2. Physikalische Grundlagen

Radargeräte zur Geschwindigkeitsmessung nutzen den Doppler-Effekt aus. Wird von einem Sender eine Wellenfront mit der Frequenz ν_0 ausgesandt, so wird an einem relativ zum Sender bewegten Empfänger eine Frequenz ν registriert. Der Frequenzunterschied $\Delta\nu$ der beiden Frequenzen ist dabei proportional zur Relativgeschwindigkeit v .

Bewegt sich ein Empfänger auf einen ruhenden Sender zu, so gilt:

$$\nu = \nu_0 [1 + (v/c)] \quad (1)$$

Bewegt sich ein Sender auf einen ruhenden Empfänger zu, so gilt:

$$\nu = \nu_0/[1 - (v/c)] \quad (2)$$

Dabei ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen $c = 2,98 \cdot 10^5$ km/s. Entfernen sich Sender und Empfänger voneinander, so kehrt sich das Vorzeichen in der Klammer jeweils um.

Bei den hier verwendeten Radargeräten werden elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen im cm-Bereich von einem Sender ausgesandt, von der Bodenoberfläche reflektiert und von einem Empfänger, der sich im gleichen Gehäuse wie der Sender befindet, wieder empfangen. Der Doppler-Effekt tritt dabei zweimal auf, d.h. die Gln. (1) und (2) müssen nacheinander angewandt werden. Zur Herleitung der mathematischen Zusammenhänge werden Hin- und Rücklauf des Signals getrennt betrachtet.

1. Stufe:

Sender bewegt sich auf ruhenden Empfänger (Bodenoberfläche) zu:

$$\nu_1 = \nu_0/[1 - (v/c)].$$

2. Stufe:

Empfänger bewegt sich auf ruhenden Sender (Bodenoberfläche) zu:

$$\nu_2 = \nu_1 [1 + (v/c)].$$

Der Frequenzunterschied $\Delta\nu$ – im folgenden Dopplerfrequenz genannt – ergibt sich unter Berücksichtigung von $v \ll c$ zu:

$$\begin{aligned} \Delta\nu &= \nu_2 - \nu_0 \\ &= \nu_0 \left[\frac{1 + (v/c)}{1 - (v/c)} - 1 \right] \\ &= 2\nu_0 (v/c) \end{aligned} \quad (3)$$

Unter der Geschwindigkeit v ist dabei die Komponente der Fahrgeschwindigkeit v_F zu verstehen, die parallel zur Hauptausbreitungsrichtung der Wellenfront liegt. Damit ergibt sich:

$$\Delta\nu = 2\nu_0 (v_F/c) \cos \alpha \quad (4)$$

3. Radargeräte zur Geschwindigkeitsmessung

3.1 Aufbau und Funktion

In Bild 1 ist der prinzipielle Aufbau einer Radar-Sender/Empfänger-Kombination mit Hornantenne dargestellt. Im Sender dient als Oszillator für die Erzeugung der Hochfrequenz ein Gunn-Element, als Empfänger wird eine Schottky-Mikrowellendiode verwendet. Ein Teil der Sendeleistung gelangt vom Gunn-Element direkt auf die Schottky-Diode, so daß eine Überlagerung zwischen Sendesignal und reflektiertem Signal stattfindet. Der Empfänger dient also als Mischer und Demodulator, somit steht an einem entsprechenden Lastwiderstand im Empfänger das niederfrequente Dopplersignal mit der Frequenz $\Delta\nu$ direkt zur Aufbereitung und Auswertung zur Verfügung.

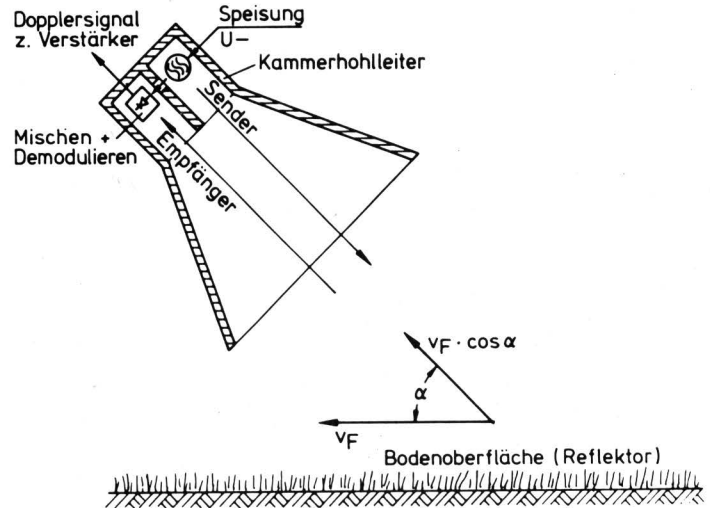


Bild 1. Prinzipieller Aufbau einer Radar-Sender/Empfänger-Kombination mit Doppelkammerhohlleiter und Hornantenne.

Wie aus Gl. (4) hervorgeht, ist die Dopplerfrequenz $\Delta\nu$ der Fahrgeschwindigkeit v_F direkt proportional, oder anders ausgedrückt, nach Integration über der Zeit erhält man pro Einheit des zurückgelegten Weges eine konstante Anzahl von Impulsen, und zwar unabhängig von der Geschwindigkeit. Nach entsprechender Aufbereitung des Doppler-Signals können diese Impulse einem elektronischen Zähler zugeführt werden. Damit ist also eine Messung des zurückgelegten Weges möglich. Umgekehrt kann bei bekannter Grundfrequenz ν_0 und bekanntem Neigungswinkel α die Sollimpulszahl I_{soll} berechnet werden, die bei der Fahrt über eine definierte Meßstrecke der Länge s erzeugt werden muß:

$$I_{\text{soll}} = 2\nu_0 (s/c) \cos \alpha \quad (5)$$

Die Anzahl der Impulse pro Wegeinheit und damit die Auflösung wird also unmittelbar durch die Grundfrequenz ν_0 bestimmt.

Bild 2 zeigt im Blockschaltbild die wichtigsten Komponenten eines Radargerätes. Nicht berücksichtigt ist hier die Weiterverarbeitung der Rechteckimpulse. Auf schaltungstechnische Details soll im Rahmen dieses Beitrages nicht näher eingegangen werden.

Doppler-Radar-Moduln werden heute bereits von verschiedenen Firmen angeboten [3, 4, 5] und sind von der Bundespost zugelassen. Unter Verwendung dieser als Bewegungsmelder zur Raumüberwachung konzipierten Moduln lassen sich Geschwindigkeitssensoren aufbauen. Für die Moduln sind auch spezielle elektronische Schaltungen zur Ansteuerung sowie Auswertung des Dopplersignals erhältlich, die je nach Ausführung auch einen Pulsbetrieb ermöglichen. Derartige Schaltungen sind aber für den hier vorgesehenen Anwendungsfall nicht geeignet.

3.2 Verwendete Geräte

Wie oben dargelegt, wird die Auflösung und damit die Meßgenauigkeit unmittelbar durch die Grundfrequenz bestimmt. Bei den Untersuchungen wurden deshalb Geräte mit unterschiedlicher Grundfrequenz verwendet: Ein Gerät mit der Grundfrequenz $\nu_0 = 9,35$ GHz und zwei Geräte mit der Grundfrequenz $\nu_0 = 35,5$ GHz. Da die Ausbreitungscharakteristik der von einem Radargerät ausgesandten Wellenfront sehr stark von der geometrischen Form der Antenne bestimmt wird, waren die untersuchten Geräte mit unterschiedlichen Antennen ausgerüstet: Ein Gerät mit Hohlleiterschlitzzantenne und zwei Geräte mit Hornantenne. Außerdem waren die Geräte mit unterschiedlich aufwendiger elektronischer Schaltung zur Verstärkung und Aufbereitung des Doppler-Signals ausgestattet.

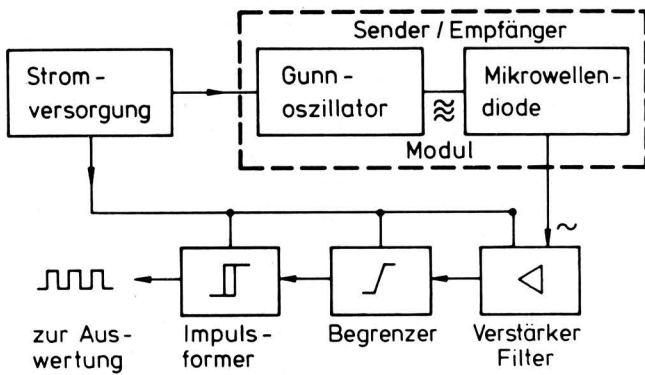


Bild 2. Blockschaltbild der wichtigsten Komponenten eines Radargerätes zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung.

Gerät 1, Bild 3, wurde am Institut für Agrartechnik entwickelt. Es wurde unter Verwendung eines Mikrowellenmoduls der Firma Siemens [5] aufgebaut und arbeitet mit der Grundfrequenz $\nu_0 = 9,35 \text{ GHz}$. Das Gerät besitzt eine Hornantenne und wurde mit einem Neigungswinkel $\alpha = 45^\circ$ betrieben. Somit ergibt sich pro Meter Meßstrecke eine Sollimpulszahl von 44 Impulsen.

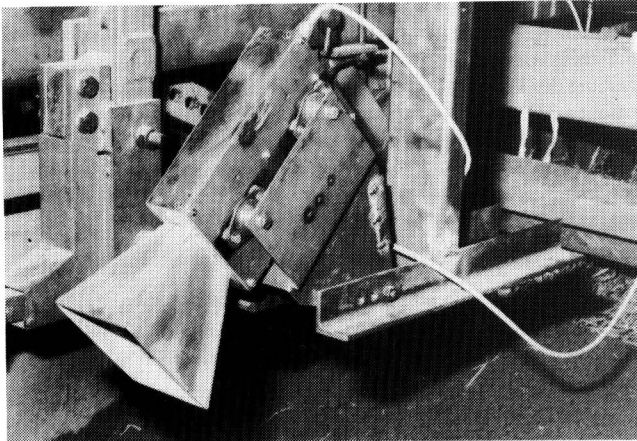


Bild 3. Radargerät 1 angebaut am Meßwagen der Bodenrinne.

Gerät 2, Bild 4, wurde von der Firma AEG – Telefunken^{*)} für Versuchszwecke entwickelt und gebaut [6] und arbeitet mit der Grundfrequenz $\nu_0 = 35,5 \text{ GHz}$. Das Gerät besitzt eine Hornantenne und wurde mit einem Neigungswinkel $\alpha = 37^\circ$ betrieben. Somit ergibt sich pro Meter Meßstrecke eine Sollimpulszahl von 190 Impulsen. Sowohl bei Gerät 1 als auch bei Gerät 2 ist in Anlehnung an Bild 2 ein recht einfaches Schaltungskonzept zugrunde gelegt.

Gerät 3, Bild 5, wurde von der Firma AEG – Telefunken für die Deutsche Bundesbahn entwickelt [7] und arbeitet mit der Grundfrequenz $\nu_0 = 35,5 \text{ GHz}$. Als Antenne wird eine horizontal angeordnete Hohlleiterschlitzentenne verwendet, die durch ihre besondere Konstruktion die Radarwellen unter einem Winkel $\alpha = 37^\circ$ abstrahlt. Somit ergibt sich auch hier pro Meter Meßstrecke eine Sollimpulszahl von 190 Impulsen. Bei diesem Gerät handelt es sich um einen serienreifen Prototyp, bei dessen Entwicklung die

^{*)} Der Firma AEG – Telefunken (Geschäftsbereich Hochfrequenztechnik) sei an dieser Stelle recht herzlich gedankt für die Bereitstellung von zwei Radargeräten für Versuchszwecke.

hohen sicherheitstechnischen Anforderungen der Deutschen Bundesbahn berücksichtigt wurden. Die Verwendung eines solchen Gerätes in der landwirtschaftlichen Praxis scheidet jedoch schon aus Kostengründen von vornherein aus. Um Vergleiche bezüglich des schaltungstechnischen Aufwandes anstellen zu können, wurde das Gerät aber trotzdem in die Untersuchungen miteinbezogen.

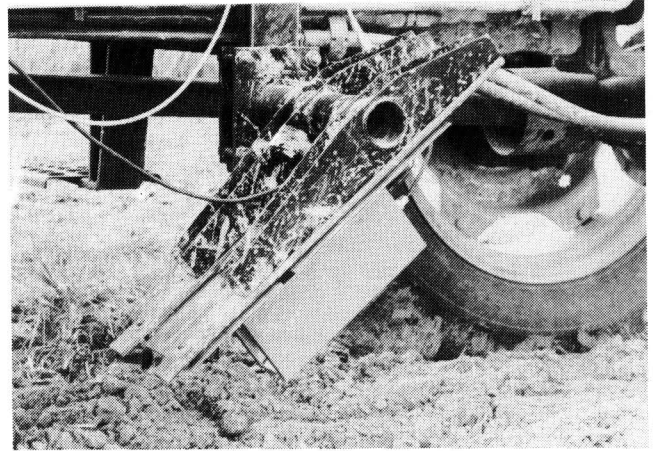


Bild 4. Radargerät 2 angebaut zwischen den Achsen eines Schleppers.

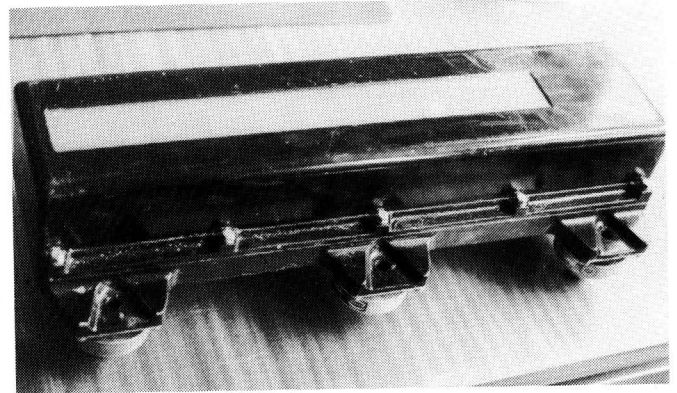


Bild 5. Radargerät 3; Prototyp der Fa. AEG – Telefunken für die berührungslose Geschwindigkeitsmessung bei der Deutschen Bundesbahn.

4. Versuchsdurchführung

4.1 Versuchsaufbau

Versuche wurden sowohl in der Bodenrinne als auch auf dem Feld durchgeführt. In der Bodenrinne wurde jeweils eine Meßstrecke von 10 m und auf dem Feld eine Meßstrecke von 50 m durchfahren. Die dabei vom Radargerät gelieferten Impulse wurden von einem Digitalzähler registriert. Der mittlere Meßfehler über der gesamten Meßstrecke ergab sich dann aus der Differenz zwischen gemessener Impulszahl und errechneter Sollimpulszahl. Die tatsächliche Fahrgeschwindigkeit v_F wurde über die zum Durchfahren der Meßstrecke benötigte Zeit berechnet. Bild 6 zeigt das Blockschaltbild der Versuchseinrichtung. Die Start-Stop-Funktion für Zähler und Uhr wurde in der Bodenrinne von Lichtschranken übernommen, bei den Feldversuchen erfolgte die Betätigung manuell am Anfang und am Ende der Meßstrecke.

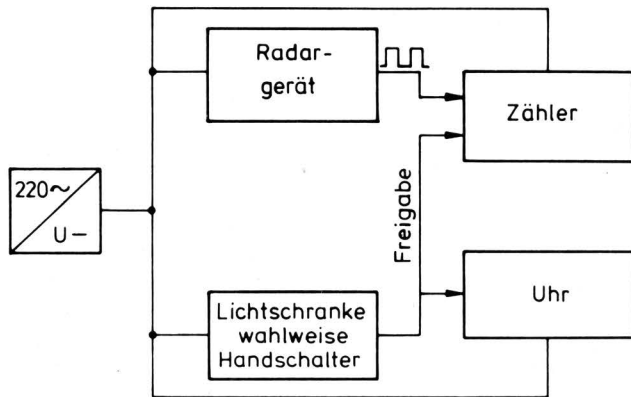


Bild 6. Blockschaltbild der Versuchseinrichtung zur Messung der Impulszahl und der zum Durchfahren der Meßstrecke benötigten Zeit.

4.2 Untersuchte Parameter

Die Versuche wurden hinsichtlich der Variation einzelner Parameter in enger Anlehnung an die früher beschriebenen Versuchsvarianten [2] durchgeführt. Allerdings wurden insbesondere auf dem Feld wesentlich umfangreichere Untersuchungen angestellt. Untersucht wurde der Geschwindigkeitsbereich $v_F = 2,5-10$ km/h. Die Neigungswinkel wurden bei allen Versuchen konstant gehalten, bei den Geräten mit Hornantenne wurden Neigungswinkel von $\alpha = 45^\circ$ bzw. $\alpha = 37^\circ$ gewählt. Gerät 3 wurde horizontal angeordnet, wodurch sich — wie bereits erwähnt — ein Abstrahlwinkel von $\alpha = 37^\circ$ ergab. Sowohl in der Bodenrinne als auch auf dem Feld wurde die Meßgenauigkeit der Geräte bei unterschiedlicher Beschaffenheit der Bodenoberfläche ermittelt. Der Abstand der Geräte zur Bodenoberfläche wurde bei den Bodenrinnenversuchen im Bereich 30–70 cm variiert. Bei den Feldversuchen wurde ausschließlich ein Abstand von 50 cm zur Bodenoberfläche untersucht, allerdings bei unterschiedlicher Anordnung der Geräte (Radarstrahl in bzw. neben die Schlepperspur gerichtet) und bei unterschiedlicher Hauptausbreitungsrichtung der Wellenfront (Radarstrahl in bzw. gegen die Fahrtrichtung gerichtet).

5. Darstellung und Diskussion der Versuchsergebnisse

5.1 Versuchsergebnisse in der Bodenrinne

Bild 7 zeigt als Beispiel für die Bodenrinnenversuche die mit den drei Geräten auf planierter Bodenoberfläche erzielten Ergebnisse. Für Gerät 1 und Gerät 3 wurden die Ergebnisse bei 30 cm und 70 cm Abstand zur Bodenoberfläche dargestellt. Für Gerät 2 wurden nur die Ergebnisse bei 50 cm Abstand zur Bodenoberfläche dargestellt, da bei diesem Gerät der Abstand zur Bodenoberfläche keinen signifikanten Einfluß auf die Meßgenauigkeit hatte.

Bei Gerät 1 war mit steigender Geschwindigkeit und mit zunehmendem Abstand zur Bodenoberfläche ein deutlicher Abfall der Impulszahl zu beobachten, d.h. bezüglich Frequenzgang und Empfindlichkeit der Verstärkerschaltung sind noch Verbesserungen vorzunehmen. Bei Gerät 2 hatte weder der Abstand zur Bodenoberfläche noch die Geschwindigkeit einen signifikanten Einfluß auf die Meßgenauigkeit. Daraus läßt sich eine gute Anpassung sowohl der Antenne als auch der elektronischen Schaltung an die spezifischen Anforderungen ableiten.

Grundsätzlich anders sind die Verhältnisse bei Gerät 3. Bei der Beurteilung der Versuchsergebnisse muß berücksichtigt werden, daß dieses Gerät für die berührungslose Geschwindigkeitsmessung an einem Schienenfahrzeug entwickelt wurde. Dieses Gerät wurde konzipiert für den Geschwindigkeitsbereich $v_F = 0,1-250$ km/h bei einem Abstand von 10–35 cm zur Oberkante des Schienenkopfes [7]. Bei Verwendung an landwirtschaftlichen Maschinen

und Fahrzeugen ist ein Abstand von 35 cm zur Bodenoberfläche allerdings nicht ausreichend. Die Angaben des Herstellers bezüglich des maximalen Meßfehlers von $\pm 1\%$ konnten bei einem Abstand von 30 cm zur Bodenoberfläche noch bestätigt werden. Mit zunehmendem Abstand zur Bodenoberfläche zeigte sich jedoch ein deutlicher Abfall der Impulszahlen insbesondere bei einer Geschwindigkeit von 2,5 km/h. Das deutet darauf hin, daß unter diesen Bedingungen die Empfindlichkeit des Gerätes nicht mehr ausreichend war.

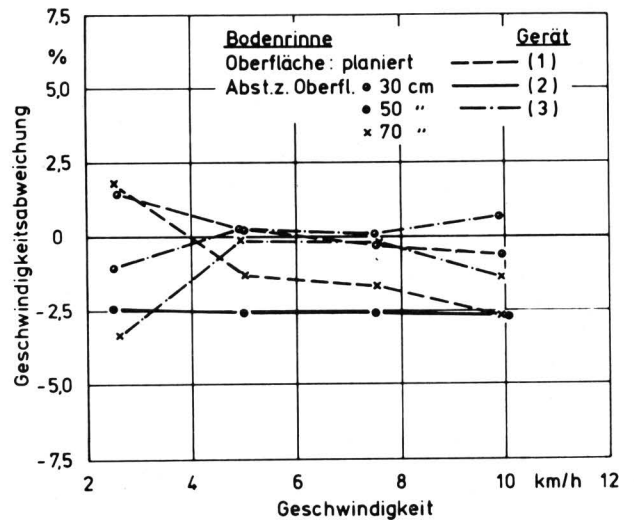


Bild 7. Meßfehler der Radargeräte in Abhängigkeit von der Fahr- geschwindigkeit bei unterschiedlichem Abstand der Geräte zur Bodenoberfläche; Versuch in der Bodenrinne auf planiertem Boden.

5.2 Feldversuche

Bei den Feldversuchen konnte Gerät 1 leider nicht eingesetzt werden, da das Problem der Überlagerung des Nutzsignals mit einem aus niederfrequenten Fahrzeugschwingungen herrührenden Stör- signal kurzfristig nicht gelöst werden konnte. Aus diesem Grund wurden nur Gerät 2 und Gerät 3 untersucht. Gerät 3 konnte allerdings erst bei Geschwindigkeiten über 3 km/h eingesetzt werden, da die für den niedrigsten Frequenzbereich zuständige Filterbank wegen der Fahrzeugschwingungen stillgelegt werden mußte. Durch diese Maßnahme wurde bei Gerät 3 die untere Grenzfrequenz entsprechend angehoben, d.h. Geschwindigkeiten unter 3 km/h konnten nicht mehr erfaßt werden.

Bild 8 zeigt die Ergebnisse der Feldversuche auf geegter Boden- oberfläche. Sowohl bei Gerät 2 als auch bei Gerät 3 trat ein deutlicher Unterschied zwischen vor- und rückwärts bzw. zwischen in und neben die Schlepperspur gerichtetem Radarstrahl auf. Bei vor- wärts bzw. bei neben die Schlepperspur gerichtetem Radarstrahl lieferten beide Geräte deutlich mehr Impulse als bei rückwärts bzw. bei in die Schlepperspur gerichtetem Radarstrahl. Bild 9 zeigt die Ergebnisse der Feldversuche auf gepflügter Bodenober- fläche. Gegenüber der geegten Bodenoberfläche ergaben sich kei- ne wesentlichen Unterschiede.

Eine Bodenoberfläche mit Bewuchs stellt wegen der schwierigen Reflexionsverhältnisse besondere Anforderungen an das jeweilige Radargerät. Die Meßgenauigkeit wurde deshalb sowohl in einem 50 cm hohen Weizenbestand mit Fahrgassen als auch auf einer Wiese mit etwa 10 cm hohem Grasaufwuchs untersucht. Auf der Wiese war der Radarstrahl neben die Schlepperspur, im Weizenbe- stand in die Schlepperspur gerichtet, das Radargerät lief also in einer Fahrgasse.

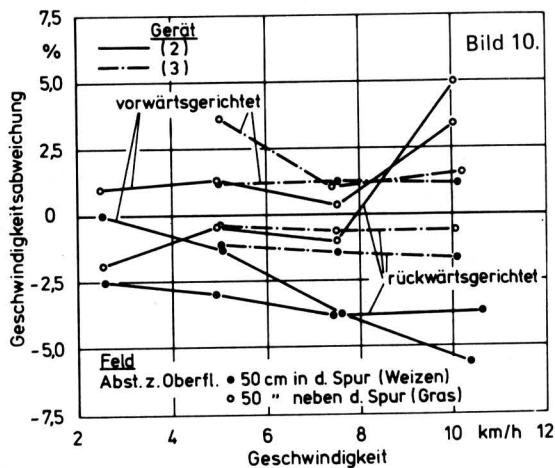
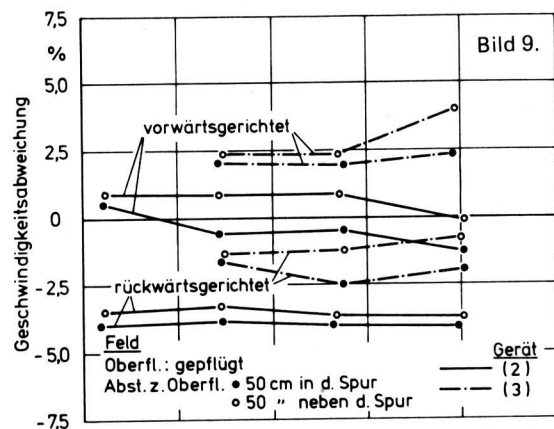
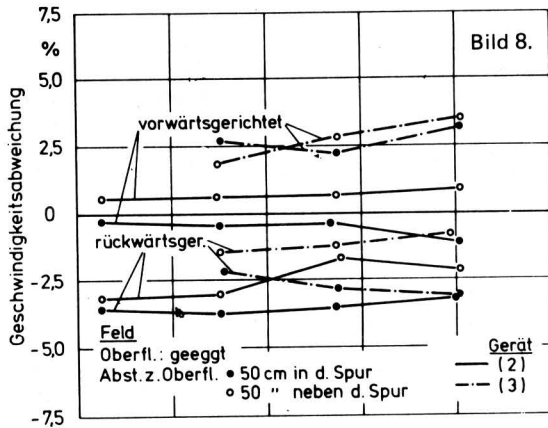


Bild 8 bis 10. Meßfehler der Radargeräte in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei unterschiedlicher Richtung des Radarstrahles;

Bild 8: Feldversuch auf geeggtm Boden

Bild 9: Feldversuch auf gepflügtem Boden

Bild 10: Feldversuch auf Grasland bzw. im Weizenbestand.

Die entsprechenden Versuchsergebnisse in Bild 10 zeigen, daß Gerät 2 im Weizenbestand nur bei rückwärts gerichtetem Radarstrahl befriedigende Ergebnisse lieferte. Bei vorwärts gerichtetem Radarstrahl und auf der Wiese war die Meßgenauigkeit von Gerät 2 sehr stark von der Geschwindigkeit abhängig. Gerät 3 dagegen zeigte im Vergleich zu den anderen Oberflächen keine gravierenden Unterschiede bezüglich der Meßgenauigkeit. Die besondere Antennenform und die aufwendige Signalverarbeitung von Gerät 3 bringen hier also deutliche Vorteile mit sich.

5.3 Diskussion der Versuchsergebnisse

In den zuvor gezeigten Diagrammen wurde der Meßfehler der untersuchten Radargeräte dargestellt als Abweichung der gemessenen Impulszahlen von den nach Gl. (5) berechneten Soll-Impulszahlen. Je nach Gerätetyp wurde eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Abhängigkeit des Meßfehlers von verschiedenen Parametern festgestellt. Die Meßgenauigkeit der einzelnen Geräte kann aber durch eine geeignete Kalibrierung weiter verbessert werden. Dazu legt man für jedes Radargerät den Mittelwert aus sämtlichen gemessenen Impulszahlen als neuen Sollwert fest und berechnet dann den Meßfehler als Abweichung gegenüber diesem neuen Sollwert.

Bild 11 zeigt als Beispiel für die Bodenrinnenversuche den Meßfehler der drei Geräte auf unebener Bodenoberfläche. Dabei wurden die Nullpunkte für die drei Geräte jeweils als Mittelwert aus den Impulszahlen sämtlicher Bodenrinnenversuche berechnet. Für Gerät 1 und Gerät 3 wurde auch hier der Meßfehler bei jeweils 30 und 70 cm Abstand zur Bodenoberfläche dargestellt, für Gerät 2 wie zuvor nur der Meßfehler bei 50 cm Abstand zur Bodenoberfläche, da bei diesem Gerät der Abstand zur Bodenoberfläche keinen signifikanten Einfluß auf den Meßfehler hatte.

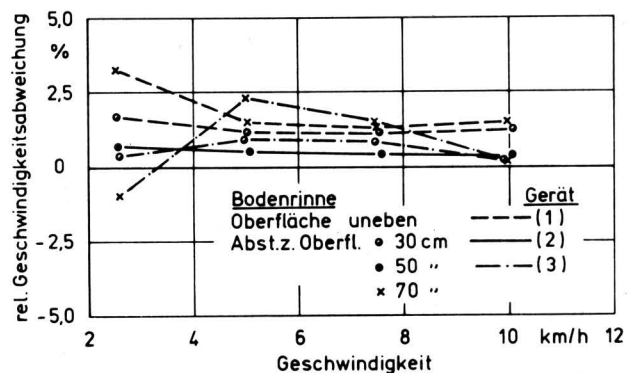


Bild 11. Meßfehler der Radargeräte in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit nach gerätespezifischer Kalibrierung; Versuche in der Bodenrinne auf unebenem Boden.

Nach der Kalibrierung betrug der Meßfehler von Gerät 1 noch etwa 1,5 %, der Meßfehler von Gerät 2 nur noch etwa 0,5 %. Gerät 3 zeigte nur bei 30 cm Abstand zur Bodenoberfläche eine große Meßgenauigkeit, während bei 70 cm Abstand zur Bodenoberfläche die Meßgenauigkeit sehr stark von der Geschwindigkeit abhängig war. Allerdings wurde Gerät 3 – wie zuvor schon erwähnt – für einen maximalen Abstand zur Bodenoberfläche von 35 cm konzipiert.

Der Einsatz von Radargeräten zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung landwirtschaftlicher Fahrzeuge bringt allerdings noch weitere Probleme mit sich. Die Radargeräte sind Schwingungen ausgesetzt, die durch Bodenunebenheiten bzw. durch den Verbrennungsmotor verursacht werden. Diese Schwingungen führen zu einer zusätzlichen Relativbewegung zwischen Radargerät und Bodenoberfläche und verfälschen daher das Meßergebnis. Zur Beseitigung dieser Störungen können folgende Maßnahmen ergriffen werden: Verwendung von mechanischen Dämpfungsgliedern zwischen Radargerät und Fahrzeug sowie schaltungstechnische Maßnahmen, wie z.B. die Verwendung von PLL-Schaltkreisen und Mikroprozessoren zur Signalkonditionierung.

Radargeräte mit höherer Grundfrequenz bringen prinzipbedingt eine bessere Auflösung. Der wesentliche Vorteil besteht aber darin, daß die aus den Fahrzeugschwingungen herrührenden Störungen einfacher zu beseitigen sind, da das Dopplersignal von entsprechend höherer Frequenz ist. Die untere Grenzfrequenz der Verstärkerschaltung kann dann durch ein aktives Hochpaßfilter so festgelegt werden, daß einerseits keine Beschränkung hinsichtlich des gewünschten Geschwindigkeitsbereiches entsteht, andererseits aber die Störfrequenzen wirksam unterdrückt werden können.

Werden lediglich die Bodenrinnenversuche als Beurteilungskriterium herangezogen, so erweist sich eine entsprechend angepaßte Hornantenne als geeignete Antennenform. Bei bestimmten Oberflächenbeschaffenheiten, wie sie im Feldeinsatz vorkommen können, kann jedoch eine spezielle Antennenform deutliche Vorteile bringen.

6. Zusammenfassung

Ausgehend von den physikalischen Grundlagen, werden in diesem Beitrag die Funktionsweise von Radargeräten zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung erläutert und die Untersuchungsergebnisse aus Bodenrinnenversuchen und Feldversuchen dargestellt. Es hat sich gezeigt, daß bei entsprechender Anpassung an die Einsatzbedingungen in der Landwirtschaft auch relativ einfach konzipierte Radargeräte gute Ergebnisse liefern können. Eine möglichst hohe Grundfrequenz ist dabei vorteilhaft. Hinsichtlich Sendefrequenz und Sendeleistung müssen in der Bundesrepublik Deutschland die entsprechenden gesetzlichen Bestimmungen beachtet werden. Wird eine gerätebezogene Kalibrierung vorgenommen und eine günstige Anordnung des Radargerätes am Fahrzeug gewählt, so lassen sich im untersuchten Geschwindigkeitsbereich die Abweichungen vom Sollwert auf maximal 2 % begrenzen.

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] *Mertins, K.H. u. H. Göhlich*: Fahrgeschwindigkeitsmessung an landwirtschaftlichen Fahrzeugen. Grundl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 1, S. 14/20.
- [2] *Fichtel, H. u. S.M. Ismail*: Untersuchungen zur Messung der Arbeitsgeschwindigkeit von Landmaschinen mit Hilfe eines Radargerätes. Grundl. Landtechnik Bd. 32 (1982) Nr. 4, S. 136/40.
- [3] • *Valvo Handbuch "Aktive Mikrowellenbauteile 1980"*. Unternehmensbereich Bauelemente der Philips GmbH Hamburg.
- [4] KDM 24 T Bewegungsmelder nach dem Doppler-Prinzip. Unterlagen der Kontron Hochfrequenz GmbH Eching.
- [5] Mikrowellenmodul SMX 5. Unterlagen der Siemens AG München.
- [6] Unveröffentlichte Unterlagen der AEG – Telefunken – Geschäftsbereich Hochfrequenztechnik – Ulm.
- [7] vsb-Radar 3530. Unterlagen der AEG – Telefunken – Geschäftsbereich Hochfrequenztechnik – Ulm

Gesteuerte adaptive Regelung einer Mähdrescherreinigungsanlage

Von Dietrich Berner und Werner Hendrik Grobler, Stuttgart-Hohenheim*)

DK 631.354.2:631.361.025:62-52

Eine Reduzierung der Körnerverluste und Entlastung des Mähdrescherfahrers kann erreicht werden, wenn die Luftströmung in der Reinigungsanlage selbsttätig den aktuellen Ernteverhältnissen durch die hier vorgestellte kennfeldgesteuerte, durchsatzabhängige Gebläsedrehzahlregelung angepaßt wird. Voraussetzung dafür ist die frühzeitige Erfassung der Prozeßgrößen. Der aktuelle Beladungszustand der Reinigungsanlage wird dabei indirekt über die Messung des statischen Druckes unter dem Obersieb erfaßt.

1. Einleitung

Bisher werden im Mähdrescher hauptsächlich Regeleinrichtungen in den Bereichen eingesetzt, in denen die Regelgrößen bzw. Störgrößen direkt mechanisch erfaßt werden können. Beispiele hierfür sind Schnitthöhenregelung, automatische Lenkung und Hangausgleichssysteme [1, 2]. Die Regelung der Dresch- und Trennsysteme wurde vielfach untersucht [3 bis 10], sie scheiterte bis heute an dem Mangel an ausreichend genauen Sensoren für eine schnelle Erfassung der Prozeßgrößen und teilweise am zu erwartenden ungünstigen Kosten/Nutzen-Verhältnis [6].

Der Beitrag basiert auf einem bei der Internationalen Tagung Landtechnik, 7./8. Nov. 1985 in Braunschweig, gehaltenen Vortrag.

*) *Dipl.-Ing. D. Berner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl "Grundlagen der Landtechnik" (Leiter: Prof. Dr.-Ing. H.D. Kutzbach) der Universität Hohenheim; Dipl.-Ing. W.H. Grobler war Mitarbeiter an demselben Lehrstuhl und ist heute Leiter der Abteilung "Mähdruschtechnik" bei der Fa. Deutz-Fahr, Laing.*

Die Einstellung der Dresch- und Trenneinrichtungen erfolgt meist zu Beginn der Arbeit nach einer Grundeinstellung und wird im weiteren vom Fahrer stichprobenartig überprüft. Neben der Bedienung der Maschine wird die Hauptaufmerksamkeit des Fahrers von der kontinuierlichen Überwachung des Schneidvorganges und des vor ihm liegenden Arbeitsfeldes beansprucht.

Die Mähdrescherreinigungsanlage wird während der Ernte oft mit zu hoher Gebläsedrehzahl betrieben. Dadurch entstehen erhöhte Körnerverluste, da die Leistungsfähigkeit der Reinigungsanlage nicht voll genutzt wird. Eine selbsttätige Regelung kann den Fahrer hier wesentlich entlasten und zu einem besseren Bedien- und Fahrkomfort bei erhöhter Leistung beitragen.

Die Aufgabe der Gebläsedrehzahlregelung ist die automatische Anpassung der Gebläsedrehzahl vor allem an Ertragsschwankungen innerhalb des Bestandes. Darüber hinaus lassen sich in der An- und Auslaufphase auftretende erhöhte Verluste reduzieren. Dies hat vor allem Bedeutung bei der Ernte kleinerer Parzellen mit einem erhöhten Zeitanteil für Wendevorgänge, bei denen sehr schnelle und große Durchsatzschwankungen auftreten.

2. Prozeßverhalten der Mähdrescherreinigungsanlage

Im Mähdrescherbau werden heute allgemein Reinigungsanlagen mit luftdurchströmten Schwingsieben in unterschiedlichen Varianten eingesetzt. Für die Leistungsfähigkeit dieser Reinigungsanlagen ist neben der mechanischen Schwingungseinleitung in die Gutschicht eine sorgfältig angepaßte Luftströmung Voraussetzung. Die Luftströmung sorgt für eine gezielte Auflockerung und Entmischung des Gutes und verbessert die Abscheidung des Kornes erheblich [11]. Dabei ist es entscheidend, daß die örtliche Strömungsrichtung und -geschwindigkeit in der Reinigungsanlage dem jeweiligen Erntegut und den Erntebedingungen angepaßt wird. Die Einstellung des Luftdurchsatzes wird heute fast ausschließlich durch Variation der Gebläsedrehzahl vorgenommen.