

Gewichtsermittlung und Wegmessung am Traktor für eine verbesserte Applikationstechnik bei Dünger und Pflanzenschutz

H.Auernhammer, M.Demmel & J.Rottmeier

Institut für Landtechnik, TU Weihenstephan, Bundesrepublik Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG: Bei Verteilarbeiten können in der Praxis große Abweichungen vom Sollwert auftreten. Deshalb werden Überprüfungsöglichkeiten für die ausgebrachten Mengen auf dem Feld benötigt und es muß die schlupffreie Vorfahrt in die Verteilregelung einbezogen werden. Zur Überwachung der Ausbringmengen eignen sich Wiegemöglichkeiten im Schlepperheckkraftheber. Bei der Nachrüstung erbringen Sensoren in den Hubarmen die besten Ergebnisse. Bei Schleppern mit EHR erbringt die Druckmessung in der Hydraulik gleich gute Ergebnisse wie die Messung in den Hubarmen. Generell sind die geringsten Abweichungen jedoch bei speziellen Wiegerahmen zu erwarten. Radarsensoren sollten in der Fahrspur angebracht werden. In Spurschächten liegt die damit erreichbare Genauigkeit bei 97 bis 98 %. Bei kurzen Meßwegabschnitten kann der Fehler auf 5 % ansteigen. Unter ungünstigen Bedingungen zeigten die untersuchten Sensoren große Unterschiede.

ABSTRACT: During application of fertilizer and pesticides big differences to the planned value are usual. Only inspection possibilities on the field can avoid these errors. In addition to it the slip free motion of the vehicle has to be included into the distribution control. Monitoring of distribution material can be done in specific weighing units in the three point linkage of tractors. As an add on device sensors in the lift arms produce good results. In tractors with electronic draft control the system pressure offers as good results as the sensor in the lift arms. Generally a weighing frame has the lowest deviations from the true weight. Radar sensors should be mounted between front and rear wheel. In fields with traffic lanes the accuracy is in the range from 97 to 98 %. Only under bad circumstances the tested sensors show big differences.

RESUME: En épandage et en pulvérisation, qui sont des travaux exemplaires de distribution, il y a souvent des grandes différences entre le dosage théorique et le dosage vrai. Ainsi on a besoin des systèmes effectifs pour contrôler en champ les quantités distribuées. De plus, pour régler la distribution en dépendance de la vitesse vraie, il est nécessaire de respecter le patinage des roues motrices. Pour surveiller les quantités à distribuer des mécanismes, différents au relevage trois points du tracteur s'offrent. En cas d'équipement supplémentaire les capteurs de force dans les deux bras supérieurs de relevage garantissent le mesurage le plus précis. Pour les tracteurs équipés du relevage avec régulation hydroélectronique (Système BOSCH) les capteurs de pression fourmissent la même précision. Généralement on excompte le pesage le plus exact par une balance en forme de cadre accouplée au relevage trois points. Il est avantageux d'installer des détecteurs radars dans les traces du véhicule. Ainsi, la précision du mesurage de vitesse respectivement de voie est entre 97 % et 98 %. L'erreur peut augmenter à 5 % en maximum quand les distances à mesurer sont très courtes. A des conditions défavorables, les capteurs examinés ont révélé des grandes différences.

1. EINFÜHRUNG

Eine hochproduktive Landwirtschaft muß zur Erzeugung guter Ernten eine nicht unbedeutende Menge an Dünger und Pflanzenschutzmitteln je ha aufwenden. Obwohl heute

dafür eine ausgereifte Technik zur Verfügung steht, kann von einer gleichmäßigen Ausbringung je Flächeneinheit bei wechselnden Verhältnissen nicht gesprochen werden. Insbesondere durch den Schlupf der Antriebsräder verändert sich bei wechselnden

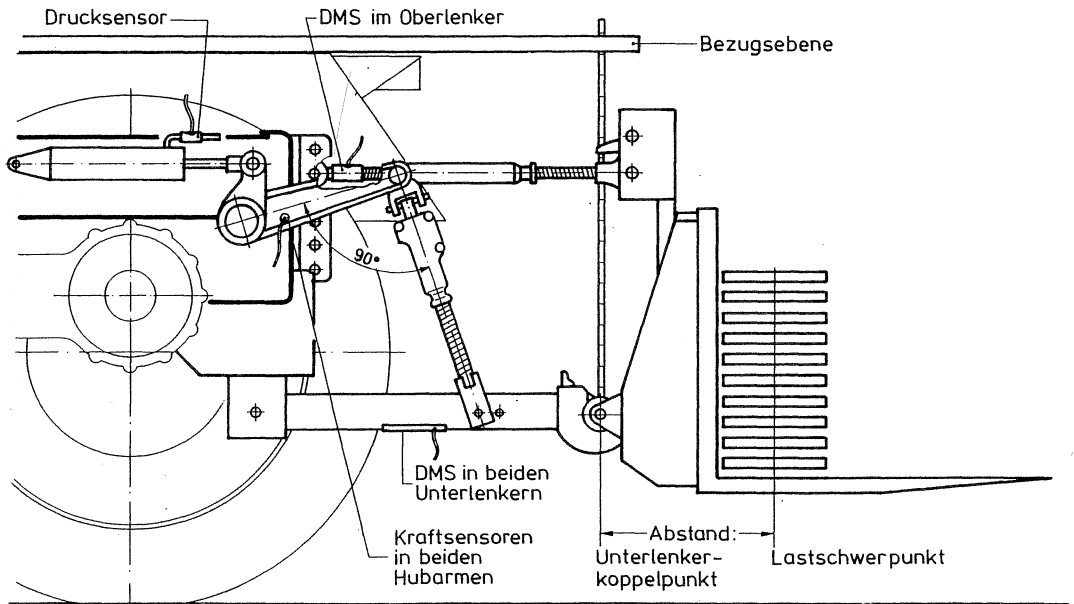


Abbildung 1: Applikationsstellen für Sensoren zur Gewichtsermittlung in der Dreipunkthydraulik

Bodenarten oder in hängigem Gelände die Ausbringmenge lokal sehr stark. Die Einbeziehung der wahren Vorfahrt in einen Regelkreis kann dabei zwar Abhilfe schaffen, jedoch liegen über die Genauigkeit dafür infrage kommender Sensoren unterschiedliche Ergebnisse vor. Zudem fehlt insbesondere bei der Ausbringung von Mineraldünger in loser Form eine geeignete Überprüfungsmöglichkeit, um Fehler während des Ausbringvorganges schnell erkennen und darauf gezielt reagieren zu können.

Aus diesem Grunde sollte nach Möglichkeiten einer mobilen Wägung im Schlepperheckkraftheber gesucht werden. Für die infrage kommenden Systeme war dann die mögliche Genauigkeit unter Praxisbedingungen zu analysieren. Ergänzend dazu sollten dann die auf dem Markt verfügbaren Radarsensoren auf ihre mögliche Genauigkeit hin untersucht werden.

2. GEWICHTSERMITTLUNG IM SCHLEPPERHECKKRAFTHEBER

Zur Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber bieten sich mehrere Möglichkeiten an. Zum einen kann der Druck im Hydrauliksystem für eine Gewichtsermittlung herangezogen werden. Daneben sind Sensoren am

oder im Dreipunktgestänge denkbar und letztendlich können eigens für diesen Zweck konzipierte Wiegerahmen zum Einsatz gelangen.

Alle diese Möglichkeiten basieren auf spezifischen Sensoren. Diese werden bei den Möglichkeiten am Schlepper nachträglich an den entsprechenden Stellen appliziert. Integraler Bestandteil sind sie dagegen beim Wiegerahmen.

2.1 Vorversuche mit unterschiedlichen Sensoren am Schlepper

Um einen ersten Überblick über die generellen Möglichkeiten zu erhalten, wurden in Zusammenarbeit mit einem Schlepperhersteller an einem Testschlepper vier verschiedene Meßstellen mit entsprechenden Sensoren versehen (Abb. 1).

Am einfachsten gestaltete sich die Anbringung eines Drucksensors unmittelbar an der Ölzuführung vor dem Hydraulikzylindern. Dagegen mußten zur Anbringung von Dehnungsmeßstreifen an den Unterlenkern und am Oberlenker entsprechende Schwächungen vorgenommen und nach der Applikation die Sensorstellen dauerhaft dicht verschlossen werden. Die größten Schwierigkeiten ergaben sich bei der Applikation der Sensoren in den Hubarmen. Dafür wurde vom Sensor-

hersteller eine äußerst hohe Genauigkeit der Bohrung vorgeben. Zudem mußte der günstigste Anbringungsort mittels "finiter Elementmethode" bestimmt werden.

Für die Untersuchung wurde der Schlepper mit einer Ladegabel im Heckkraftheber versehen. Als Belastung wurden dann Einzelgewichte mit jeweils 90 kg nacheinander auf die Gabel aufgebracht. Nach jeder Einzellast erfolgte ein vollständiges Anheben des Dreipunktgestänges und danach ein Absenken auf eine Position, in welcher Unter- und Oberlenker parallel zueinander standen.

An dieser Position wurden dann alle Sensorsignale nach einer entsprechenden Aufbereitung und notfalls erforderlicher Verstärkung auf einem Mehrkanalmeßschreiber aufgezeichnet. Für jede Einzellast erfolgten nach einer jeweiligen Absenkung auf den Boden vier Wiederholungsmessungen. Die maximal aufgebrachte Last betrug 975 kg und entspricht damit den Verhältnissen eines Düngerstreuers. Nach der Maximallast wurden die Einzelgewichte wieder einzeln abgenommen und dabei wiederum vier Messungen durchgeführt. Alle Messungen erfolgten bei laufendem Motor, um die Verhältnisse der Praxis einzubeziehen. Gesonderte Untersu-

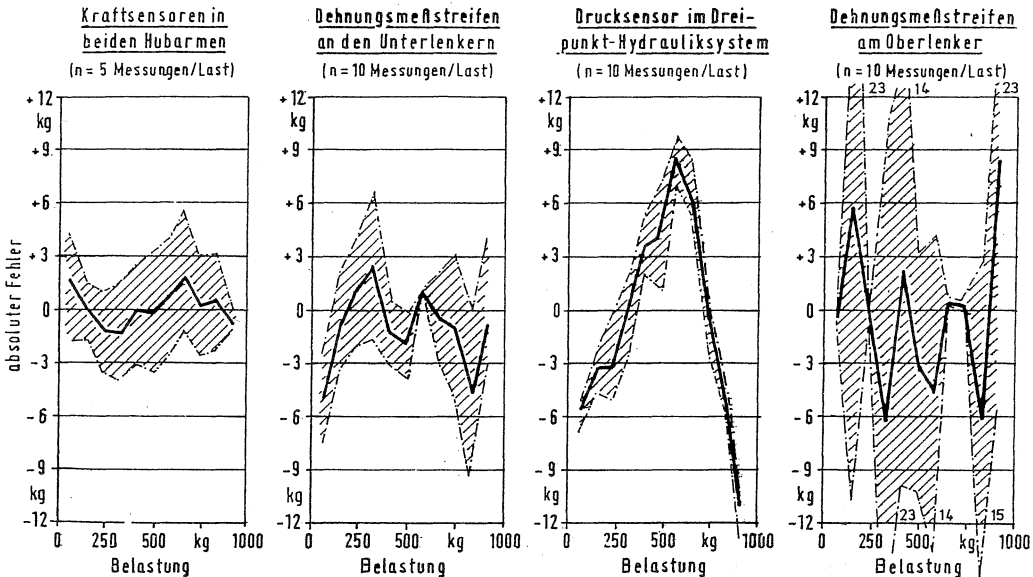
chungsvarianten bezogen neben der waagrecht Stellung des Schleppers auch Neigungen nach links, nach rechts, nach vorne und nach hinten von jeweils 3 und 5 % mit ein.

Generell ergaben sich bei Neigungen bis 3 % keine Beeinflussungen der Ergebnisse. Stärkere Neigungen bis 5 % können ebenso vernachlässigt werden. Die Ergebnisse der erreichten Genauigkeit bei ebenem Boden sind in Abbildung 2 dargestellt.

Alle Sensoren zeigen für sie typische Ergebnisse. Weitgehend linear sind die Meßfehler über der aufgebrachten Last bei den Sensoren in den Hubarmen. Der konstante Vertrauensbereich für den Mittelwert ist sehr eng und verspricht eine sehr exakte Gewichtsermittlung.

Hingegen zeigen die Sensoren in den Unterlenkern eine stärkere Abweichung vom Nullwert mit größerem Vertrauensbereich. Hinzu kamen bei diesen Sensoren schon nach kurzer Zeit Genauigkeitsprobleme durch eindringende Feuchtigkeit nach Einsätzen des Schleppers zur Spätdüngung.

Einen überraschend engen Vertrauensbereich erreichte beim Testschlepper auch der Drucksensor im Hydrauliksystem. Allerdings



(Schlepper mit 63 kW; Messungen im Stand bei laufendem Motor; Unterlenkerposition parallel zur Bezugsebene, konstanter Schwerpunktabstand)

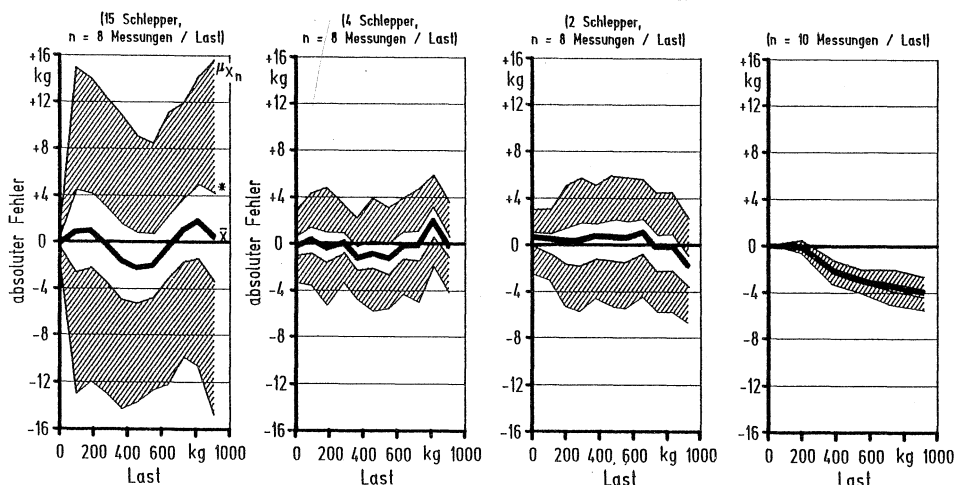
Abbildung 2: Mittlere Meßfehler und deren Vertrauensbereiche für verschiedene Sensoren zur Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber

Drucksensor im Dreipunkt-Hydrauliksystem ohne EHR

Drucksensor im Dreipunkt-Hydrauliksystem mit EHR

Kraftsensoren in beiden Hubarmen "GozInla"

Landsberger "Wiegerahmen"



Messungen im Stand bei laufendem Motor, Unterlenkerposition parallel zur Bezugsebene, konstanter Schwerpunktabstand; # Fehlerbereich für \bar{x}

Abbildung 3: Untersuchungsergebnisse für den Hydraulikdruck, die Hubarmsensoren und den Wiegerahmen

weicht dabei das Signal sehr stark von der Nulllinie ab und müßte deshalb gesondert elektronisch nachbearbeitet werden.

Als weitgehend unbrauchbar erwies sich bei diesen Untersuchungen der Sensor im Oberlenker.

2.2 Vergleichsuntersuchungen mit ausgewählten Sensoren

Aufbauend auf diese Voruntersuchungen wurden dann gezielte weitere Untersuchungen durchgeführt. In diese Untersuchungsreihe wurden insgesamt 20 Schlepper für die Hydraulikdruckmessung einbezogen. Bewußt wurden auch ältere Schlepper getestet, um eventuell zu erwartende Alterungserscheinungen feststellen zu können. Zudem wurde ein weiterer Schlepper mit Sensoren in den Hubarmen ausgestattet und schließlich wurde auch ein Wiegerahmen berücksichtigt. Für alle Schlepper wurde der oben geschilderte Meßablauf durchgeführt. Folgende Ergebnisse wurden ermittelt (Abb. 3).

Beim Hydraulikdruck wurden Schlepper mit und ohne EHR berücksichtigt. Schlepper ohne EHR zeigen dabei sehr große Streubreiten im Vertrauensintervall für den mittleren Meßfehler (innerer Bereich) und eine sehr große Streuung für die insgesamt zu erwartenden zufälligen Ergebnisse (äußerer Be-

reich). Hingegen erreichten Schlepper mit EHR in etwa die gleichen Ergebnisse wie die beiden Schlepper mit den Sensoren in den Hubarmen. Deutlich aber hebt sich von allen der Wiegerahmen ab. Er weist die geringste Streuung auf und kann deshalb ohne Einschränkung empfohlen werden.

3. RADARMESSUNGEN

Auch die Untersuchungen an den Radarsensoren sollten die Verhältnisse der Praxis sehr stark berücksichtigen. Deshalb wurde als Anbringungsort die rechte Fahrspur zwischen dem Vorder- und Hinterrad gewählt. Die Erfassung der Meßgenauigkeit erfolgte in einem Weizenbestand etwa drei Wochen vor der Ernte in den vorhandenen Spurschächten, auf Getreidestoppel und in Senf (Abb. 4).

Erfasst wurden die vom Sensor abgegebenen Signale für einen über Lichtschranken gemessenen Weg von 4 m mit Geschwindigkeiten von 0,7, 1,7, 2,5 und 3,5 m/s. In einem 80 bis 120 cm hohen Senfbestand wurden zudem Messungen über Meßweglängen von 4 m, 1 m und 0,5 m bei jeweils 2,5 m/s Geschwindigkeit durchgeführt. Die ermittelten Ergebnisse sind in Abbildung 5 und 6 dargestellt.

Versuchsfahrzeug:

Allrad-Geräteträger

59 kW Motorleistung

Bereifung:

9,5-32 vorn

9,5-48 hinten

Radstand.

2500 mm

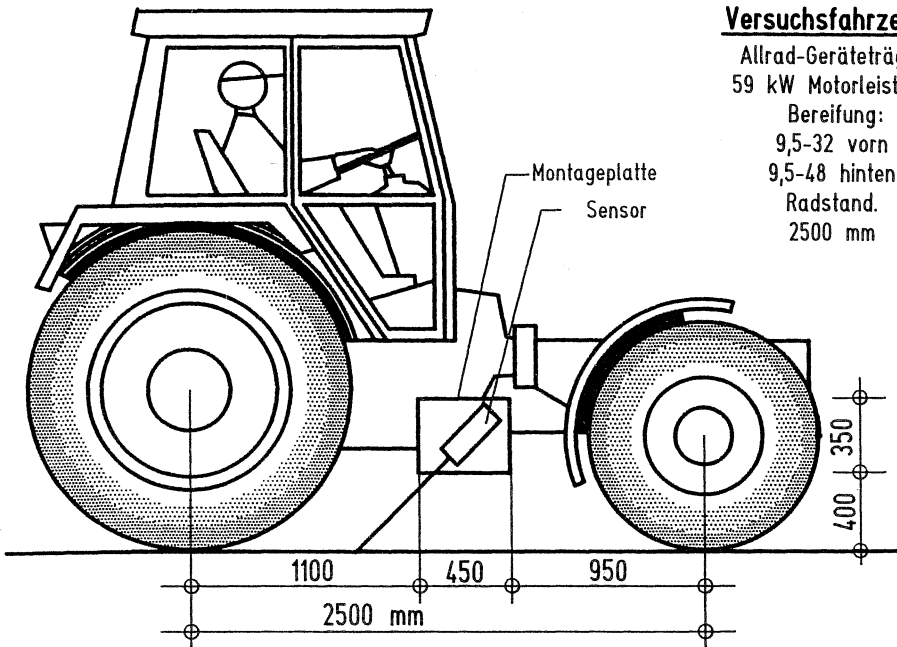


Abbildung 4: Sensoranbringung am Testschlepper und Referenzmeßanordnung

Beide Radarsensoren zeigen unterschiedliche Genauigkeiten. Im Weizenbestand liegt der ermittelte Fehler zwischen 1,4 und 3,5 %. Sensor A bringt das beste Ergebnis im Hauptarbeitsbereich, Sensor B dagegen bei 12 km/h.

Auf Getreidestoppel verringern sich die Meßfehler beider Sensoren. Sensor B ist dabei überlegen. Überraschenderweise zeigt nun Sensor A den größeren Fehler im Hauptarbeitsbereich.

Wird die Meßweglänge reduziert, dann erhöht sich der Fehler bei den beiden Sensoren. Generell bringt dann Sensor B ungünstigere Ergebnisse, wobei der Fehler bei 0,5 m Meßweglänge dann in der Praxis nicht mehr akzeptiert werden kann. Allerdings ist zu bedenken, daß die gewählte Testumgebung sicher die in der Landwirtschaft ungünstigsten Bedingungen darstellt und somit eigentlich der Maximalfehler ermittelt wurde.

4. EINORDNUNG UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die durchgeführten Untersuchungen mit den

ermittelten Ergebnissen lassen eine klare Einordnung zu.

Für die Gewichtsermittlung im Schlepperheckkraftheber sind derzeit drei wesentliche Systeme geeignet. Als Nachrüstung für Altschlepper und als Grundausüstung für neue Schlepper mit und ohne EHR eignen sich die Sensoren in den Hubarmen. Dabei ist allerdings höchste Präzision bei der Bohrung erforderlich, weshalb die entsprechende Applikation ausschließlich vom Spezialisten durchgeführt werden kann.

In Schleppern mit EHR sollte künftig aufgrund der guten Möglichkeiten eine Gewichtsermittlung - nach Möglichkeit elektronisch gesteuert - integriert werden.

Hingegen kann der Wiegerahmen aufgrund seiner hohen Genauigkeit für alle Anwendungsfälle empfohlen werden. Allerdings muß dazu der derzeit noch sehr hohe Preis reduziert werden. Dies könnte durch die Einbeziehung der Signale und der Anzeige im Schlepperbordcomputer erfolgen. Generell hat aber dieses Wägeprinzip keinerlei Einfluß durch den unterschiedlichen Schwerpunktastabstand zu befürchten und zudem kann

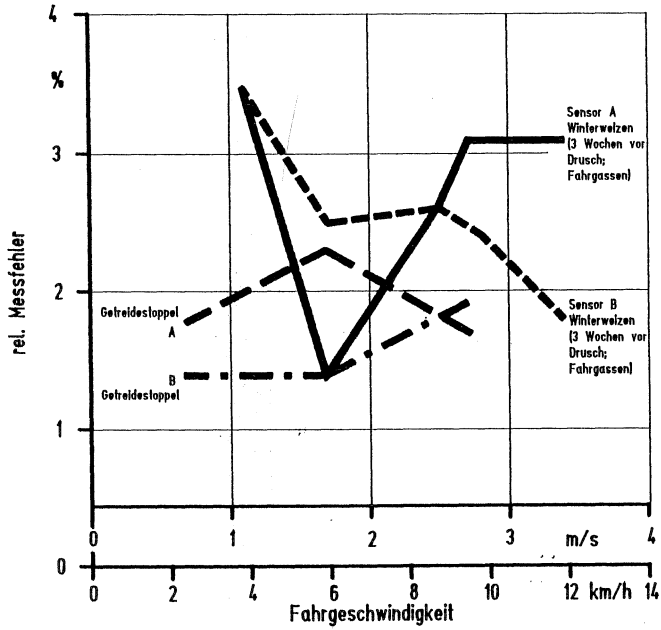


Abbildung 5: Genauigkeit zweier Radarsensoren bei unterschiedlicher Vorfahrt in Weizen und auf Getreidestoppel (Meßweglänge 4 m)

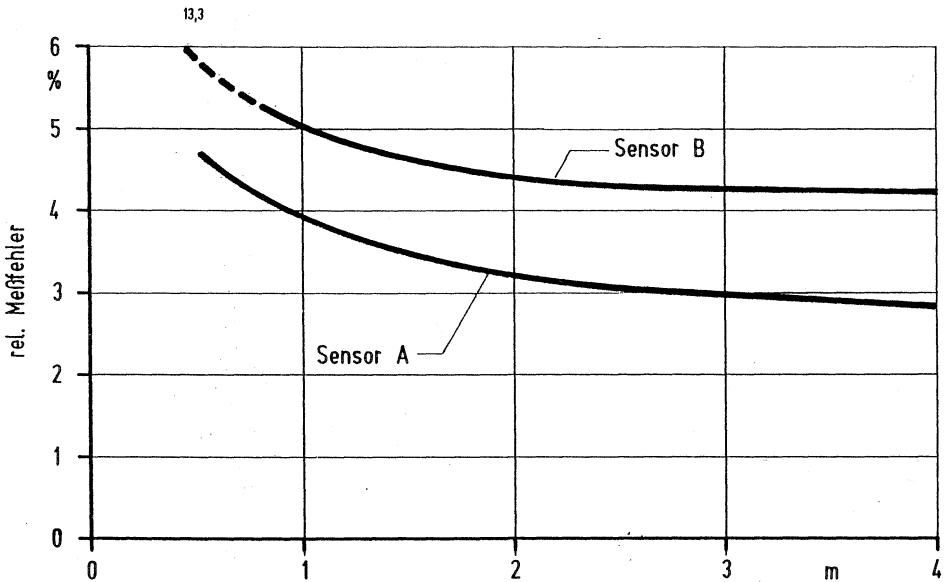


Abbildung 6: Genauigkeit zweier Radarsensoren bei unterschiedlicher Meßweglänge ($v = 2,5 \text{ m/s}$; Senf 80 bis 120 cm hoch; keine Spurschächte)

diese Einheit problemlos an unterschiedlichen Schleppern eingesetzt werden. Allerdings können sich durch den Geräteersatz Einsatzschwierigkeiten bei leichteren Schleppern ergeben.

Radarsensoren erbringen je nach Vorfahrtsgeschwindigkeit und Bodenbewuchs unterschiedliche Meßgenauigkeiten. Für die typischen Anwendungsfälle in Getreide mit Spurschächten und Anbringung der Sensoren in der Fahrspur sind Fehler zwischen 1,5 und 4 % zu erwarten, wenn die Signale über eine Meßweglänge von 4 m integriert werden. Auf Getreidestoppel reduzieren sich diese Fehler auf etwa 2 bis 2,5 %.

Unter ungünstigen Verhältnissen ohne Spurschächte und Meßweglängen von nur 0,5 m ergeben sich dagegen maximale Fehler bis zu 13 %. Dies sollte aber nicht darüber hinwegtäuschen, daß damit der Meßfehler bei üblichen Arbeitsgeschwindigkeiten zwischen 0,2 und 0,3 km/h liegt. Somit darf bei Einbeziehung der schlupffreien Vorfahrt in die Regelvorgänge bei Verteilgeräten immer von einer ausreichenden Genauigkeit ausgegangen werden.

5. LITERATUR

- Auernhammer, H., M. Demmel und H. Stanzel 1988. Wiegemöglichkeiten in der Schlep-
perdreipunkthydraulik. Landtechnik 10:
414-418
- Auernhammer, H. 1988. Wiegen in der Schlep-
perdreipunkthydraulik - In den Hubarmen
stecken die Sensoren. Agrar-Übersicht 10:
26-27 und 33
- Boll, E. 1988. Elektronik an Drillmaschi-
nen, Steuern und Regeln von Geräten für
die Bestellung. Darmstadt: KTBL (Nr. 322)
- Knechtges, H. 1988. Behälterwägung im Drei-
punktanbau. Landtechnik 5: 218-219
- Isensee, E. 1988. Ansprüche der Produk-
tionstechnik an die elektronische Steue-
rung/Regelung. Düsseldorf: VDI (Land-
technik 88)