

Peter Droll und Heinz Dieter Kutzbach, Hohenheim

Laserscanner zur 3D-Oberflächenvermessung

Um die Zusammenhänge beim Abrollen eines Reifens auf verformbarem Untergrund besser beschreiben zu können, wurde in Hohenheim neben einer Lasermesseinrichtung zur Erfassung der Innenkontur eines abrollenden Traktorreifens ein 3D-Laserscanner entwickelt, mit dem die plastische Verformung des Bodens durch einen Reifen gemessen werden kann. Der Aufbau des Scanners ermöglicht weitere Anwendungen wie beispielsweise die Bestimmung der Bodenrauheit oder die Tiefenbestimmung von Pflug- oder Saatzfurchen. Aufbau und Funktion dieses Scanners sowie erste Ergebnisse aus Labor- und Feldversuchen werden vorgestellt.

Dipl.-Ing. sc.agr. Peter Droll war wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion mit Grundlagen der Landtechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. H.D. Kutzbach), Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart; e-mail: droll.peter@web.de, kutzbach@uni-hohenheim.de

Schlüsselwörter

Laserscanner, Reifen, Bodenverformung, Reifen-Boden-Wechselwirkung

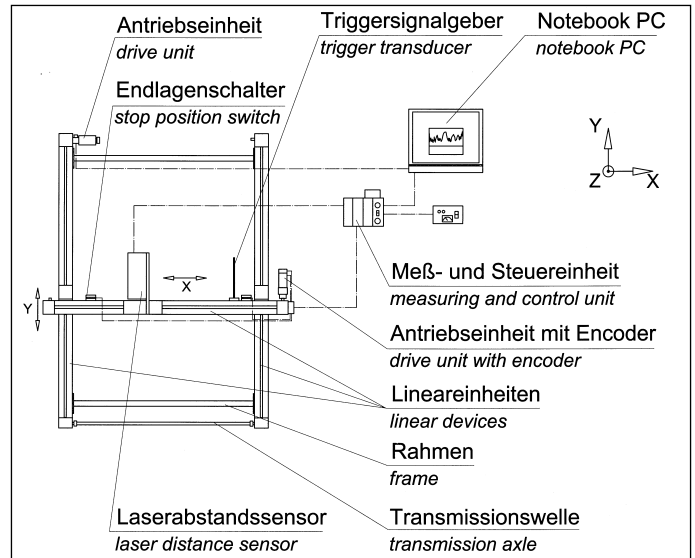
Keywords

Laser scanner, tyres, soil deformation, tyre-soil interaction

Literaturhinweise sind unter LT 01310 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Bild 1: Aufbau des 3D-Laserscanners

Fig. 1: Set up of the 3D laser scanner



Schadverdichtungen landwirtschaftlicher Kulturflächen, verursacht durch steigende Radlasten und hohe Reifeninnendrucke, können zu Ertragsverlusten in der Pflanzenproduktion führen. Eine Möglichkeit zur Vermeidung von Schadverdichtungen sind breitere Reifen mit einer größeren Aufstandsfläche und geringerem Reifeninnendruck, die eine geringe Spurbildung bewirken. Die genaue Kenntnis dieser Bodenverformung ist wichtig für die Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen Reifen und Boden. Während sich Reifen elastisch verformen, erfolgt die Bodenverformung in Abhängigkeit von Bodenart und Bodenzustand elastisch und plastisch.

Am Institut für Agrartechnik wurde neben einer Lasermesseinrichtung zur Innenkonturvermessung eines Traktorreifens [1] ein Laserscanner entwickelt, mit dem es möglich ist, den Profilabdruck eines Reifens auf

nachgiebiger Fahrbahn zu vermessen und damit den Einfluss von verschiedenen Reifen- und Bodenparametern auf bleibende Bodenverformung und die Wechselwirkung zwischen Reifen und Boden zu erfassen. Der Laserscanner kann maximal eine Fläche von 800 • 1000 mm abtasten. Weitere Anwendungen können beispielsweise die Furchenvermessung beim Pflügen, beim Einsatz von Bodenbearbeitungsgeräten und Sämaschi-

nen oder die Bestimmung der Oberflächenrauheit sein (Tab. 1). Aus dem vermessenen Profilabdruck können die Kontaktfläche, das verdrängte Bodenvolumen sowie unter Zuhilfenahme vorhandener oder noch zu entwickelnder Modelle der Kontaktflächen- druck zwischen Reifen und Boden berechnet werden.

Aufbau und Funktion

Der Grundrahmen besteht aus zwei Lineareinheiten, die mit zwei Rahmenteilen starr und parallel miteinander verbunden sind (Bild 1). Zum synchronisierten Vor-

Tab. 1: Einsatzmöglichkeiten des Laserscanners Table 1: Fields of application for the 3D laser scanner

Verfahren	Ziele	Literatur
3-dimensionale Abbildung von Objekten (Oberflächen)	Visualisierung von räumlichen Strukturen	
Bestimmung der Oberflächenrauheit	Berechnung von Koeffizienten für Rauheit von Ackerboden, Straßenbelag, Beton	[2, 3]
Vermessung von Profilabdrücken	Berechnung des verdrängten Bodenvolumens, Rückschlüsse auf Verformungsenergie und damit bodenbedingten Rollwiderstand, Aussagen über Bodenzustand (Befahrbarkeit), Bestimmung der Kontaktfläche, Ermittlung von Verdichtungen	[4 bis 13]
Vergleich von Reifenprofil und Profilabdruck	Rückschlüsse auf Reifen- und Bodenverformung (Einflüsse von Geschwindigkeit, Druck, Radlast, Bodenart, Reifentyp)	
Bestimmung des Bearbeitungseffektes von Bodenbearbeitungsgeräten	Einebnungseffekt, Zerkleinerungswirkung, Furchenausbildung, Erarbeitung von Parametern/Koeffizienten	
Vermessung der Ablagegenauigkeit von Sämaschinen	Berechnung von Längs-, Quer- und Tiefenverteilungskoeffizienten	

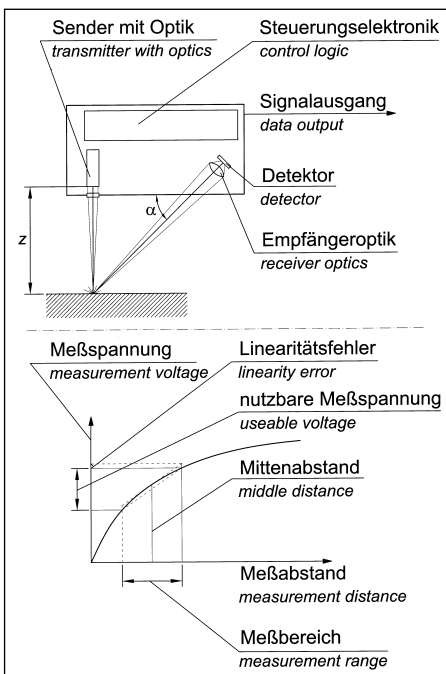


Bild 2: Funktionsprinzip eines Laserabstandssensors (Triangulationsverfahren)

Fig. 2: Functional principle of a laser distance sensor (triangulation method)

schub beider Lineareinheiten dient eine Welle, die den Vorschub von der einen Lineareinheit auf die andere überträgt. Der Antrieb erfolgt mit einem Schrittmotor.

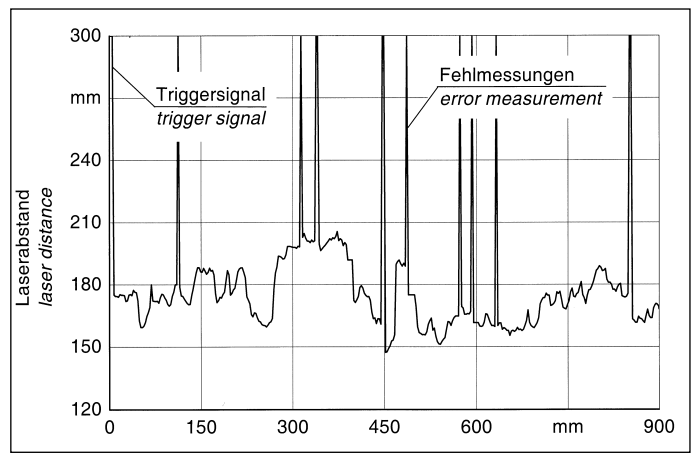
Den Quervorschub des Lasersensors übernimmt eine weitere Lineareinheit, die an die Flanschplatten der beiden anderen Lineareinheiten geschraubt ist und über einen DC-Motor mit Encoder angetrieben wird. Über eine Schrittzählung kann der zurückgelegte Weg berechnet werden. Bei allen drei Lineareinheiten handelt es sich um Doppelspurzahnriemenvorschübe mit einer Übersetzung von 41 mm/U. Der schlupffreie Antrieb über einen Zahnriemen ermöglicht eine Wiederholgenauigkeit der Positionen in X- und Y-Richtung von 0,5 mm. Ein vertikal und horizontal verstellbarer Triggersignalgeber dient über das Laserausgangssignal als Startimpulsgeber für die jeweilige Messspur.

Alle elektronischen und elektrischen Bauelemente sind mit einer zentralen Mess-, Steuer- und Spannungsversorgungseinheit verbunden, von der aus die Messsignale des Encoders sowie des Lasersensors zum portablen PC mit Messwerterfassungskarte übertragen werden. In dem PC befindet sich auch die Schrittmotorsteuereinheit, die unter Zuhilfenahme einer gesonderten Software zur Ansteuerung der Längsverschiebung in Y-Richtung dient.

Der verwendete Lasersensor hat einen maximalen Messbereich von 180 mm. Der Messbereichsmittelpunkt liegt bei 200 mm und die maximale Messfrequenz bei 3 kHz bei einer Messempfindlichkeit von 0,1 V/mm. Der Lasersensor arbeitet nach dem Triangulationsverfahren (Bild 2). Die Bodenoberfläche wird mit dem Laser bestrahlt. Ein Teil der rückgestreuten Strahlung wird

Bild 3: Laserabstandssignal über dem zurückgelegten Weg

Fig. 3.: Laser distance signal vs. covered distance



mit Hilfe einer Empfangsoptik auf einen Photoempfänger abgebildet. In Abhängigkeit vom Messabstand ändert sich der Empfangswinkel, wodurch unterschiedliche Punkte des Photoempfängers bestrahlt werden und unterschiedliche Messspannungen entstehen. Aufgrund der Winkelbeziehung ergibt sich ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen Messabstand z und Empfangswinkel α . Durch eine interne Linearisierung wird ein linearer Zusammenhang zwischen Messspannung und Messabstand hergestellt und der maximale Fehler auf $\pm 0,8\%$ begrenzt.

Da der Messpunkt des Lasersensors einen Durchmesser von rund 1,5 mm hat, wird bei einer Verfahrensgeschwindigkeit von 35 cm/s in x-Richtung und einer Messfrequenz von 200 Hz ein durchschnittlicher Abstand zwischen den Messpunkten von 1,75 mm erzeugt. In y-Richtung ergibt sich ebenfalls aus der Punktgeometrie des Laserstrahls ein sinnvolles Längsverschiebungsintervall zwischen 2 und 5 mm.

Die gemessenen Daten – Position und Abstand – werden mit einer Messwerterfassungssoftware verarbeitet und gespeichert. Bei der Nachbearbeitung werden Fehlmessungen herausgefiltert, die Daten kontrolliert und im entsprechenden Datenformat exportiert. Mit diesen Daten kann das verdrängte Bodenvolumen näherungsweise berechnet werden. Mit Hilfe einer 3D-Software kann aus den Daten zusätzlich ein 3-dimensionales Abbild des Abdrucks erzeugt werden.

Ergebnisse der Vorversuche

In unterschiedlichen Vorversuchen mit verschiedenen Reifen und Belastungen wurde die Funktion der Messeinrichtung in einer Bodenrinne und auf dem Feld überprüft. Diese Versuche haben gezeigt, dass die Bodenstruktur des zu vermessenden Versuchsbodens nicht zu rau sein darf. Aufgrund schlechter Reflexionsverhältnisse ergeben sich sonst Fehlmessungen (Bild 3). Zu stark ausgetrockneter Boden verfälscht die Ergebnisse ebenfalls, da durch Schrumpfrisse die Abstandsmessung über den Messbereich hinaus ausgedehnt wird. Bei diesem Über-

schreiten des Messbereichs sowie bei den genannten Brechungseffekten liefert der verwendete Sensor eine Ausgangsspannung von 9 V und damit einen Abstand von 300 mm. Diese Fehlmessung kann bei der Nachbearbeitung jedoch korrigiert werden.

Bild 4 zeigt die dreidimensionale Abbildung mit zweidimensionaler Projektion eines Reifenabdrucks in der Hohenheimer Bodenrinne. Durch die Abstufung in unterschiedlichen Graustufen wird die Tiefe des Abdrucks und damit indirekt die Bodenverdichtung verdeutlicht. In dem zweidimensionalen Abbild kann so die Druckverteilung anhand unterschiedlicher Farbgebung abgeschätzt werden.

Ausblick

Mit dem vorgestellten 3D-Laserscanner ist es möglich, flächig ausgedehnte Objekte oder Oberflächen mit einer Maximalausdehnung von $800 \cdot 1000 \cdot 180$ mm (L•B•H) zu vermessen. In Vorversuchen konnte die Funktion dieser Messeinrichtung geprüft und verbessert werden. Neben der vorgegebenen Nutzung als Profildruckscanner kann diese Messeinrichtung auch zur Vermessung zahlreicher anderer Objekte und Oberflächen verwendet werden.

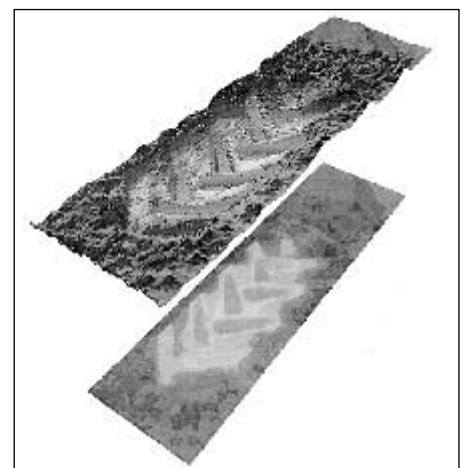


Bild 4: 3D-Abbildung mit 2D-Projektion eines Profildrucks

Fig. 4: 3D image and 2D projection of a profil imprint