

Georg Happich, Thorsten Lang und Hans-Heinrich Harms

Modellierung landwirtschaftlicher Schüttgüter für den mobilen Einsatz

Ziel des im Folgenden vorgestellten modellbasierten Ansatzes ist es, die Fahrer selbstfahrender Erntemaschinen bei steigenden Leistungen im Parallelbetrieb zu entlasten. Es soll der Beladungszustand überwacht und dadurch der Überladeprozess automatisiert werden. Gerade in Bezug auf die zum Teil widrigen Einsatzbedingungen und dem damit einhergehenden schwierigen Einsatz rechnergestützter visueller Überwachung könnten modellbasierte Beladungs- und Überladestrategien eine wichtige Schlüsselrolle einnehmen. In diesem Artikel werden die Modellierungsansätze der Beladung sowie grundlegende Projektinhalte des von der Deutschen Forschungsgesellschaft geförderten Projekts „Modellbasierte Beladung landwirtschaftlicher Anhänger“ vorgestellt.

Schlüsselwörter

GPS-Positionierung, Krümmersteuerung, Überladeprozess, Schüttgutmodell, Beladungsmodell, Kooperierender Maschinenbetrieb

overview of the loading model approaches developed during the research project 'model based loading of agricultural trailers', which is promoted by the German Research Foundation.

Keywords

GPS-based position control, spout control, overloading process, bulk heap software model, loading process model, cooperating machinery

Abstract

Happich, Georg; Lang, Thorsten and Harms, Hans-Heinrich

Modelling agricultural crop for mobile applications

Landtechnik 65 (2010), no. 6, pp. 460-463, 4 figures, 11 references

At the current state the performance of self propelled harvesting machines is still being improved. Accordingly the strain for the drivers of harvesting machines and transport units is rising. With the aim to relieve the driver's condition a model based approach has been analysed. The approach enables the automation of the loading process by the model based monitoring of the loading state. Concerning that the partly adverse harvesting conditions reduce the efficiency of computerized vision based monitoring, model based loading might have the ability to play a future key role. This paper derives an

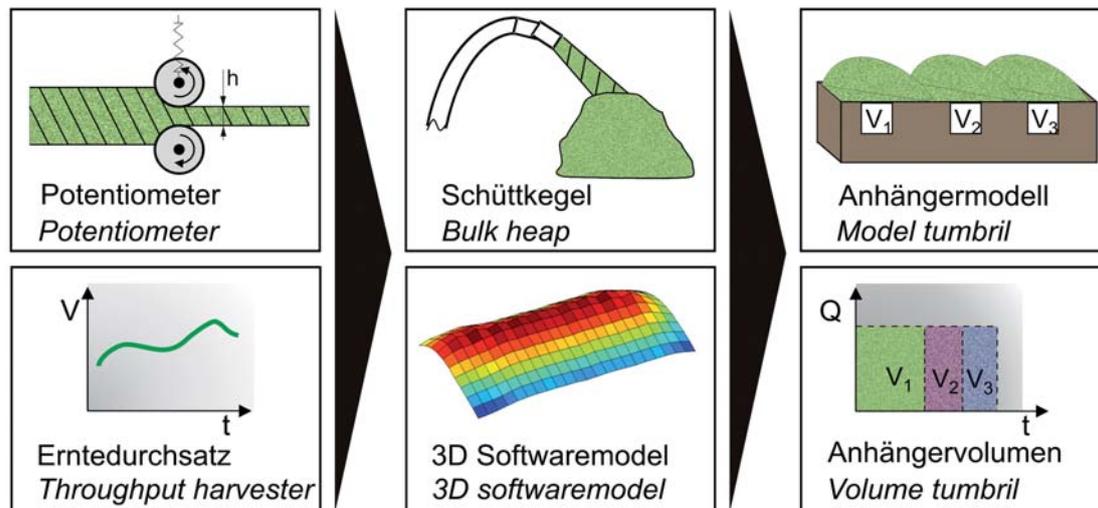
■ In der Landtechnik geht der Trend hin zu leistungsstärkeren Erntemaschinen mit gesteigertem Maximaldurchsatz und zunehmenden Arbeitsbreiten. Diese werden gleichzeitig immer teurer in der Anschaffung. Daher müssen sie, um nachhaltig profitabel zu arbeiten, mit der effizientesten Maschinenkonfiguration und über den größtmöglichen Zeitraum während einer Kampagne betrieben werden.

Im Parallelverfahren, also dem parallelen Betrieb von Erntemaschine, z. B. einem Feldhäcksler und einer Transporteinheit, stellt die Güte des Überladevorgangs eine weitere signifikante Größe zur Beurteilung der gesamten Prozesseffizienz dar. Die Aufmerksamkeit der Maschinenbediener wird doppelt, zum einem vom Arbeitsprozess, zum anderem aber auch vom Überladeprozess, beansprucht. Beide Maschinen müssen geführt werden ohne zu kollidieren. Außerdem sind zur optimalen Auslastung lange Betriebszeiten, z. T. mit Nachtbetrieb, erforderlich, die den Maschinenbediener zusätzlich ermüden. Weitere ergonomische Belastungsfaktoren durch die immer größer werdenden Maschinen sind die schlechte Einsehbarkeit (optische Kontrolle der Arbeitsqualität) und die steigende Arbeitsgeschwindigkeiten [1; 2].

Modellbasierte Beladungssteuerung für landwirtschaftliche Güter

Immer mehr Sensoren kommen in Erntemaschinen zur Anwendung [3; 4]. In Bezug auf die Einführung der automatischen Lageregelung des Auswurfkrümmers [5; 6] stellt es einen kon-

Abb. 1



Aufbau modellbasierter Beladung landwirtschaftlicher Anhänger
 Fig. 1: Set up of model based loading of agricultural trailers

sekutiven Fortschritt dar, die Beladungspunktsteuerung eines Feldhäckslers derart zu erweitern, dass die Beladung ohne weiteren Eingriff der Maschinenführer gesteuert wird. Obwohl mittlerweile Lösungen am Markt erhältlich sind [6; 7], sind nach Graefe [8] systemunabhängig verfügbare, kostengünstige, kamerabasierte Sensorsysteme nur bedingt für den Einsatz in landwirtschaftlicher Umgebung geeignet. Seit 2007 wurde daher am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik ein Forschungsprojekt vorangetrieben, in dem die Entwicklung einer durchsatzabhängigen Beladung als Erweiterung des Assistenzsystems zur Überladung landwirtschaftlicher Güter (ASÜL) untersucht wird. Die wichtigsten Komponenten dieses modellbasierten Überladesystems sind die Ermittlung der Relativposition und der Positionssteuerung des Beladungspunktes. Die Funktionsweise der modellbasierten Beladungssteuerung wird in **Abbildung 1** schematisch dargestellt.

Sind die relative Lage der Fahrzeuge – Häcksler und Traktor – und die effektive Orientierung des Krümmers bekannt, kann der aktuelle Beladungspunkt berechnet werden. Mit einem Potentiometer wird die Auslenkung der Vorpresswalzen ermittelt, daraus wird der Volumenstrom des Gutes berechnet. Mittels eines Softwaremodells wird aus Durchsatz und Beladungspunkt der Beladungszustand auf dem Anhänger simuliert. Durch geeignete, strategisch sinnvolle Definitionen von Beladungspunkten werden diskrete Volumina gefüllt, bis der Anhänger gänzlich befüllt ist.

Mobiltaugliches Schüttkegel- und Beladungsmodell

Eine wichtige Teilaufgabe innerhalb des Forschungsvorhabens war die Entwicklung grundlegender Modelle von Schüttkegeln landwirtschaftlicher Güter. Als Referenzen wurden im Rahmen des Projektes erntebegleitend – also in realer Umgebung erzeugte – Schüttkegel unterschiedlicher Silagegüter analysiert. Aus den ermittelten Ergebnissen wurden drei qualitative Aus-

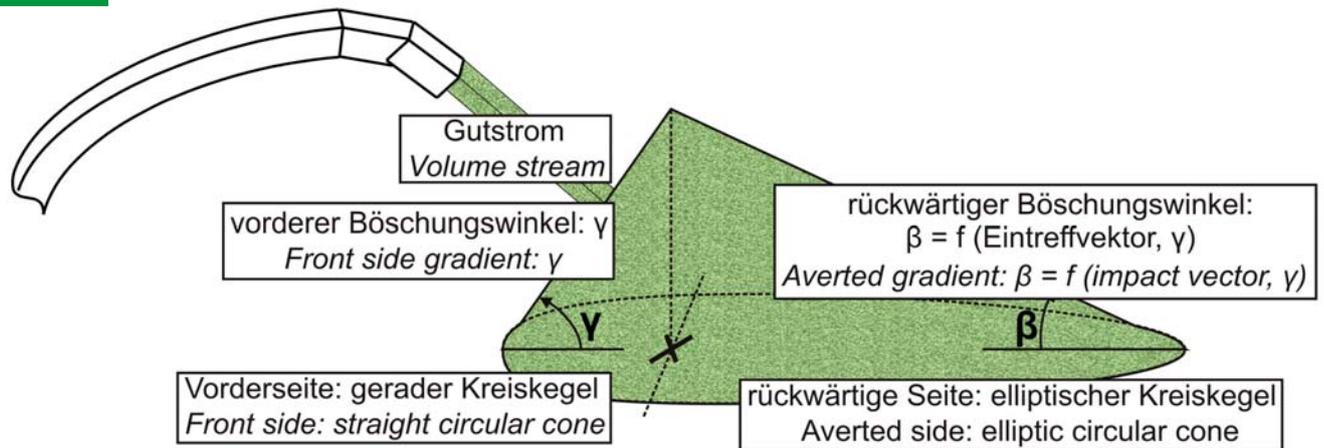
sagen für die Böschungswinkel und die Kegelausbildung im Ernteeinsatz formuliert [9]:

- Der Böschungswinkel an der Vorderseite des sich ausbildenden Schüttkegels ist stärker von den Materialeigenschaften als von dem Eintreffvektor beeinflusst. Er liegt in einem Bereich von 31 bis 40°.
- Der Böschungswinkel an der rückwärtigen Flanke des sich ausbildenden Schüttkegels ist sowohl von den Materialeigenschaften als auch von dem Eintreffvektor abhängig. Für höhere Eintreffvektoren oberhalb von 45° bildet sich eine Art gesättigter Böschungswinkel von 35 bis 40° aus.
- Die Verschiebung der Kegelspitze und der Einfluss des Böschungswinkels können nicht klar getrennt werden, weswegen für die Modellierung ein kombiniertes Konzept angestrebt werden muss.

In Anlehnung an Schulze und Landry [10; 11] wurde davon abgesehen, numerische Simulationsmethoden als Modellansatz für das automatische Überladen zu verwenden. Diese Modellansätze machen eine enorme Rechenleistung erforderlich, welche in der Regel nicht auf Erntemaschinen verfügbar ist. Im Verlauf des Projektes wurde daher ein Modellansatz weiterverfolgt, mit dem die Schüttkegel nur anhand ihrer räumlichen Ausdehnung durch elementare mathematische 3D-Funktionen wie Kegel, Hyperboloide und/oder hyperbolische Paraboloiden beschrieben werden. Vorteile dieses Ansatzes werden ebenfalls in [9] dargelegt. Um den Ergebnissen und Beobachtungen der Feldversuche Rechnung zu tragen, wurden zwei Funktionen implementiert, von denen die erste die geometrische Darstellung eines einzelnen Kegels beschreibt, die zweite hingegen definiert das generelle Aufbauverhalten sowie die Interaktion zwischen der bestehenden Beladung und dem kontinuierlich überladenen „virtuellen“ Schüttgut.

Die Geometrie eines Einzelschüttkegels wird in einem ersten Ansatz mit einem zweigeteilten Kreiskegel implementiert.

Abb. 2



Geometrische Definition eines Einzelschüttkegels
 Fig. 2: Geometrical definition of a single bulk heap

Entsprechend der Ergebnisse der Feldversuche und des gewählten Modellansatzes besteht dieser aus einem runden, also geraden Kreiskegel und einem elliptischen Kreiskegel (**Abbildung 2**). Der rückwärtige Böschungswinkel definiert sich aus dem Eintreffvektor des Gutstrahls und dem im Vorfeld definierten Böschungswinkel an der Vorderseite des Kegels.

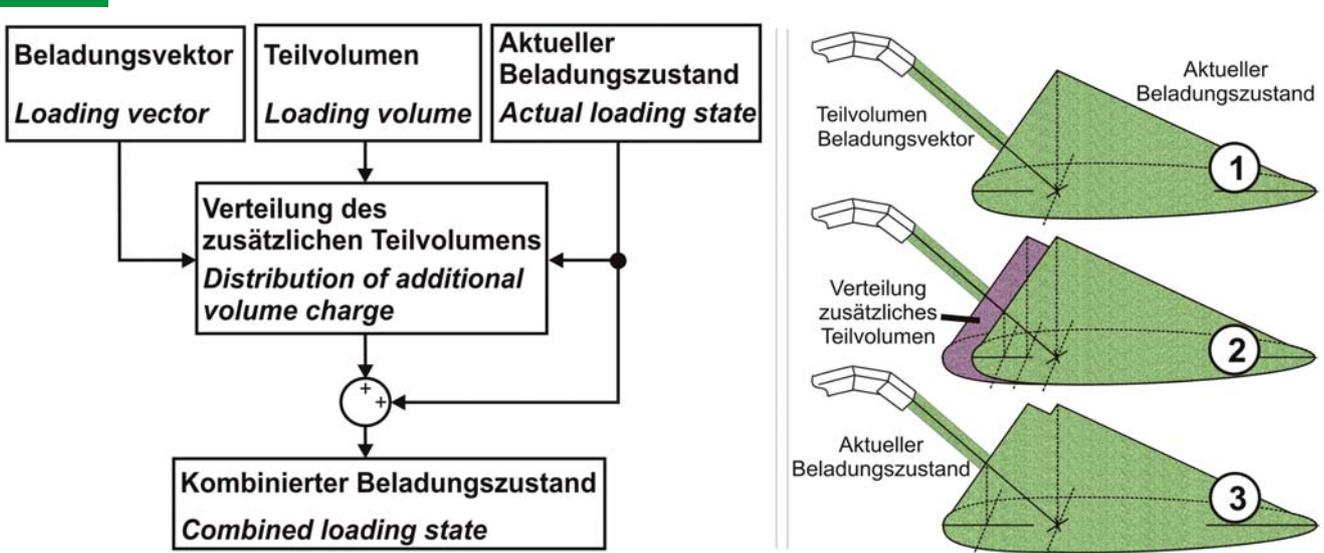
Für die Modellierung des Beladungszustandes wurde der kontinuierliche Gutfluss diskretisiert, d. h. es wurden diskrete Volumenanteile definiert und diese schrittweise dem Beladungszustand hinzugefügt. Für die Verteilung jedes diskreten Volumenanteils werden der Beladungsvektor, die Größe des diskreten Volumens sowie der aktuelle Beladungszustand analysiert. Aus den drei Eingangswerten wird entsprechend obiger Funktion die Verteilung des eintreffenden Volumenanteils ermittelt. Der aktuelle Beladungszustand ist in Form von Höhen-

profilen in Matrizen abgelegt. Durch Matrizen-Addition werden beide zu einem aktualisierten Beladungszustand verknüpft (**Abbildung 3**). Vorteil dieses Konzeptes ist, dass der kontinuierliche Aufbau des Beladungszustandes unabhängig von der Größe der Volumenanteile oder Veränderung des Beladungspunktes gewährleistet wird.

Verifikation des Schüttkegel- und Beladungsmodells

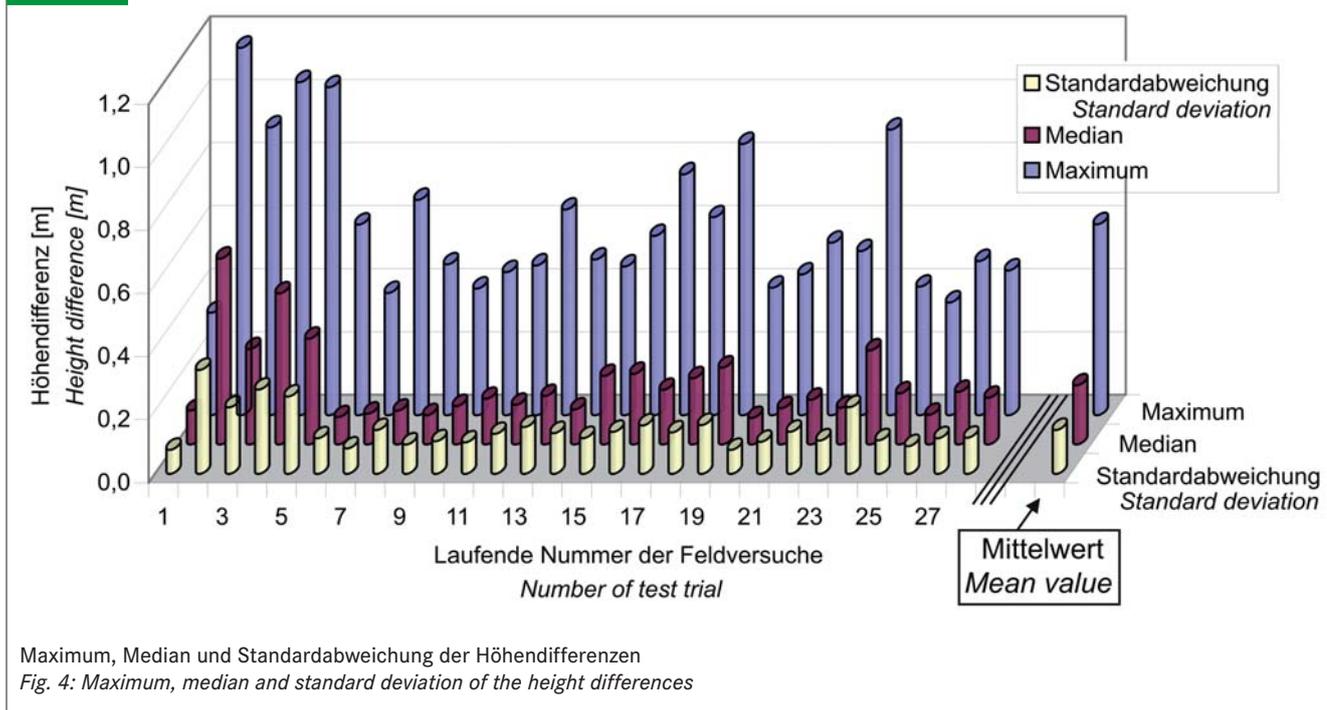
Im Rahmen der Modellverifikation wurden in realer Umgebung Feldversuche durchgeführt. Modell und reale Verteilung wurden dahingehend analysiert, dass an den definierten Stützstellen des Modells die Höhe der Beladung ermittelt wurde. Es wurden die Maximalabweichungen, der Median wie auch die Standardabweichungen der Höhendifferenz zwischen Modell und realer Verteilung gebildet. Zusätzlich wurde über die Anzahl der aus-

Abb. 3



Definition des diskretisierten Beladungszustandes
 Fig. 3: Discrete loading state definition

Abb. 4



gewerteten Versuche der Mittelwert der jeweils aufgeführten Werte gebildet (**Abbildung 4**). In den ausgewählten Versuchen liegt die maximale Abweichung über alle Versuche bei 1,13 m. Ausgehend von der bei allen analysierten Versuchen vergleichbaren Maximalhöhe der Beladung von 1,5 m – gemessen von der Anhänger-Grundfläche – entspricht dieses Ergebnis einer Abweichung von über 75 %. Die über alle Versuche gemittelte maximale Abweichung von ca. 60 cm entspricht immer noch einer Maximalabweichung von ca. 40 %. Allerdings lassen der mittlere Median, also der über alle Versuche gemittelte Median der Höhendifferenz sowie die mittlere Standardabweichung eine adäquate Verteilung vermuten. Die Standardabweichung beträgt knapp 17 cm, also knapp über 10 %; der mittlere Median der Höhenabweichung liegt bei 21 cm, also im Bereich von knapp unter 15 %. In Anbetracht der Einfachheit des Modellansatzes als zweigeteilter spitzer Kegel kann daraus geschlossen werden, dass Modell und Realität in den ausgewerteten Versuchen insgesamt eine akzeptable Übereinstimmung aufweisen.

Schlussfolgerungen

Am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig wurde mit dem ASÜL ein Assistenzsystem zur Überladung entwickelt. Im konsekutiv aufgebauten Forschungsvorhaben „modellbasierte Beladung landwirtschaftlicher Anhänger“ wurden unter anderem spezielle Schüttkegel- und Beladungsmodelle erstellt, die den Anforderungen für den Einsatz in modernen Erntemaschinen gerecht werden. Eine erste Verifikation zeigt, dass trotz eines sehr einfach gehaltenen Modellansatzes schon grundsätzlich gute Darstellungen des überladenen Schüttguts vorgenommen werden konnten.

Literatur

- [1] Buckmaster, D. R.; Hilton, J. W. (2005): Computerized cycle analysis of harvest, transport and unload systems. *Computers and Electronics in Agriculture* 47 (2), pp. 137–147
- [2] Wallmann, G.; Harms, H.-H. (2002): Assistenzsystem zur Überladung landwirtschaftlicher Güter. *Landtechnik* 57 (6), S. 352–353
- [3] Krallmann, J.; Foelster, N. (2002): Remote service systems for agricultural machinery. *Automation for Offroad Equipment*, Chicago, 2002. Proceedings Published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan, US, pp. 59–68
- [4] Amiana, C.; Bueno, J.; Álvarez, C. J.; Pereira, J. M. (2008): Design and field test of an automatic data acquisition system in a self propelled forage harvester. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61 (2), pp. 192–200
- [5] Weltzien, C. (2009): Assistenzsystem für den Überladevorgang bei einem selbstfahrenden Feldhäcksler. Dissertation. Forschungsberichte des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik, Shaker Verlag, Aachen
- [6] Kirchbeck, A.; Lahmann, D. (2010): Automatisierungsbeispiel: Bildgebende Systeme im Feldhäcksler. *KTBL-Tagung Automatisierung und Roboter in der Landwirtschaft*, 21. bis 22. April 2010, Erfurt, S. 110–116
- [7] Madsen, T. E.; Kirk, K.; Blas, M. R. (2009): 3-D-camera for forager automation. *67th Conference Agricultural Engineering LAND. TECHNIK AgEng 2009*, VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 147–152
- [8] Graefe, F.; Schumacher, W.; Feitosa, R. Q.; Duarte, D. M. (2005): FILLED - A Video data based fill level detection of agricultural bulk freight, *ICINCO 2005*, Proceedings 3, pp. 439–442
- [9] Happich, G.; Lang, T.; Harms, H.-H. (2009): Loading of Agricultural Trailers Using a Model-Based Method. *Agricultural Engineering International: The CIGR E-Journal*, 11, Manuscript no. 1187
- [10] Schulze, D. (2002): Fließigenschaften von Schüttgütern mit faser- und plättchenförmigen Partikeln. *Schüttgut* 8 (6), S. 538–546
- [11] Landry, H.; Thirion, F.; Lagüe, C.; Roberge, M. (2006): Numerical modelling of the flow of organic fertilizers in land application equipment. *Computers and Electronics in Agriculture* 51 (1-2), pp. 35–53

Autoren

Dipl.-Ing. Georg Happich ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, **Prof. Dr.-Ing. Thorsten Lang** ist kommissarischer Leiter des Instituts für Landmaschinen und Fluidtechnik (ILF) der TU Braunschweig, (ehemaliger Leiter **Prof. Dr.-Ing. H.-H. Harms**), Langer Kamp 19 a, 38106 Braunschweig, E-Mail: g.happich@tu-bs.de