

Georg Happich, Hans-Heinrich Harms und Thorsten Lang

Schüttkegel- und Beladungsmodelle für das automatische Überladen

Bei großen Erntemaschinen steht neben der maximalen Auslastung der Maschine die Minimierung der Verluste bei Überladeprozessen im Vordergrund. Assistenzsysteme zur Überladung können, besonders für ungeübte Bediener, eine starke Arbeitserleichterung darstellen. Im Zusammenhang mit einer automatisierten Überladeassistentz erweist sich die rechnergestützte visuelle Überwachung des Beladungszustandes aufgrund der zum Teil widrigen landwirtschaftlichen Randbedingungen als schwierig, daher kann eine modellbasierte Beladungs- und Überladestrategie eine wichtige Schlüsselrolle einnehmen. In diesem Artikel werden die Softwareansätze für das von der Deutschen Forschungsgesellschaft geförderte Projekt „Modellbasierte Beladung landwirtschaftlicher Anhänger“ sowie die Projektinhalte vorgestellt.

Schlüsselwörter

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

Keywords

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

Abstract

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

Bulk heap and loading state models for automated parallel loading

Landtechnik 64 (2009), no. 4, pp. 264 - 267, 3 figures, 8 references

In large harvesting machines, the focus is on the minimization of losses during overloading processes as well as the maximum exploitation of machine capacity. Assistance systems for overloading can facilitate work considerably in particular for unexperienced operators. With regard to automated overloading assistance, the computer-based visual monitoring of the loading status proves difficult due to the often adverse agricultural marginal conditions. Therefore, a model-based loading and overloading strategy can play a key role. This paper derives an overview of the software approaches developed during the research project 'model based loading of agricultural trailers', which is promoted by the German Research Foundation.

■ In der Landtechnik geht der Trend zu leistungsstärkeren Erntemaschinen mit gesteigertem Maximaldurchsatz und zunehmenden Arbeitsbreiten. Die erhöhten Anforderungen an die Maschinen gehen mit einem höheren Investitionsaufwand für diese Maschinen einher. Um weiterhin und nachhaltig wirtschaftlich profitabel arbeiten zu können, müssen große Erntemaschinen

- mit der effizientesten Maschinenkonfiguration und
- über den größtmöglichen Zeitraum während einer Kampagne

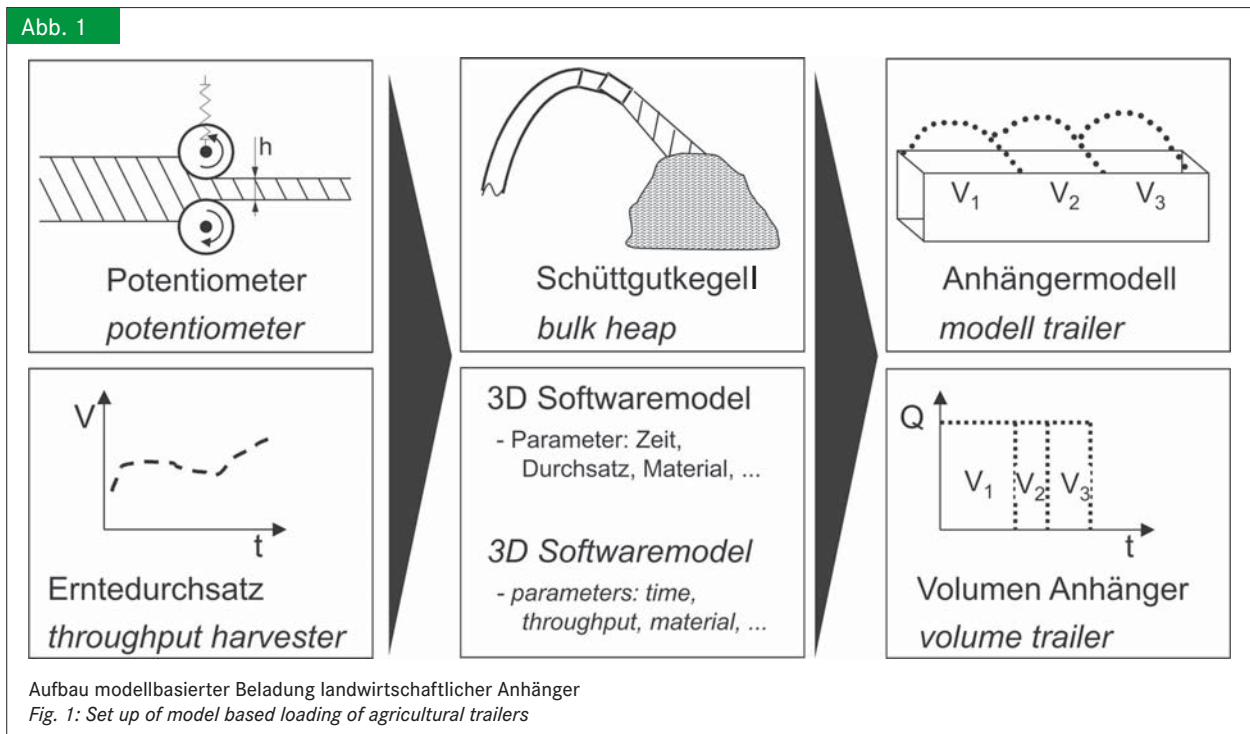
betrieben werden. Werden die Erntemaschine und die Transporteinheit – in der Regel Traktoren mit Anhängern – wie z.B. bei einem selbstfahrenden Feldhäcksler parallel betrieben, so stellt die Güte des Überladeprozesses eine weitere signifikante Größe zur Beurteilung der gesamten Prozesseffizienz dar. Die Aufmerksamkeit der Maschinenbediener muss daher zum einem dem Arbeitsprozess, zum anderem aber auch dem Überladeprozess gelten. Ferner müssen Maschinenkollisionen unbedingt vermieden werden. Diese Aufmerksamkeitsteilung wird dadurch verschärft, dass zur optimalen Auslastung lange Betriebszeiten z.T. mit Nachtbetrieb erforderlich sind, die den Maschinenbediener zusätzlich ermüden. Zudem werden steigende Arbeitsgeschwindigkeiten und der Einsatz größerer Transporteinheiten angestrebt. [1; 2]

Assistenzsystem zum Überladen Landwirtschaftlicher Güter (ASÜL)

Um den angesprochenen Problemen zu begegnen, wurde am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik (ILF) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Regelungstechnik (IfR) der Technischen Universität Braunschweig aufbauend auf einem selbstfahrenden Feldhäcksler und einem Traktor ein Assi-



Abb. 1



stanzsystem zur Überladung landwirtschaftlicher Güter entwickelt. Durch die GPS-basierte Ermittlung der Relativposition von Selbstfahrer und Traktor ermöglicht der Prototyp eine über die Krümmeraktork ausgeführte Positionssteuerung des Beladungspunktes. Das System erreicht eine Positionsgenauigkeit des Beladungspunktes von $\pm 50\text{cm}$. Die Entwicklung des ASÜL wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

Modellbasierte Beladungssteuerung für landwirtschaftliche Güter

Die Anzahl an eingesetzten Sensoren im Bereich der Erntemaschinen weist eine steigende Tendenz auf [3; 4; 5]. Nach [6] sind kostengünstige kamerabasierte Sensorsysteme nur be-

dingt für den Einsatz in landwirtschaftlicher Umgebung geeignet. In Bezug auf die Automatisierung des Überladevorgangs stellt es dennoch einen konsekutiven Fortschritt dar, die Beladungspunktsteuerung des ASÜL logisch zu erweitern, sodass die Beladung ohne weiteren Eingriff der Maschinenführer gesteuert wird. Daher wurde am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik im Jahr 2007 ein Forschungsprojekt initiiert, in dem die Entwicklung einer durchsatzabhängigen Beladung als Erweiterung des ASÜL untersucht wird.

Aufbau von modellbasierten Beladungssteuerungen

Die wichtigsten Komponenten des modellbasierten Überladesystems sind Teile des ASÜL, z.B. die Ermittlung der Relativposi-

Abb. 2

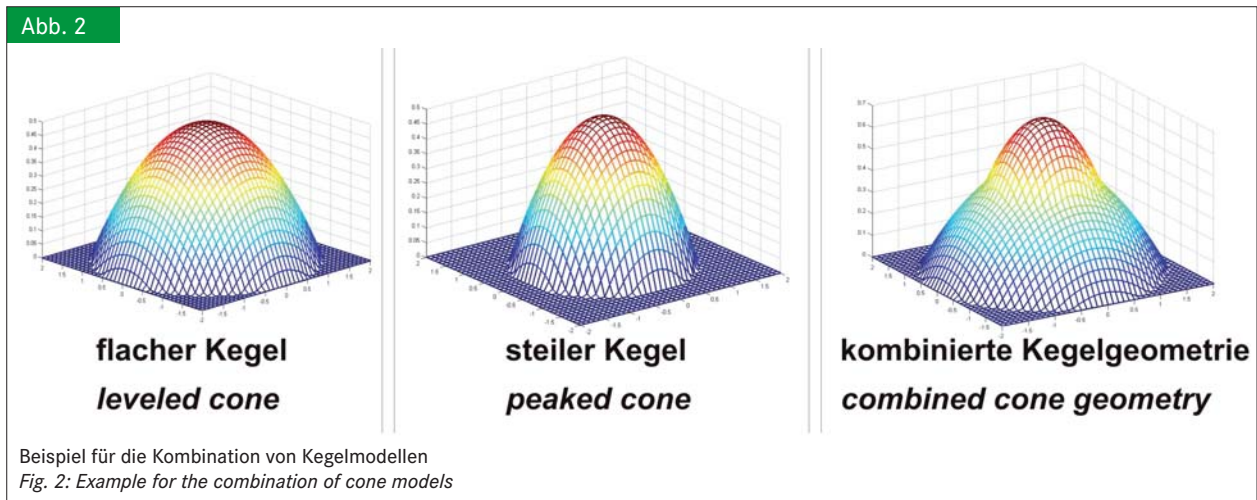
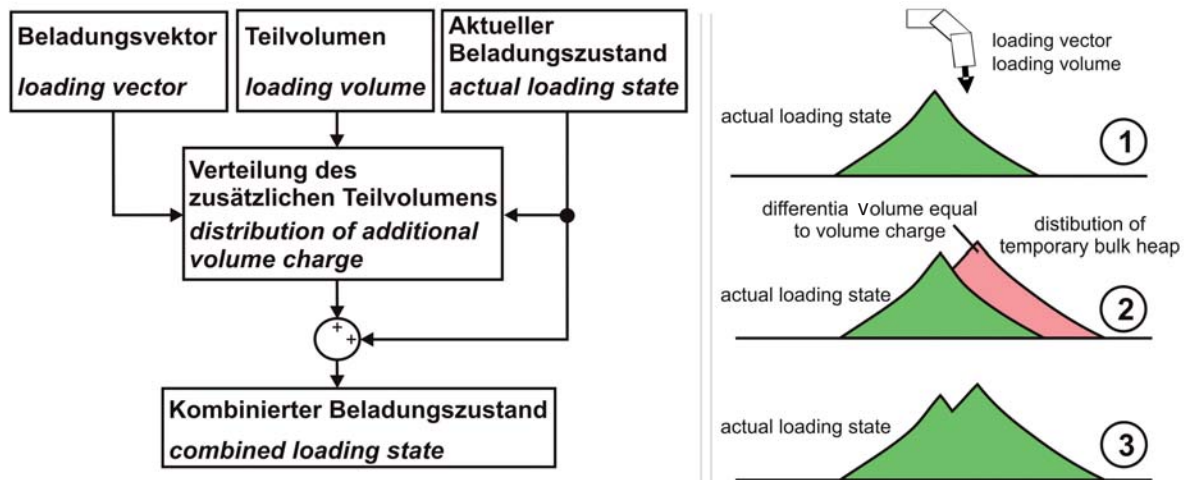


Abb. 3



Definition des Beladungszustands
Fig. 3: Definition of the loading state

tion und der Positionssteuerung des Beladungspunktes. Diese werden durch vom Erntedurchsatz abhängige Beladungsstrategien erweitert. 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, unter Zuhilfenahme der Gutkanalgeometrie werden der Volumen- und der Massestrom des Gutes festgestellt. Mittels eines zu entwickelnden Softwaremodells wird aus Durchsatz und Beladungspunkt der Beladungszustand auf dem Anhänger simuliert.

Der Anhänger wird in diskrete Teilvolumina unterteilt, die durch eine geeignete, strategisch sinnvolle Definition von Beladungspunkten gefüllt werden können bis der Anhänger gänzlich befüllt ist. Die funktionsweise modellbasierter Beladungssteuerungen wird in **Abbildung 1** schematisch dargestellt.

Mobiltaugliche Schüttkegelmodelle landwirtschaftlicher Güter

Eine wichtige Teilaufgabe innerhalb des Forschungsvorhabens „modellbasierte Beladung landwirtschaftlicher Anhänger“ ist die Entwicklung grundlegender Softwaremodelle von Schüttkegeln landwirtschaftlicher Güter. Als Referenz zum Softwaremodell werden im Rahmen des Projektes erntebegleitend – also in realer Umgebung erzeugte – Schüttkegel unterschiedlicher Silagegüter aufgenommen. Die vier wichtigsten ermittelbaren und im Softwaremodell zu verwirklichenden Parameter sind der Böschungswinkel unterschiedlicher Schüttgüter in zumindest vier Raumrichtungen, die geometrische Form der Schüttkegel sowie der Schüttkegelaufbau, also das zeitliche Verhalten des Kegels während der Kegelbildung und die Interaktion zwischen einzelnen Schüttkegeln.

In Anlehnung an Schulze und Landry in [8; 9] wurde aufgrund der Heterogenität der Schüttgüter davon abgesehen, numerische Simulationen – z.B. Diskrete Elemente Methode oder Computational Fluid Dynamics – als Modellansatz für das automatische Überladen zu verwenden. Diese Modellansätze würden eine enorme Rechenleistung erforderlich machen, welche in der Regel nicht auf Erntemaschinen verfügbar ist. Im Verlauf des Projektes wurden unterschiedliche Modellansätze bezüglich ihrer Eignung im mobilen Einsatz analysiert, von denen einer detailliert weiterverfolgt wurde. Dieser Ansatz sieht vor, die Schüttkegel nur anhand ihrer räumlichen Ausdehnung durch elementare mathematische 3D-Funktionen wie Kegel, Hyperboloide und/oder hyperbolische Paraboloiden zu beschreiben. Die größten Vorteile dieses Ansatzes sind folgende:

- Die Funktionen sind allgemein bekannt und leicht aufzustellen.
- Die Funktionen sind einfach zu implementieren und zu verändern.
- Die Funktionen sind stetig und die für ihre Berechnung benötigte Rechenzeit und -leistung sind gering.
- Die Funktionen sind einfach zu kombinieren, sodass auch relativ komplexe Oberflächengeometrien einfach zu erzeugen sind (**Abbildung 2**).

Definition des Beladungszustands landwirtschaftlicher Anhänger

Neben der geometrischen Modellierung der Schüttgutkegel ist die Definition des temporären Beladungszustandes ein weiteres essentielles Element des Softwarekonzepts zum automatischen Überladen. In der Definition des Beladungszustandes ist der temporäre Aufbau der Beladung in Form der Interaktion zwischen festgelegten Kegelmodellen beschrieben (**Abbildung 3**). Dafür wird zum einen der aus der Krümmerstellung und den



Relativpositionen der Fahrzeuge bestimmter Beladungsvektor sowie ein vordefiniertes diskretes (Teil-)Beladungsvolumen betrachtet. Zum anderen muss zwangsläufig der als aktuell definierte Beladungszustand mit einbezogen werden. Aus diesen drei Eingangswerten kann unter Berücksichtigung des oben genannten Schüttkegelmodells die Verteilung des zusätzlichen (Teil-)Beladungsvolumen kalkuliert werden. Der aktuelle Beladungszustand sowie die Verteilung des zusätzlichen Volumens sind dem Schüttkegelmodell entsprechend in einer 2D Matrix abgelegt. Diese ist dergestalt aufgebaut, dass die Maße der realen Transporteinheit in einem Raster nachgebildet werden, wobei jedem Rasterpunkt der Matrix die dem Beladungszustand entsprechenden Beladungshöhe zugeordnet wird.

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 u. a. spezielle Schüttkegel- und Beladungsmodelle erstellt, die den Anforderungen für den Einsatz in modernen Erntemaschinen gerecht werden. Momentan werden unter Berücksichtigung der Modelle Feldversuche durchgeführt, in denen die Beladung automatisch vollzogen wird. Neben der Funktionalität des Systems werden in diesem Rah-

men die Schüttkegel- und Beladungsmodelle weiter verifiziert.

Literatur

- [1] Buckmaster, D. R.; Hilton J. W.: Computerized cycle analysis of harvest, transport and unload systems. *Computers and Electronics in Agriculture* 47 (2005), pp. 137-147
- [2] Wallmann, G. und H.-H. Harms: Assistenzsystem zur Überladung landwirtschaftlicher Güter. *Landtechnik* 57, H.6 (2002), S. 352-353
- [3] Krallmann, J.; Foelster, N.: Remote service systems for agricultural machinery. *Proceedings of the July 2002 Conference of the ASAE, Chicago, Illinois, July 26 - 27 (2002)*, pp. 689-694
- [4] Produktivität zählt. Broschüre zum Claas Lexion 580 570 570 C Mähdröschler, Stand Dezember 2008, S. 18 und 35
- [5] Amiana, C.; Bueno, J.; Álvarez, C. J.; Pereira, J. M.: Design and field test of an automatic data acquisition system in a self propelled forage harvester. *Computers and Electronics in Agriculture* 61 (2008), pp. 192-200
- [6] Graefe, F.; Schumacher, W.; Feitosa, R. Q.; Duarte, D. M.: FILLED – A Video data based fill level detection of agricultural bulk freight. *ICINCO 2005 Proceedings Vol. III (2005)*
- [7] Schulze, D.: Fließeigenschaften von Schüttgütern mit faser- und plättchenförmigen Partikeln. *Schüttgut* 8, H. 6 (2002), S. 538-546
- [8] Landry, H.; Thirion, F.; Lagüe, C.; Roberge, M.: Numerical modelling of the flow of organic fertilizers in land application equipment. *Computers and Electronics in Agriculture* 51 (2006), pp. 35-53

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms ist Leiter des Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik (ILF) der TU Braunschweig, Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig, E-Mail: h.harms@tu-bs.de

PD Dr.-Ing. Thorsten Lang ist Privatdozent am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik (ILF) der TU Braunschweig, E-Mail: t.lang@tu-bs.de

Dipl.-Ing. Georg Happich ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik (ILF) der TU Braunschweig, E-Mail: g.happich@tu-bs.de

