

# Modellbasierte Steuerung beim Überladen landwirtschaftlicher Güter

Bei großen Erntemaschinen steht neben der maximalen Auslastung der Maschine die Minimierung der Verluste bei Überladeprozessen im Vordergrund. Assistenzsysteme zur Überladung können für – gerade ungeübte – Bediener eine starke Arbeiterleichterung 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 Beitrag wird das von der Deutschen Forschungsgesellschaft geförderte Projekt „Modellbasierte Beladung landwirtschaftlicher Anhänger“ vorgestellt.

Dipl.-Ing. Georg Happich ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik (ILF) der TU Braunschweig (Leitung Prof. Dr.-Ing. H.-H. Harms), Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig; e-mail: [g.happich@tu-bs.de](mailto:g.happich@tu-bs.de)

## Schlüsselwörter

Krümmensteuerung, Überladeprozess, Schüttgutmodell, GPS-Positionsregelung

## Keywords

Spout control, precision overloading, bulk heap software model, GPS based position control

## Literatur

Literaturhinweise finden sich unter LT 08409 über Internet [www.landtechnik-net.de/literatur.htm](http://www.landtechnik-net.de/literatur.htm).

**Bild 1: Eingeschränkte Sicht in die Transporteinheit bei paralleler Prozessführung**

**Fig. 1: Limited visibility during parallel operation**



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 zum Beispiel 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 einen dem Arbeitsprozess, zum anderen aber auch dem Überladeprozess gelten. Ferner müssen Maschinenkollisionen unbedingt vermieden werden. Diese Aufmerksamkeitsteilung wird dadurch verschärft, dass zur optimalen Auslastung lange Betriebszeiten – teilweise mit Nachtbetrieb – erforderlich sind, die den Maschinenbediener zusätzlich ermüden. Im Zusammenhang mit den größer werdenden Abmaßen sowohl der Maschinen als auch der Transporteinheiten stellt die schlechte Einsehbarkeit ein weiteres Problem dar (Bild 1).

## Assistenzsystem zum Überladen landwirtschaftlicher Güter (ASÜL)

Um den in der Einleitung 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 Assistenzsystem zum Überladen von landwirtschaftlichen Gütern entwickelt. Durch die GPS-basierte Ermittlung der Relativposition von Selbstfahrer und Traktor ermöglicht der Prototyp eine über die Krümmerraktorik ausgeführte Positionsregelung des Beladungspunktes. Das System erreicht eine Positionsgenauigkeit des Beladungspunktes von 50 cm.

## Modellbasierte Beladungssteuerung für landwirtschaftliche Güter

Im Laufe der Entwicklung des ASÜL wurden zur Einschätzung des Automatisierungspotenzials zeitabhängige Beladungsstrategien aufgestellt. Diese erlauben die kontinuierliche Befüllung der Anhänger. Allerdings ergeben sich zwei einer effizienten Automatisierung grundlegend widersprechende Probleme [1, 2, 3]:

- Das kontinuierliche Befüllen der Anhänger ist nur solange möglich, bis die Beladung die Oberkante der Bordwand erreicht hat.
- Aufgrund des kontinuierlichen, zeitabhängigen Wechsels des Beladungspunktes entsteht eine inakzeptable physische Mehrbelastung, sowohl für den Fahrer des Häckslers als auch für den Traktorfahrer.

Um die Nachteile zeitabhängiger Beladungsstrategien zu verringern und dennoch die Automatisierung des Überladens oder der Beladung zu realisieren, muss der Beladungszustand des landwirtschaftlichen An-

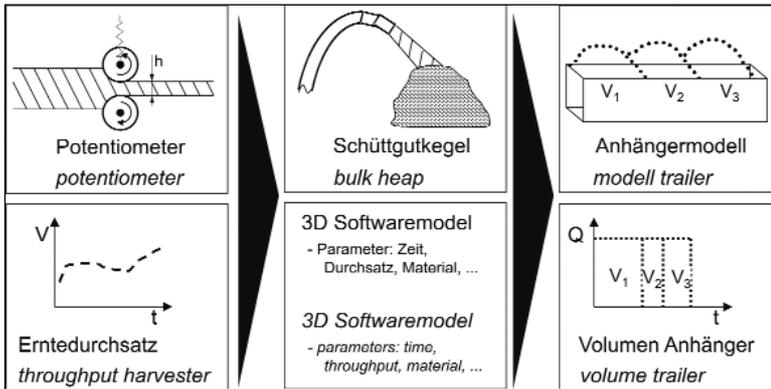


Bild 2: Aufbau modellbasierter Beladung landwirtschaftlicher Anhänger

Fig. 2: Set up of model based loading of agricultural trailers

hängers beachtet werden. Die rechnergestützte visuelle Erfassung mit Hilfe der Bilderkennung erweist sich aufgrund des landwirtschaftlichen Umfelds als äußerst schwierig, da der Gutstrom selbst sowie Staub und wechselnde Licht- und Farbverhältnisse die Bilderfassung stören. Die Entwicklung modellbasierter Beladungssteuerungen stellt damit den in der Folge nächsten Schritt in der Entwicklung einer Überladeautomatisierung dar [3].

### Aufbau modellbasierter Beladungssteuerungen

Die wichtigsten Komponenten des modellbasierten Überladesystems und damit der modellbasierten Beladungssteuerung sind Teile des ASÜL wie die Ermittlung der Relativposition und der Positionsregelung 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.

Die Funktionsweise modellbasierter Beladungssteuerungen wird in Bild 2 schematisch dargestellt.

Mit einem Potentiometer wird die Auslenkung der Vorpresswalzen ermittelt, unter Zuhilfenahme der Gutkanalgeometrie werden der Volumen- und der Massestrom des Gutes festgestellt. Mit Hilfe eines zu entwickelnden Softwaremodells wird aus Durchsatz und Beladungspunkt der Beladungszustand auf dem Anhänger simuliert.

Der Anhänger wird in diskrete Teilvolumina unterteilt, die durch geeignete, strategisch sinnvolle Definition von Beladungspunkten gefüllt werden können, bis der Anhänger gänzlich befüllt ist.

### Entwicklung von Schüttkegelmodellen landwirtschaftlicher Güter

Eine der wichtigsten Teilaufgaben 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 Ernte begleitend - also in realer Umgebung erzeugte - Schüttkegel unterschiedlicher Silagegüter aufgenommen. Die vier wichtigsten zu ermittelnden und im Softwaremodell zu verwirklichenden Parameter sind:

- der Böschungswinkel unterschiedlicher Schüttgüter in zumindest vier Raumrichtungen,
- die geometrische Form der Schüttkegel,
- der Schüttkegelaufbau, also das zeitliche Verhalten des Kegels während der Kegelbildung,
- die Interaktion zwischen einzelnen Schüttgutkegeln.

Nach Schulz [4] ist davon auszugehen, dass mit sinkender Homogenität von Schüttgütern die Inhomogenität der inneren Reibung stark zunimmt. Eine Modellierung oder auch nur eine Annäherung des Beladungszustandes des landwirtschaftlichen Anhängers durch DEM (Diskrete Elemente Methodik, ein spezielles numerisches Berechnungsverfahren) würde seinen Untersuchungen entsprechend eine enorme Rechenleistung erforderlich machen, die in der Regel nicht auf landwirtschaftlichen Maschinen zur Verfügung gestellt werden kann. Basierend auf diesen Untersuchungen werden physikalische Effekte wie innere Reibungszustände und daraus resultierende Kräftegleichgewichte in diesem Projekt nicht berücksichtigt, eine Modellierung mit den in der Verfahrenstechnik angewendeten Methoden DEM oder CFD (Computational Fluid Dynamics, Numerische Strömungssimulation) ist im Rahmen des Projektes nicht vorgesehen.

Insofern lassen sich für die programmier-technische Modellierung der Schüttgutkegel zunächst zwei Ansätze formulieren, die an dieser Stelle allerdings nur grundlegend beschrieben werden können. Zum einen ist eine Abbildung der Schüttgutkegel durch elementare räumliche mathematische Funktionen wie Ellipsoide, Hyperboloide oder hyperbolische Paraboloide möglich. Ein

großer Vorteil dieses Ansatzes ist, dass elementare räumliche Funktionen auf einfache Art in einen Programmcode implementiert, verändert oder variiert werden können. Nachteilig wirkt sich aus, dass die relativ strikten Funktionsbeschreibungen die Verhältnisse und Einflüsse nicht abbilden, die auf einen realen Schüttgutkegel wirken. Allerdings besteht die theoretische Möglichkeit, die elementaren Funktionen mit gewichteten räumlichen Beschreibungen (2D- oder 3D-Matrizen) zu überlagern, um sowohl den temporären Aufbau als auch den effektiven Beladungszustand der Realität anzugleichen. Zusätzlich müssen in jedem Fall die Interaktionen zwischen verschiedenen Schüttgutkegeln abgebildet werden.

Als zweiter Ansatz zur Annäherung der Schüttgutkegel besteht die Möglichkeit, den Beladungsprozess räumlich nachzubilden, indem zum Beispiel in einem Programm nachgebildete inkrementale Volumina virtuell befüllt werden oder 3D-Matrizen Schritt für Schritt dem Beladungszustand entsprechend definiert werden. Die Implementierung kann sowohl iterativ als auch rekursiv durchgeführt werden. Rekursive Programmstrukturen verfügen gegenüber iterativen Strukturen über den Vorteil, dass sie kompakter, relativ übersichtlich zu implementieren und daher auch einfacher zu ändern sind. Rekursive Strukturen eignen sich im Besonderen dann, wenn gleiche oder ähnliche Abläufe in wiederkehrenden und sich bedingenden Abfolgen auftreten. Iterative Programmstrukturen sind gegenüber rekursiven Strukturen ähnlicher Problemstellungen komplexer, da jede Entscheidung und Aktion iterativ definiert werden muss, obwohl ähnliche sich bedingende Entscheidungs- und Aktionsbäume existieren. Gegenüber rekursiven Strukturen sind iterative Lösungsansätze in der Regel schneller, da weniger Rechenleistung benötigt wird. Im Zuge der Entwicklung werden diese drei Ansätze zunächst weiter verfolgt, eine Bewertung ist zum heutigen Zeitpunkt noch nicht möglich.

### Zusammenfassung

Am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig wurde mit dem ASÜL ein Assistenzsystem zum Überladen entwickelt. Für die weitergehende Untersuchung des Automatisierungspotenzials des kontinuierlichen Überladeprozesses bei landwirtschaftlichen Maschinen werden in einem konsekutiven Forschungsvorhaben modellbasierte Beladungssteuerungen entwickelt und untersucht. Gerade für die Entwicklung von Schüttkegelmodellen landwirtschaftlicher Güter stehen Ansätze bereit, die im Zuge des Forschungsvorhabens weiter untersucht werden.

## Literatur

- [1] *Wallmann, G., und H.-H. Harms*: Assistenzsystem zur Überladung landwirtschaftlicher Güter. Landtechnik 57 (2002), H. 6, S. 352-353
- [2] *Weltzien, C., F. Graefe und H.-H. Harms*: Ein Assistenzsystem zur Überladung – Ergebnisse aus 2 Jahren Forschungsarbeit. Landtechnik 60 (2005), H. 6, S. 332-333
- [3] *Graefe, F., C. Weltzien, W. Schumacher und H.-H. Harms*: Füllstandsermittlung zur automatisierten Überladung bei selbstfahrenden Feldhäckslern. Beitrag im Tagungsband 63. VDI-MEG Jahrestagung Landtechnik, 4./5.11.2005, Hannover, VDI-Berichte, 2005
- [4] *Schulze, D.*: Fließeigenschaften von Schüttgütern mit faser- und plättchenförmigen Partikeln. Schüttgut 8 (2002), H. 6, S. 538-546