

Mähdrescher

Stefan Böttinger,

Institut für Agrartechnik, Fg. Grundlagen der Agrartechnik, Universität Hohenheim, Stuttgart

Kurzfassung

Die Mähdrescher-Märkte entwickeln sich nicht einheitlich. Die Hersteller weiten ihr Produktangebot nach unten und oben aus. Um die Grenzen des Größenwachstums zu umgehen, werden alternative Verfahrenskombinationen für die Getreideernte diskutiert. Mit Hilfe der Simulationstechnik lassen sich die Dresch-, Trenn-, Reinigungs- und Transportvorgänge in den Maschinen immer besser nachbilden. Durch weitere Entwicklungen im Bereich der Elektronik, Bedienung und Automatisierung können die Mähdrescher besser eingestellt und effizienter eingesetzt werden.

Schlüsselwörter

Mähdrescher, Marktentwicklung, Stoffeigenschaften, DEM, Automatisierung

Combine Harvester

Stefan Böttinger,

Institute of Agricultural Engineering, Fundamentals of Agricultural Engineering, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany

Abstract

The markets for combine harvesters do not develop uniformly. The manufacturers expand their product range in all classes. To overcome the limitations of the machine size, alternative combinations for the grain harvest are discussed. The simulation of the threshing, separation, cleaning and transport processes in the machines keeps getting better results. With further developments in the field of electronics, control and automation, the adjustments of the combine are getting easier and the use is more efficient.

Keywords

combine harvester, market development, crop properties, DEM, automation

Marktentwicklung

Die Absatzzahlen für Mähdrescher sind in den westeuropäischen Märkten 2010/2011 wieder deutlich angestiegen. Nach dem allgemeinen Einbruch 2009/2010 werden aber nicht mehr die Marktzahlen der vorherigen Jahre erreicht. Das Größenwachstum der Maschinen und damit einhergehend die Stückzahlreduzierung setzt sich in diesen Märkten fort. In Deutschland konnten 2010/2011 2 015, in Westeuropa insgesamt 6 850 Maschinen abgesetzt werden. In Nordamerika gab es dagegen keinen Markteinbruch, und mit 12 836 Maschinen wurden im dritten Jahr in Folge über 12 000 Einheiten verkauft, **Bild 1**. Der Mähdreschermarkt in Russland ging in den letzten Jahren um über 50 % zurück. Nach 8 934 Einheiten in 2008 konnten 2011 nur noch 4 256 Einheiten abgesetzt werden. In ähnlicher Stärke verringerten sich die russischen Importe. Überproportional hoch sind davon Maschinen aus deutscher Produktion betroffen [1].

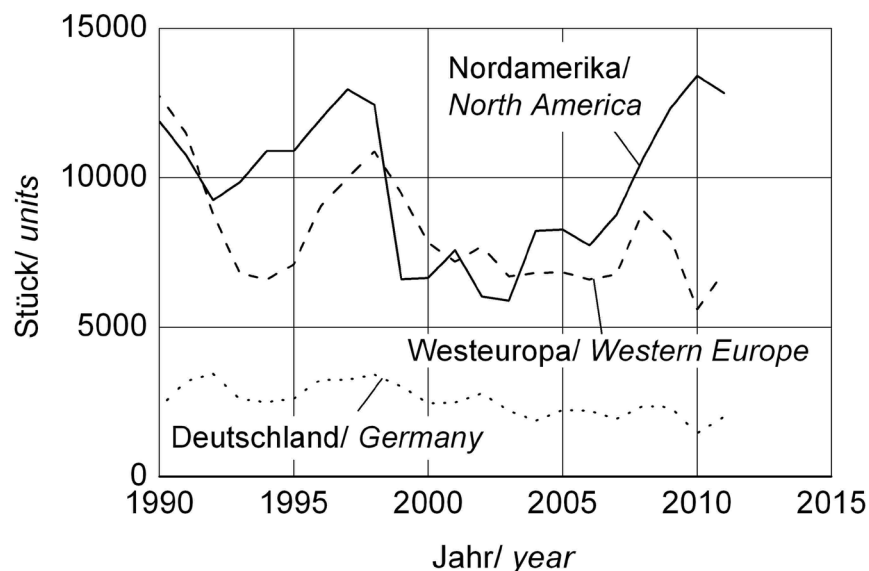


Bild 1: Entwicklung wichtiger Mähdreschermärkte. Daten aus [1]

Figure 1: Development of important combine markets. Data from [1]

Allgemeines

Der Überblick über das Marktangebot, die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Mähdruschsysteme sowie über die Bedienung und Automatisierung der Mähdrescher ist in [2 bis 4] zusammen gefasst. Neben vielen Detailverbesserungen werden vermehrt Hangaussgleichssysteme auch im mittleren und unteren Leistungssegment angeboten. Ein großes Augenmerk wird auf Komfort und Bedienung gelegt. Bei einer Umfrage der DLG in Deutschland wurden als Schwachstellen am häufigsten Schneidwerk, Häcksler, Hydraulik und Antriebe der Arbeitselemente genannt. Bei den Anforderungen an die Maschinen führt eine gute Häckselqualität und -verteilung [5].

Agco bietet den neuen Hybridmähdrescher als Fendt 9470 X und als Massey Ferguson 9280 Delta an. Von Argo wurde nun vollständig Laverda übernommen. Die gesamte Produktion von Randers ist nun nach Breganze verlagert worden. Mit Sampo Rosenlew, deren Modelle von Agco vermarktet werden, wurde ein Joint Venture vereinbart. Die kleine Baureihe von Sampo Rosenlew wurde grundlegend überarbeitet. Bei einer Kanalbreite von 1,11 m werden 4-Schüttlermodelle mit Standard- oder Vortrommeldreschwerk und eine 5-Schüttler-Maschine mit Vortrommeldreschwerk angeboten.

Claas hat zwischen den Modellreihen Dominator und Tucano die Avero-Baureihe eingeführt. Erweitert wurde die Tucano-Baureihe um eine 1-Rotor-Hybridmaschine. Die überarbeiteten Lexion-Mähdrescher sind nun auch mit einem gefederten Raupenlaufwerk für Straßengeschwindigkeiten bis 40 km/h erhältlich.

John Deere baut nun die S-Modelle in Zweibrücken und hat diese überarbeitet. So ist nun der Gutfluss im Rotor durch den Fahrer über in zwei Stufen verstellbare Leitbleche von der Kabine aus steuerbar. Dadurch wird die Verweilzeit im Rotor beeinflusst. So kann er bei geringeren Durchsätzen gut gefüllt sein oder unter manchen Einsatzbedingungen die Strohzerstörung gering gehalten werden.

Wichtige Forschungsergebnisse wurden vorgestellt auf den VDI-MEG Tagungen Landtechnik [6 bis 8], der AgEng 2010 [9], der CIGR-AgEng 2012 [10] sowie auf den Jahrestagungen des ASABE [11 bis 13]. Es ist allerdings zu vermuten, dass über viele Forschungsprojekte in Kooperation mit der Industrie kaum Publikationen erfolgen. Auf einer Konferenz in China wurden der internationale Stand der Technik des Produktangebotes und die regionalen Trends zusammengefasst [14].

Dreschen, Trennen, Reinigen

Viele Forschungen beschäftigen sich mit sehr detaillierten Optimierungen an den einzelnen Arbeitselementen. So werden beispielsweise alle Freiheitsgrade bei den Verstellmöglichkeiten der Körbe eines Dreschwerkes mit Beschleunigertrommel ausgenutzt. Dadurch können sich verengende, konstante oder sich aufweitende Dreschspaltverläufe und Kombinationen davon erreicht und ihre Auswirkungen auf die Arbeitsqualität untersucht werden [15; 16]. Für Entwicklung und Optimierung eines hybriden Dresch- und Trennsystems konnte das Dreschwerk aus einem Schüttlermähdrescher übernommen und für die höheren Durchsätze mussten nur die Antriebe angepasst werden. Die günstigste Dreschtrommeldrehzahl ergab sich bei gerade gewährleistetem Ausdrusch. Für die Rotordrehzahlen musste ein Kompromiss zwischen noch geringen Verlusten und noch nicht zu hoher NKB-Abscheidung gefunden werden [17].

Untersuchungen zu Transport und Entmischung auf dem Vorbereitungsboden unter allen Ernte- und Einsatzbedingungen wurden im Labor durchgeführt. Durch Verstellung der Kinematik konnten auch Hang-auf und Hang-ab Fahrten nachgebildet werden. Die Beurteilung der Entmischungswirkung erfolgte anhand der Verluste einer nachgeschalteten Reinigungsanlage, deren Einstellungen nicht verändert wurden. Durch die Variation der mechanischen Parameter des Schwingförderers konnte gezeigt werden, dass insbesondere

bei höheren Gutsdurchsätzen und damit größeren Schichtdicken die mechanische Anregung der oberen Gutschicht durch den Vorbereitungsboden erschwert ist. Eine bessere Vorentmischung wird hier durch größere Amplituden und eine geringere Frequenz der Schwingbewegung erreicht [18]. Eine Verbesserung der Leistung der Reinigungsanlage durch stärker vorsepariertes Gut mittels luftdurchströmtem Vorbereitungsboden wird ebenfalls untersucht [19].

Die Reinigungsanlage ist wegen der intensiven Gutbearbeitung der Trennelemente sehr stark mit Spreu und Kurzstroh belastet und deshalb oft die leistungsbestimmende Komponente des Mähdreschers. Im Praxiseinsatz wurde dies mit Blick auf die Längs- und Querneigung der Maschine beim Hangeinsatz untersucht [20; 21]. Daraus konnten Empfehlungen für eine Regelung der Gebläsedrehzahl und der Sieböfnungen im Hangeinsatz abgeleitet werden. Für den bei diesen Versuchen vorhandenen Seitenhangausgleich werden ebenfalls Verbesserungen durch verstärkte seitliche Schwingungen und zusätzliche pneumatische Anregungen empfohlen.

Durch den Einsatz der Strömungssimulation konnte die Gestaltung und Anpassung eines Querstromgebläses an eine Reinigungsanlage durchgeführt werden [22, 23]. Verschiedene Gebläsekonfigurationen wurden untersucht. Die Validierung der Simulation erfolgte anhand von Luftgeschwindigkeitsmessungen in einer Reinigungsanlage mit einem der simulierten Gebläse.

Wenn über eine weitere Leistungssteigerung bei der Getreideernte nachgedacht wird, dann bietet es sich unter manchen Bedingungen auch an, Ernte und Logistik voneinander zu trennen. So wird bereits in manchen Regionen die Zwischenlagerung des Getreides in Siloschläuchen am Feldrand praktiziert [24]. Es darf aber auch über den Aufbau des bisherigen Universalmähdreschers nachgedacht werden. Neben mehreren kleinen, autonom im Schwarm arbeitenden Mähdreschern ist auch eine Teilung des Ernteverfahrens auf mehrere, spezialisierte Maschinen denkbar [25]. So kann beispielsweise durch mehrere autonome, selbstfahrende Schneidwerke das Getreide gesammelt und zur Weiterverarbeitung am Feldrand einer leistungsstarken stationären Dresch-, Trenn- und Reinigungseinheit übergeben werden, **Bild 2**. Oder konventionelle Mähdrescher werden zur sogenannten Kompakternte umgebaut, um Korn, Spreu und Kurzstroh als Gemisch zu sammeln [26]. Die Reinigung erfolgt in einer zentralen Anlage und die Nichtkornbestandteile NKB werden für eine weitere Nutzung bereitgestellt. Das Stroh wird wie bisher vom Mähdrescher gehäckselt und breit verteilt.

Schneidwerke und Strohmanagement

Mehrere Hersteller bieten bereits 12 m breite Schneidwerke, teilweise mit variabler Tischlänge, auch für den westeuropäischen Markt an. Durch den Einsatz von Aluminium und neu entwickelten Strukturen wird trotzdem die nötige Festigkeit bei noch akzeptablem Gewicht erreicht. Eine zu starke Durchbiegung der Wellen für Haspel und Einzugsschnecke wird durch eine Teilung und Lagerung meist in der Schneidwerksmitte erreicht. Auch die Messerbalken sind geteilt und werden von beiden Seiten angetrieben. Bei einer neuen

Lösung von CNH erfolgt der Antrieb beider Hälften zentral in der Mitte. Dadurch wird auch ein Ausgleich der schwingenden Massen erreicht.

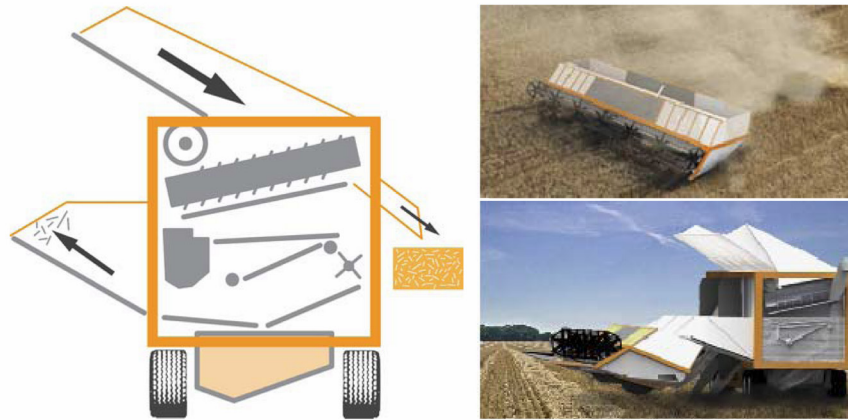


Bild 2: Modulares System zur Getreideernte mit leistungsfähiger Dresch-, Trenn- und Reinigungseinrichtung am Feldrand [25]

Figure 2: Modular system for grain harvesting with powerful unit for threshing, separation and cleaning at the field border [25]

Angebaute klappbare Schneidwerke können zu hohe Achslasten verursachen. Mit einer zusätzlichen kleinen, absenkbaren Achse entlastet Geringhoff bei Straßenfahrt die Vorderachse auf den vom Gesetzgeber vorgegebenen Wert. Für einen besseren Gutfluss werden vermehrt Bandschneidwerke angeboten. Neben Modellen mit Längsförderung zur Einzugsschnecke werden Modelle ohne Einzugsschnecke mit Querförderung und Zufuhr zum Schrägförderer durch Bänder angeboten. Sie versprechen eine gleichmäßigere Zufuhr zum Dreschwerk mit den Ähren voran.

Der Leistungsbedarf eines Mähdrescherhäckslers wurde im Labor detailliert untersucht [27]. An einem sogenannten Exaktschnittmähdrescher konnten die nahezu konstanten Leistungsanteile für den Leerlauf und zur Überwindung der Gehäusereibung sowie die leicht überproportional mit dem Strohdurchsatz ansteigenden Anteile für den Schnitt und die Gutbeschleunigung gemessen werden. Beim Feldeinsatz ermittelte Daten eines Häckslers in Abhängigkeit von Durchsatz, Häckslerdrehzahl und Messerbestückung zeigen, dass dadurch der Leistungsbedarf deutlich beeinflusst werden kann [28]. Durch eine günstige Auslastung des Verbrennungsmotors können zudem noch verbrauchsoptimale Betriebspunkte angefahren werden. Die Kombination von Standard- und Paddelmessern ermöglicht auch eine gleichmäßige Verteilung über die gesamte Arbeitsbreite.

Für exakte Schnittlängen im Mähdrescher-Häcksler müssen die Halme in Zuführrichtung ausgerichtet sein. Dies konnte durch Voruntersuchungen bestätigt werden. Für die weitere Untersuchung zum Stand der Halmausrichtung bei der Zuführung zu Häckslern wurden die Strohhalme mit DEM (Diskrete Elemente Methode) nachgebildet und parametrisiert [29]. Eine weitere Simulation des Gutflusses in Häckslern und zudem in Spreuverteilern wurde von CNH vorgestellt [30].

Eine Alternative zu den bestehenden Häckslern sind beispielsweise zwei vertikale Rotoren, die nach dem Prinzip des Hackschnitts arbeiten und die Funktionen Häckseln und Verteilen vereinen. Umfangreiche Laboruntersuchungen zu Leistungsbedarf, Gutgeschwindigkeit, Häckselqualität und Querverteilung wurden durchgeführt. Die Möglichkeiten zur Verbesserung der Verteilung und zur weiteren Reduzierung des Leistungsbedarfs konnten aufgezeigt werden [31].

Die Ernte von Maisstroh (Stängel, Blätter, Lieschen, Spindeln) für die Ethanolproduktion, separat bzw. parallel zur Körnermaisernte, wird in mehreren Publikationen behandelt [32 bis 36]. Von Bedeutung ist hierbei u.a., dass zum Erosionsschutz genügend Biomasse auf der Feldoberfläche verbleibt, und dass der zusätzliche Arbeitsaufwand minimal gehalten wird.

In manchen Regionen der Welt können herbizidresistente Unkräuter aus Erosionsschutzgründen nicht durch Bodenbearbeitung bekämpft werden. Hier ist das Sammeln und Vernichten der Spreu bei der Getreideernte zusammen mit Unkrautsamen wichtig. Statt dem Verbrennen am Feldrand werden vom Mähdrescher gezogene Mühlen mit eigenem Verbrennungsmotor eingesetzt. Arbeitsqualität und Leistungsbedarf wurden untersucht. Die Reduzierung der Leerlaufleistung von ca. 35 kW ist dringend nötig [37].

Stoffeigenschaften und Qualitätsmerkmale

Die Stoffeigenschaften des Druschgutes haben bekannter Weise einen sehr großen Einfluss auf das Arbeitsverhalten des Mähdreschers. Eine allgemeine Beschreibung der Druscheignung als zentrale Führungsgröße für den Mähdruschprozess und die Möglichkeit zu ihrer Beeinflussung durch die gesamte Getreideproduktion hinweg wird detailliert dargelegt [38].

In verschiedenen Arbeiten werden die physikalischen und mechanischen Stoffeigenschaften unterschiedlicher Güter (Reis, Raps, Kichererbsen, Linsen, Weizen- und Gerstenstroh) meist in Abhängigkeit von der Gutfeuchte ermittelt [39 bis 44]. Die Ermittlung von Stoffeigenschaften gewinnt mit Blick auf die Simulation mit DEM hohe Bedeutung.

Die Beurteilung der Gutqualität nach Pilzbefall kann während der Ernte im Mähdrescher oder danach im Labor stattfinden. In einer umfassenden Arbeit wurde die selektive Ernte durch einen Mähdrescher mit geteiltem Korntank untersucht. Mit Hilfe der Near Infrared Spektroskopie NIRS gelingt es recht gut, den Körnerstrom in einem Bypass des Elevators zu beurteilen und je nach Ergebnis in eines der beiden Kompartimente im Korntank zu leiten [45]. Verbesserungen bei der Beurteilung werden durch die Kombination mit Bildverarbeitung erreicht [46]. Prinzipiell wurde die Eignung dieses Verfahrens von anderen Autoren bestätigt [47, 48]. Optische Merkmale zur Steuerung von Sortiermaschinen können allerdings bisher nur im Labor bzw. bei der stationären Verarbeitung verwendet werden. So werden mit einem neu entwickelten Bildsensor gleichzeitig vier Körnerströme überwacht, falsche Sorten erkannt und das Ausblasen dieser Körner angesteuert [49]. Das Erkennen von Körnern innerhalb einer Sorte mit minderer Qualität oder mit Pilzbefall gelingt noch nicht mit ausreichender Genauigkeit. Durch wiederholtes Verarbeiten können bei zu hoch belasteten

Chargen aber die meisten befallenen Körner aussortiert und akzeptable Werte für die Weiterverarbeitung erreicht werden [50 bis 52].

Simulationstechnik

Für die DEM-Simulation werden weitere Guteigenschaften zur Parametrierung der modellierten diskreten Elemente benötigt. Eine Vielzahl von Guteigenschaften von Maiskörnern für den Einsatz bei einer Modellierung in DEM wurde ermittelt [53]. Auch wurde eine Sammlung von physikalischen Guteigenschaften wie Abmessungen und Schüttwinkel von einigen Körnerfrüchten aus der Literatur zusammengestellt. Am Beispiel von Soja erfolgte eine Modellierung in DEM mit Parametern aus der Literatur. Auf die Abhängigkeit der Parameter von der Gutfeuchte wird besonders hingewiesen [54].

Einen Überblick über erste Ansätze zur Simulation von Strömungs- und Schnittprozessen und den Möglichkeiten von DEM und der Fluidsimulation wurde erarbeitet. Dabei wird auch auf weitere Verbesserungsmöglichkeiten hingewiesen [55]. Ein Anwendungsbeispiel ist der Einsatz von DEM zur Simulation eines Gurtbecherwerkes zum Transport von Soja [56]. Die Notwendigkeit der Validierung derartiger Modelle für landwirtschaftliche Güter verweist auf entsprechende nötige Referenzprozesse. Mit der Modellierung von biegbaren Strohhalmen und von Getreidekörnern kann dann ein Referenzprozess für die Durchdringung von Körnern durch eine schwingende Strohschicht nachgebildet werden. Erste Ergebnisse zeigen, dass DEM hierfür geeignet ist, die Validierung steht aber noch aus [57].

Simulationstechniken lassen sich auch für die Entwicklung und Optimierung von Lenksystemen verwenden. Hierfür ist ein kinematisches Modell der Maschine nötig. Am Beispiel eines Reis-Mähdreschers wird eine derartige Entwicklung und Anwendung aufgezeigt [58].

Mit Hilfe von stochastischen dynamischen Submodellen, die mit Verzögerungsgliedern verbunden werden, konnte ein Mähdreschermodell aufgebaut werden. Hiermit können auch die Modellunsicherheiten, die bei der Verarbeitung von stark variablem biologischem Material bestehen, gut beherrscht werden [59].

In Fortführung bereits veröffentlichter Arbeiten ist ein Fuzzy-Modell einer Reinigungsanlage entwickelt und mit einer Fuzzy-Regelung verbunden worden. Eingang finden hierbei Ergebnisse aus Experimenten sowie Expertenwissen. Die Regelung erkennt schnell Änderungen bei den Erntebedingungen und reagiert darauf. Neben den Einstellungen der Reinigungsanlage und den Signalen von Verlustsensoren wird noch der statische Druck unter dem Obersieb als Signal für die Siebbelastung und als Indikator für die zu erzielende Reinheit verwendet. Die Position des Drucksensors ist detailliert ermittelt worden [60; 61].

Elektrik, Elektronik, Bedienung und Automatisierung

Für Feuchtemessung von Körnern werden kapazitive Sensoren eingesetzt. Die dielektrischen Stoffeigenschaften sind über viele Jahre ermittelt worden. In einer Zusammenfassung sind diese für eine Vielzahl von Körnerfrüchten in Abhängigkeit von der Feuchte, aber auch von Frequenz, Temperatur und Schüttdichte zusammengefasst. Zudem

wurde ein Modell für diese Stoffeigenschaften entwickelt [62 bis 65]. Ein dielektrisches Referenzmaterial für die Prüfung von kapazitiven Feuchtesensoren wird vorgeschlagen [66]. In den USA ist ein standardisiertes Messprogramm für mobile Feuchtemesser zum Vergleich und zur Verbesserung der Qualität durchgeführt worden. Die Ergebnisse von ausgewählten Sensoren sind sehr gut und im Detail veröffentlicht [67].

Ein Überblick über die im Markt angebotenen Techniken für die Durchsatzmessung in Mähdreschern sowie über die alternativen Entwicklungen und Versuche, die verschiedenen Fehlerquellen auszuschließen, wird von [68] gegeben. Es wird dort noch das Signal einer Kettenspannvorrichtung im Schrägförderer als Sensor für die gesamte Biomasse vorgeschlagen. Es zeigte sich, dass dieses im Gutfluss frühe Signal genutzt werden kann, um die räumliche Zuordnung des am Elevator gemessenen Körnerdurchsatzes zu verbessern. Zur Korrektur des räumlichen Versatzes der Messwerte in nebeneinander liegenden Reihen wird ein Verfahren aus der Bildverarbeitung vorgeschlagen [69]. Weitere Arbeiten zu Durchsatzsensoren befassen sich mit der Drehmomentmessung am Elevator [70], mit der Kombination von Wiegezelle und Lichtschranke an einem Reismähdrescher [71], der Integration einer Prallplatte hinter einem Wurfpadel an der Körnerschnecke eines Reismähdreschers [72] und der Erfassung eines volumetrischen Gutstromes an der Auslauföffnung eines Zwischenbehälters auf ein Förderband mit Abstreifkante [73]. Mit einer zusätzlichen Wiegeeinrichtung für Dichte und einer Neigungskompensation werden 1 - 2 % Abweichung eingehalten. Allerdings wird ein größerer Einbauraum benötigt. Auch die Erfassung der Bestandsdichte vor der Maschine mit Hilfe einer horizontalen, laserbasierten Abtastung über ca. 50 cm Länge wurde entwickelt und erprobt [74]. Die Eignung von Ertragsmesstechnik für den Einsatz zu sogenannter On-Farm-Research wurde bestätigt und zudem Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt [75], und alternative Algorithmen für die Erzeugung von Ertragskarten aus den aufgezeichneten Daten wurden erprobt [76].

Den Einfluss der Maschinenneigung auf den Fehler eines Durchsatzsensors aus einer Prallplatte im Elevatorkopf wurde ermittelt. Vor allem bei Neigungen in Fahrtrichtung reagierte das System mit größeren Fehlern. Zudem konnte eine Durchsatzabhängigkeit des Fehlers ermittelt werden. Auf Basis derartiger Versuche können auch für diesen Sensortyp Algorithmen zur Neigungskompensation entwickelt werden [77].

Zur Entlastung des Fahrers und zur Verbesserung der Maschineneinstellung wurden Expertensysteme entwickelt und in den Markt eingeführt [3, 78]. Eine vergleichende Untersuchung von Mähdrescherbedienungen zeigte noch Verbesserungspotenziale auf. Eine Reduzierung der Fahrerbelastung könnte durch kontextsensitive adaptive Bedienelemente und Bediensysteme erreicht werden, **Bild 3** [79]. Im Rahmen eines von der DFG geförderten Forschungsvorhabens wird eine Methode entwickelt, die aus gemessenen Bedienerzyklen ein parametrierbares Bedienermodell aufbauen soll [80].

Für die automatische Lenkung bei Reihenfrüchten werden mit zwei einfachen Laser-Abstandssensoren, einer seitlich senkrecht zur Fahrtrichtung, der andere schräg voraus schauend, gute Ergebnisse erzielt. Im Labor und auf dem Feld konnten bei Mais und Luzerne die Quer- und die Kursabweichung ermittelt werden. Es wird vorgeschlagen, für eine

automatische Lenkung entlang einer Pflanzenreihe oder einer Bestandskante diese Sensoren zur Unterstützung von günstigen GPS-Systemen einzusetzen [81].



Bild 3: Konzeptvarianten von vier möglichen adaptiv variablen Stellelementen [79]

Figure 3: Concepts of four variants of adaptive variable control units [79]

Zusammenfassung

Die Mähdrescher-Hersteller bieten in einem Markt mit stark schwankenden und tendenziell abnehmenden Stückzahlen immer mehr Modelle an. Dadurch kann je nach Einsatzfall, Betriebsstruktur und angebauten Früchten eine passende Maschine gefunden werden. Das Größenwachstum bleibt ungebrochen, aber auch im unteren Leistungssegment werden moderne Maschinen angeboten. Insbesondere im Elektronikbereich finden sehr viele Entwicklungen zur weiteren Fahrerentlastung und zur optimalen Maschineneinstellung statt. Die Simulationstechnik unterstützt die Grundlagenforschung und die Entwicklung. Der Einsatz der Diskreten Elemente Methode DEM eröffnet der Mähdrescherforschung und -entwicklung neue Möglichkeiten.

Literatur

- [1] Persönliche Mitteilungen VDMA, 08/2012
- [2] Rademacher, T.: Wettbewerb der Systeme nimmt zu. Eilbote 59 (2011) H. 13, S. 10-13.
- [3] Böttinger, S., Wacker, P.: Mähdrescher – Stand der Technik und Weiterentwicklungen für die Maschineneinstellung. Landtechnik 65 (2010) H. 2, S. 102-105.
- [4] Stirnimann, R.: Überblick über Dreschwerke und Elektronik. Schweizer Landtechnik 72 (2009) H. 6/7, S. 8-11.
- [5] Hörner, R., Domnita, R., Speer, J.: DLG-Praxismonitor Mähdrescher: Wo drückt der Schuh? DLG Test Landwirtschaft (2011) H. 3, S. 8-13.
- [6] VDI-MEG Tagung Landtechnik AgEng 2009 Hannover 06./07.11.2009. VDI Berichte Nr. 2060. Düsseldorf: VDI-Verlag 2009.
- [7] VDI-MEG Tagung Landtechnik 2010 Braunschweig 27./28.10.2010. VDI Berichte Nr. 2111. Düsseldorf: VDI-Verlag 2010.
- [8] VDI-MEG Tagung Landtechnik AgEng 2011 Hannover 11./12.11.2011. VDI Berichte Nr. 2124. Düsseldorf: VDI-Verlag 2011.
- [9] AgEng 2010 International Conference on Agricultural Engineering, Clermont-Ferrand, 06./8.09.2010.
- [10] CIGR-AgEng 2012 International Conference of Agricultural Engineering, Valencia, 08./12.07.2012.
- [11] ASABE 2009 Annual International Meeting Reno, Nevada 21./24.06.2009.
- [12] ASABE 2010 Annual International Meeting Pittsburgh, Pennsylvania 20./23.06.2010.
- [13] ASABE 2011 Annual International Meeting Louisville, Kentucky 07./10.08.2011.
- [14] International Forum on Harvest Technologies 2011 Zhenjiang, Jiangsu, China 02./04.12.2011.
- [15] Mümken, P., Böttinger, S., Baumgarten, J.: Studies on multi-drum threshing devices - fundamentals for describing the concave-clearance adjustment as a basis for further research. In [7], S. 47-53.
- [16] Mümken, P., Baumgarten, J., Böttinger, S.: Grundlagen zum Tangentialdreschwerk – Mathematische Beschreibung des Dreschspaltverlaufs. Landtechnik 67 (2012) H. 1, S. 26-30.
- [17] Hübner, R.: Funktionsentwicklung eines hybriden Abscheidesystems für Mähdrescher. Landtechnik 65 (2010) H. 1, S. 45-47.
- [18] Böttinger, S., Timofeev, A.: Fördervorgang und Vorentmischung auf dem Vorbereitungsboden von Mähdreschern. Landtechnik 65 (2010) H. 5, S. 380-382.
- [19] Schwarz, M., Schulz, W., Baumgarten, J. und Böttinger, S.: Untersuchung am luftdurchströmten Vorbereitungsboden. Landtechnik 66 (2011) H. 5, S. 358-362.
- [20] Fliege, L.: Einfluss der Hangneigung auf die Leistungsfähigkeit von Reinigungsanlagen im Mähdrescher. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und

- Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG) Nr. 495. Dissertation Universität Hohenheim 2011. Aachen: Shaker-Verlag 2011.
- [21] Böttinger, S., Fliege, L.: Working performance of cleaning units of combine harvesters on sloped fields. In [7], S. 63-68.
- [22] Gebrehiwot, M.G., de Baerdemaeker, J., Baelmans, M.: Effect of a cross-flow opening on the performance of a centrifugal fan in a combine harvester: Computational and experimental study. *Biosystems Engineering* 105 (2010) S. 247-256.
- [23] Gebrehiwot, M.G., de Baerdemaeker, J., Baelmans, M.: Numerical and experimental study of a cross-flow fan for combine cleaning shoes. *Biosystems Engineering* 106 (2010) S. 448-457.
- [24] Busato, P., Berruto, R., Cardoso, L., Bartosik, R.: Logistics and economics of grain harvest and transport systems with the use of silo-bag. ASABE-Paper No. 1100023.
- [25] Herlitzius, T., Mueller, H., Kranke, G., Wittig, H., Wolf, J.: Concept study of a self propelled harvester versus a modular system. In [7], S. 69-75.
- [26] -, -: Mähdrescher ohne Reinigung? *Lohnunternehmen* 67 (2012) H. 2, S. 46-49.
- [27] Wiedermann, A., Harms, H.-H.: Messungen an einem Mähdrescherhäcksler mit Exaktschnitt. *Landtechnik* 64 (2009) H. 3, S. 191-193.
- [28] Schwarz, M., Zährl, T., Gottlieb, D., Böttinger, S.: Leistungsbedarf am Mähdrescherhäcksler. *Landtechnik* 66 (2011) H. 4, S. 272-275.
- [29] Kattenstroth, R., Harms, H.-H., Lang, T.: Ausrichtung von Strohhalmen zur Optimierung des Schnittprozesses in einem Mähdrescherhäcksler. *Landtechnik* 66 (2011) H. 5, S. 354-357.
- [30] Rohberge, M., Benes, J., Isaac, H.: Modelling and crop flow in combine chopper and spreader. XVIIth CIGR World Congress, Québec, Canada, 13./17.06.2010, CSBE 101355.
- [31] Korn, C., Fehrmann, J., Herlitzius, T., Flanhardt, M., Acimas, A.: Entwicklung eines Mähdrescherstrohhäckslers für große Arbeitsbreiten. *Landtechnik* 67 (2012) H. 1, S. 11-16.
- [32] Karkee, M., McNaull, R.P., Birrell, S.J., Steward, B.L.: Agricultural biomass removal rate estimation for real-time optimization of single pass crop grain and biomass harvesting system. ASABE-Paper No. 1009973.
- [33] Buchanan, G.A., Dunn, J.A., Fischer, J.R., Johnson, S.R., Finnell, J.A.: From field to biorefinery. *Resource* 15 (2008) H. 5, S. 5-7.
- [34] Shinnars, K.J., Boettcher, G.C., Hoffman, D.S., Munk, J.T., Muck, R.E., Weimer, P.J.: Single-pass harvest of corn grain and stover: Performance of three harvester configurations. *Transactions of the ASABE* 52 (2009) H. 1, S. 51-60.
- [35] Shinnars, K.J., Bennett, R.G., Hoffman, D.S.: Single- and two-pass corn stover harvesting systems. *Transactions of the ASABE* 55 (2012) H. 2, S. 341-350.
-

- [36] Handler, F., Blumauer, E., Sulzbacher, L., Mair, B., Rathbauer, J.: Analyse von Verfahren zur Maisspindelernte. 18. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium, Tänikon, Schweiz 13./14.03.2012, S. 61-69.
- [37] Berry, N. K., Saunders, C., Fielke, J. M.: Relating the power requirement of the Harrington Seed Destructor to chaff throughput. AgEng 2012
- [38] Klüsendorf-Feiffer, A.: Druscheignung als zentrale Führungsgröße im Erntemanagement. Am Beispiel von vier verfahrenstechnischen Ansätzen. Dissertation Humboldt-Universität zu Berlin 2009.
- [39] Ashtiani Araghi, H., Sadeghi, M., Hemmat, A.: Physical properties of two rough rice varieties affected by moisture content. Int. Agrophysics 24 (2010) S. 205-207.
- [40] Askari Asli-Ardeh, E., Abbaspour-Gilandeh, Y., Shojaei, S.: Determination of dynamic friction coefficient of paddy grains on different surfaces. Int. Agrophysics 24 (2010) S. 101-105.
- [41] Izli, N., Unal, H., Sincik, M.: Physical and mechanical properties of rapeseed at different moisture content. Int. Agrophysics 23 (2009) S. 137-145.
- [42] Ozturk, I., Kara, M., Uygan, F., Kalkan, F.: Restitution coefficient of chick pea and lentil seeds. Int. Agrophysics 24 (2010) S. 209-211.
- [43] Tavakoli, H., Mohtasebi, S.S., Jafari, A.: Physical and mechanical properties of wheat straw as influence by moisture content. Int. Agrophysics 23 (2009) S. 175-181.
- [44] Tavakoli, H., Mohtasebi, S.S., Jafari, A., Nazari Galedar, M.: Some engineering properties of barley straw. Applied Engineering in Agriculture 25 (2009) H. 4, S. 627-633.
- [45] Risius, H., Korte, H.: Prozessanalytik zur Gutstromtrennung während des Mähdruschs. Landtechnik 65 (2010) H. 1, S. 34-37.
- [46] Berberich, J., Risius, H., Huth, M., Hahn, J.: Investigation of continuous imaging analysis of grain quality on a combine harvester. In [9].
- [47] Tallada, J.G., Wicklow, D.T., Pearson, T.C., Armstrong, P.R.: Detection of fungus-infected corn-kernels using near-infrared reflectance spectroscopy and color imaging. Transactions of the ASABE 54 (2011) H. 3, S. 1151-1158.
- [48] Choudhary, R., Mahesh, S., Paliwal, J., Jayas, D.S.: Identification of wheat classes using wavelet features from near infrared hyperspectral images of bulk samples. Biosystems Engineering 102 (2009) S. 115-127.
- [49] Pearson, T.C., Wicklow, D.T., Brabec, D.L.: Characteristics and sorting of white food corn contaminated with mycotoxins. Applied Engineering in Agriculture 26 (2010) H. 1, S. 109-113.
- [50] Pearson, T.: High-speed sorting of grains by color and surface texture. Applied Engineering in Agriculture 26 (2010) H. 3, S. 499-505.
- [51] Saito, S., Ishibashi, J., Miyamoto, T., Tateishi, Y., Ito, T., Hara, M., Kawano, M., Nakajima, T., Yoshida, M., Kawamura, T., Iwase, K.: Reduction of wheat DON and NIV concentrations with optical sorters. Transactions of the ASABE 52 (2009) H. 3, S. 859-866.
-

- [52] Potter, P., Valiente, J.M., Andreu-García, G.: Automatic visual inspection of corn kernels using principal component analysis. In [9].
- [53] González-Montellano, C., Llana, D.F., Fuentes, J.M., Ayuga, F.: Determination of the mechanical properties of corn grains and olive fruits required in DEM simulations. ASABE-Paper No. 1111505.
- [54] Boac, J. M., Casada, M.E., Maghirang, R.G., Harner III, J.P.: Material and interaction properties of selected grains and oilseeds for modelling discrete particles. Transactions of the ASABE 53 (2010) H. 4, S. 1201-1216.
- [55] Jahr, A., Corves, B., Batos, A., Schumacher, M.: Simulation landtechnischer Schnitt- und Strömungsprozesse. Landtechnik 65 (2010) H. 5, S. 372-375.
- [56] Boac, J. M., Casada, M.E., Maghirang R.G., Harner III, J.P.: 3-D and quasi-2-D discrete element modelling of grain commingling in a bucket elevator boot system. Transactions of the ASABE 55 (2012) H. 2, S. 659-672.
- [57] Lenaerts, B., Tijssens, E., de Baerdemaeker, J., Saeys, W.: Simulation of grain-straw separation by a discrete element approach with bendable straw particles. In [9].
- [58] Zhang, Z., Noguchi, N., Ishii, K.: Development of a combine harvester model for navigation simulation. In [9].
- [59] Coen, T., de Baerdemaeker, J., Saeys, W.: Throughput control on a combine harvester using model-based predictive control. ASABE-Paper No. 1009078.
- [60] Craessaerts, G., Saeys, W., Missotten, B., de Baerdemaeker, J.: Identification of the cleaning process on combine harvesters, Part II: A fuzzy model for prediction of the sieve losses. Biosystems Engineering 106 (2010) S. 97-102.
- [61] Craessaerts, G., de Baerdemaeker, J., Missotten, B., Saeys, W.: Fuzzy control of the cleaning process on a combine harvester. Biosyst. Engineering 106 (2010) S. 103-111.
- [62] Nelson, S.O., Trabelsi, S.: Dielectric properties of agricultural products and applications. ASABE-Paper No. 096182.
- [63] Nelson, S.O., Trabelsi, S.: Grain and seed moisture and density measurement through sensing of dielectric properties. ASABE-Paper No. 1008521.
- [64] Nelson, S.O., Trabelsi, S.: Microwave dielectric properties models for grain and seed. ASABE-Paper No. 1008518.
- [65] Nelson, S.O., Trabelsi, S.: A century of grain and seed moisture measurement by sensing electrical properties. Transactions of the ASABE 55 (2012) H. 2, S. 629-636.
- [66] Funk, D.B., Gillay, Z.: Dielectric reference materials for mathematically modelling and standardizing grain moisture meters. ASABE-Paper No. 096651.
- [67] Pierce, R.O., Brenner, C.A., Freese, L.D., Funk, D.B.: Standardizing grain moisture meter performance: Overview of an on-going calibration program. ASABE-Paper No. 096619.
- [68] Veal, M.W., Shearer, S.A., Fulton, J.P.: Development and performance assessment of a grain combine feeder house-based mass flow sensing device. Transactions of the ASABE 53 (2010) H. 2, S. 339-348.
-

- [69] Lee, D.H., Sudduth, K.A., Drummond, S.T., Chung, S., Brenton Myers, D.: New methods for automatic delay time compensation in grain yield maps. ASABE-Paper No. 1111626.
- [70] Zandonadi, R.S., Stombaugh, T.S., Shearer, S.A., Queiroz, D.M., Sama, M.P.: Laboratory performance of a mass flow sensor for dry edible bean harvesters. Applied Engineering in Agriculture 26 (2010) H. 1, S. 11-20.
- [71] Chosa, T., Morimoto, E., Takemoto, S.: Development of an attachable yield monitoring system and an evaluation of a reduced nitrogen input. In [9].
- [72] Shoji, K., Kawamura, T.: A mini grain-yield sensor and in-situ non-linear calibration – impact-by-impact sensing to compensate for its own drift and to preserve non-linearity for enhanced accuracy. ASABE-Paper No. 1111161.
- [73] Wild, K.J., Sonntag, M., Thomas, J., Roehnick, M., Barth, D.: A yield monitor for combines based on volume and density measurements. ASABE-Paper No. 1111796.
- [74] Farmanesh, A., Shamsi, M.: Experimental method to estimate crop density by laser beam. In [9].
- [75] Taylor, R., Fulton, J., Mullenix, D., Darr, M., McNaull, R., Haag, L., Staggenborg, S.: Using yield monitors to assess on-farm test plots. ASABE-Paper No. 1110690.
- [76] Gómez-Gil, J., López-López, L.J., Navas-Gracia, L.M., Ruiz-Ruiz, G.: The spatial low-pass filtering as an alternative to interpolation methods in the generation of combine harvester yield maps. Applied Engineering in Agriculture 27 (2011) H. 6, S. 1087-1097.
- [77] Fulton, J.P., Sobolik, C.J., Shearer, S.A., Higgins, S.F., Burks, T.F.: Grain yield monitor flow sensor accuracy for simulated varying field slopes. Applied Engineering in Agriculture 25 (2009) H. 1, S. 15-21.
- [78] Baumgarten, J., Neu, S., Kettelhoit, B.: An assistance system for the optimization of the harvesting process in combine harvesters. In [5] S. 363-368.
- [79] Böttinger, S., Leipold, T., Maier, T.: Bewertung von Mähdrescher-Bediensystemen. Landtechnik 66 (2011) H. 5, S. 329-332.
- [80] Stamm von Baumgarten, T., Harms, H.-H., Lang, T.: Bedienerbezogene Bewertung mobiler Arbeitsmaschinen. Landtechnik 66 (2011) H. 6, S. 414-417.
- [81] Pitla, S.K., Luck, J.D., Shearer, S.A.: Guidance Directrix Generation Using Laser Sensors. ASABE-Paper No. 096726.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Böttinger, Stefan: Mähdrescher. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2012. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2012. – S. 1-14

Zitierfähige URL / Citable URL

<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00043454>

Link zum Beitrag / Link to Article

<http://www.jahrbuch-agrartechnik.de/index.php/artikelansicht/items/55.html>