
VDI-MEG KOLLOQUIUM LANDTECHNIK

Verein Deutscher Ingenieure
Universität Hohenheim
Institut für Agrartechnik

Heft 40

MÄHDRESCHER

Tagung Hohenheim, 12./13. September 2013



Max-Eyth-Gesellschaft im VDI (VDI-MEG)

VDI-MEG Kolloquium Mähdrescher

Beiträge zum VDI-MEG Kolloquium „Mähdrescher“
vom 12./13. September 2013 in Stuttgart/Hohenheim, Heft Nr. 40

Herausgegeben von der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI
VDI-Platz 1 · 40468 Düsseldorf

Redaktion: Prof. Dr.-Ing. S. Böttinger, Margit Zick, Elke Wörner
Anschrift: Universität Hohenheim
Institut für Agrartechnik
Garbenstr. 9 · 70599 Stuttgart
Tel.: (0711) 459-23200 · Fax: (0711) 459-22519
Druck: f.u.t. müllerbader gmbh
Forststr. 18 · 70794 Filderstadt

Für die in diesem Tagungsband veröffentlichten Referate sind die Autoren
verantwortlich.

Vorwort

Die seit vielen Jahren durchgeführten VDI-MEG Kolloquien dienen der vertieften Diskussion eines speziellen Themas. „Mähdrescher-Kolloquien“ wurden im Wechsel mit Dresden in Hohenheim bereits 1988, 1997 und 2005 durchgeführt. Seitdem ist die Entwicklung im Bereich der Getreideerntetechnik weiter schnell vorangeschritten; die Optimierung einzelner Baugruppen, die Erleichterung der Maschineneinstellung und die Automatisierung vieler Funktionen geben Anlass zu einer erneuten Bestandsaufnahme und Diskussion zukünftiger Entwicklungspotentiale. Der Bogen der in diesem Tagungsband zum vierten Hohenheimer Mähdrescher-Kolloquium behandelten Themen reicht dabei von der Grundlagenforschung über die Entwicklung bis hin zum praktischen Maschineneinsatz.

Die erfolgreiche Ausrichtung dieses Mähdrescher-Kolloquiums erfordert viele hilfreiche Hände. Deshalb sei mein Dank an dieser Stelle besonders an meine Mitarbeiter des Fachgebietes Grundlagen der Agrartechnik des Instituts für Agrartechnik gerichtet. Vielen Dank auch an die Mitglieder des Programmausschusses, deren Einsatz die inhaltliche Planung und Durchführung der Tagung ermöglicht. Besonderen Dank sei an die Firma Claas gerichtet, die anlässlich ihres 100-jährigen Bestehens diese Veranstaltung großzügig finanziell und auch durch das Engagement ihrer Mitarbeiter unterstützt. Ein großer Teil der Präsentationen dieser Tagung werden auf der Internetseite science.claas.com veröffentlicht.

Hohenheim, den 25.08.2013

Prof. Dr.-Ing. S. Böttinger

Inhaltsverzeichnis

Stand und Tendenzen der Mähdrusch-Entwicklung <i>Prof. Dr.-Ing. S. Böttinger</i>	7
Ausrichtung von Halmgut vor dem Mähdrescherhäcksler - Ergebnisse aus Simulation und Prüfstandsversuchen <i>M. Sc. S. Hanke, Dipl.-Ing. R. Kattenstroth, Prof. Dr. L. Frerichs</i>	13
Stoßzahlermittlung von Weizen bei hohen Aufprallgeschwindigkeiten <i>Dipl.-Ing. P. Mümken, Dr.-Ing. J. Baumgarten, Prof. Dr.-Ing. S. Böttinger</i>	19
Validierungsstrategie für DEM-Modelle von Mähdrescherbaugruppen <i>Dipl.-Ing. J. Pförtner, Prof. Dr.-Ing. S. Böttinger</i>	27
Lastkollektive von Mähdrescherantrieben für spezifische Teilaufgaben beim Mähdrusch <i>M. Sc. C. Müller, Dipl.-Ing. S. Häberle, Prof. Dr.-Ing. S. Böttinger, Dr.-Ing. T. Anderl</i>	33
Elektrifiziertes Antriebssystem für Mähdrescherschneidwerke <i>Dipl.-Ing. S. Wöbcke, Prof. Dr.-Ing. habil. T. Herlitzius, Dipl.-Ing. U. Schuffenhauer, Prof. Dr.-Ing. N. Michalke, Dipl.-Ing. J. Seyfarth, B. Eng. P. Hornberger, Dipl.-Ing. F. Mörtl, Dipl.-Ing. (FH) M. Müller</i>	41
Keilriemenantriebe – genug Potential für zukünftige Großmähdrescher? <i>Dipl.-Ing. (BA) T. Tilly</i>	51
Model-based development of control algorithms for optimizing combine processes <i>Dipl.-Ing. A. Eggerl, Dipl.-Ing. (FH) H. Bösch, B.Sc./ MBA A. Bruns, Dipl.-Ing. S. Wöbcke</i>	59
Newest trends in grain harvesting in India <i>BTech, MS N. Guha, Dr.-Ing. S. Forkert</i>	69
Messmethode zur Bestimmung der Mähdrescher-Durchsatzleistung im Feld Wiege-Messtechnik (WMT) <i>Dipl.-Ing. B. Zippert, Dipl.-Ing. B. Schwersmann</i>	77
Methodik zur Messung von Arbeitsqualität und Verlust-Durchsatz-Verhalten von Mähdreschern unter Feldbedingungen <i>Prof. Dr. agr. T. Rademacher</i>	83
Grain Harvesting in Sweden and Related Research at JTI <i>M. Sc. (Agr. Eng.) G. Lundin</i>	95

Combine Harvesting in South and Southeast Asia: Current Status and Trends <i>Dipl.-Ing. agr. M. Gummert, Dr. Phan Hieu Hien</i>	103
Verändert der Klimawandel Erntezeitspannen und verfügbare Mähdruschstunden in Brandenburg? <i>Prof. Dr. A. Prochnow, Dr. rer. agr. Dipl.-Ing. T. Hoffmann, Prof. Dr. rer. nat. habil. F. Chmielewski, Dr. rer. agr. H. Risius</i>	123
Dynamisch adaptive Systemarchitektur zur Optimierung der Prozesssteuerung am Beispiel der Getreideernte <i>Dipl.-Ing. agr. T. Steckel, Prof. Dr. H. W. Griepentrog</i>	129
Experimentelle Untersuchung zur Optimierung der Korn-Stroh-Trennung am Hordenschüttler unter Verwendung elliptischer Bahnkurven mit einer großen Achse in vertikaler Richtung <i>Dipl.-Ing. J. Bernhardt, Prof. Dr.-Ing. habil. T. Herlitzius, Dipl.-Ing. R. Bühlmeier, Dr.-Ing. H. Korte</i>	139
Design and rollout of a hillside feederhouse for modern combines <i>Dipl.-Ing. (BA) A. Brand, Dipl.-Ing. L. Kortenjann</i>	147

Stand und Tendenzen der Mähdrusch-Entwicklung

Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger
Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim, Stuttgart

1 Einleitung

Der Stand und die Tendenzen der Mähdrusch-Entwicklung werden u. a. kontinuierlich im Jahrbuch Agrartechnik publiziert [1]. Anhand der dort veröffentlichten Beiträge ist sehr gut die Historie der Entwicklungsschwerpunkte nachzuvollziehen. Im Folgenden soll an diese Reihe angeknüpft werden, allerdings bleibt es den Jahrbuchbeiträgen vorbehalten, auch detailliert die Auswertung der aktuellen, weltweit publizierten Mähdruschliteratur zu berücksichtigen.

2 Marktentwicklung und Produktangebot

Im Saisonjahr 2011/12 ist der Mähdrescherabsatz in Deutschland etwas auf 1964 Einheiten zurückgegangen, **Bild 1**. Das Marktvolumen in Deutschland pendelt somit aktuell um die 2000 Einheiten, denn für das aktuelle Jahr wird wieder mit einem Absatz von gut 2000 Stück gerechnet. In Westeuropa ist im vergangenen Jahr dagegen der Absatz auf ca. 7400 Einheiten angestiegen. Der Mähdreschermarkt in Nordamerika ist nun im vierten Jahr in Folge mit über 12000 Einheiten auf einem recht hohen Niveau.

In Deutschland wird fast 90% des Mähdreschermarktes allein durch die drei Hersteller Claas, John Deere und New Holland abgedeckt, **Bild 2**. Für eine wirtschaftliche Auslastung von Produktionskapazitäten und zur Absicherung gegenüber regionalen Nachfrageschwankungen sind die meisten Hersteller auf allen Kontinenten vertreten. Fast alle Hersteller mit kleineren Marktanteilen in Deutschland kooperieren mit anderen Herstellern und bieten mit geringen Modifikationen Maschinen unter verschiedenen Marken an.

Die Breite des Marktangebotes in Deutschland und deren Entwicklung ist anhand von **Bild 3** ersichtlich. Die Motorleistung des Angebotes reicht von ca. 90 kW bis 420 kW. Die Vielfalt in den Leistungsbereichen ist anhand der Kreuze für die einzel-

nen Modelle sichtbar. Um für alle Kundengruppen ein entsprechendes Angebot machen zu können, wird von fast allen Herstellern die gesamte Spreizung angeboten.

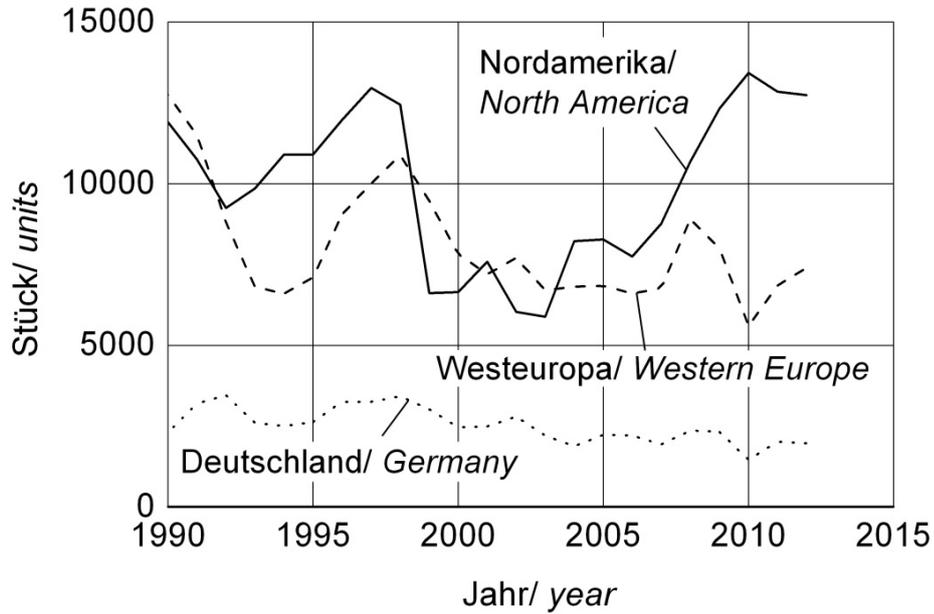


Bild 1: Entwicklung wichtiger Mähdreschermärkte, Daten aus [2,3]

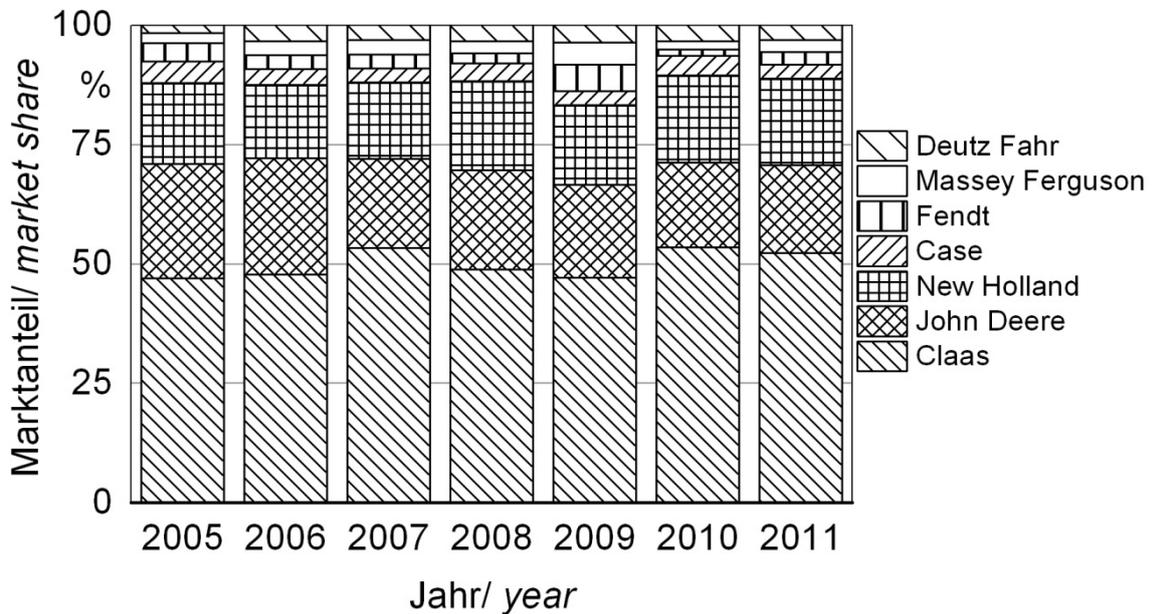


Bild 2: Entwicklung der Anteile aller Hersteller am Mähdreschermarkt in Deutschland, Daten aus [2]

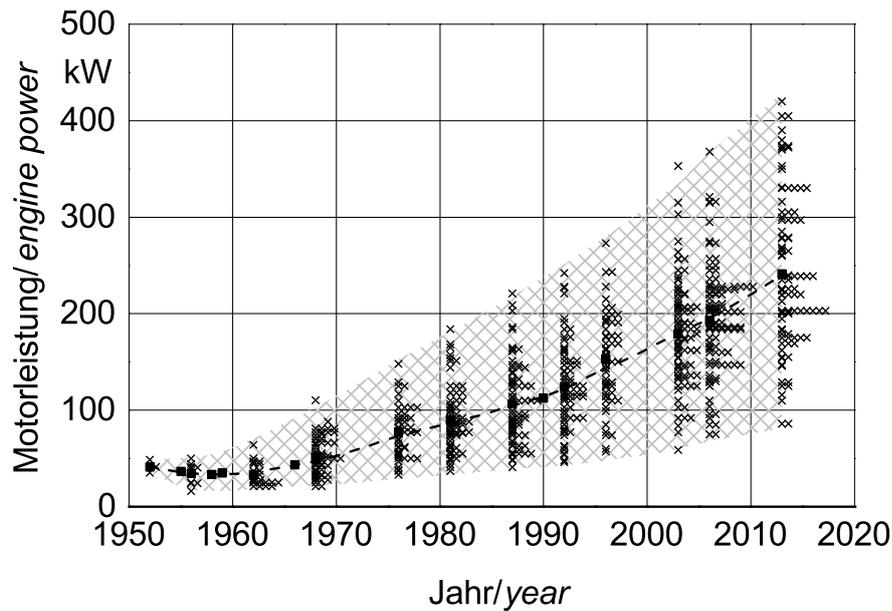


Bild 3: Entwicklung der Motorleistung des Produktangebotes im Mähdreschermarkt Deutschland.

3 Dresch-, Trenn- und Reinigungskonzepte

Neben Tangentialdreschwerken mit Hordenschüttlern haben sich die Hybridmähdrescher aus Tangentialdreschwerk und rotierenden Trennelementen und die Axialmähdrescher etabliert. Für das Produktangebot in Deutschland ist in **Bild 4** über der Kanalbreite die Motorleistung aller Modelle aufgetragen. Maschinen mit Mehrtrommel-Tangentialdreschwerk sind mit ca. 20 kW mehr Motorleistung als entsprechende Maschinen mit Eintrommeldreschwerk ausgestattet. Hybridmähdrescher decken einen vergleichbaren Bereich der Motorleistung ab wie Axialmähdrescher, allerdings bei meistens etwas größerer Kanalbreite. Bei den jeweiligen Dresch- und Trennkonzep-ten sind nur Optimierungen im Detail im Markt zu beobachten.

Die Reinigungsanlagen basieren weiter auf dem Konzept der schwingenden Flachsiebe. Weiterentwicklungen und Verbesserungen erfolgen durch Intensivierung der Vorentmischung auf dem Vorbereitungsboden durch angepasste Kinematik [4] und durch zusätzliche pneumatische Unterstützung. Auf den Sieben selbst erfolgt die Reinigung durch verbesserte Gebläse mit gleichmäßiger und stabiler Luftverteilung. Trotzdem stellt die Reinigungsanlage häufig die leistungsbestimmende Komponente von Mähdreschern dar. Um die Kurzstrohbelastung der Reinigung zu verringern,

muss bei noch nicht an der Verlustgrenze betriebenen rotierenden Trenneinrichtungen deren Intensität der Gutbearbeitung reduziert werden.

Grundlegende Weiter- und Neuentwicklungen der Dresch-, Trenn- und Reinigungskonzepte werden zukünftig wahrscheinlich in Kombination mit der Neugestaltung des Mähdreschers als Selbstfahrer einhergehen. Entsprechende Anregungen dazu wurden zum Beispiel auf der VDI-MEG Tagung Landtechnik 2011 gegeben [5].

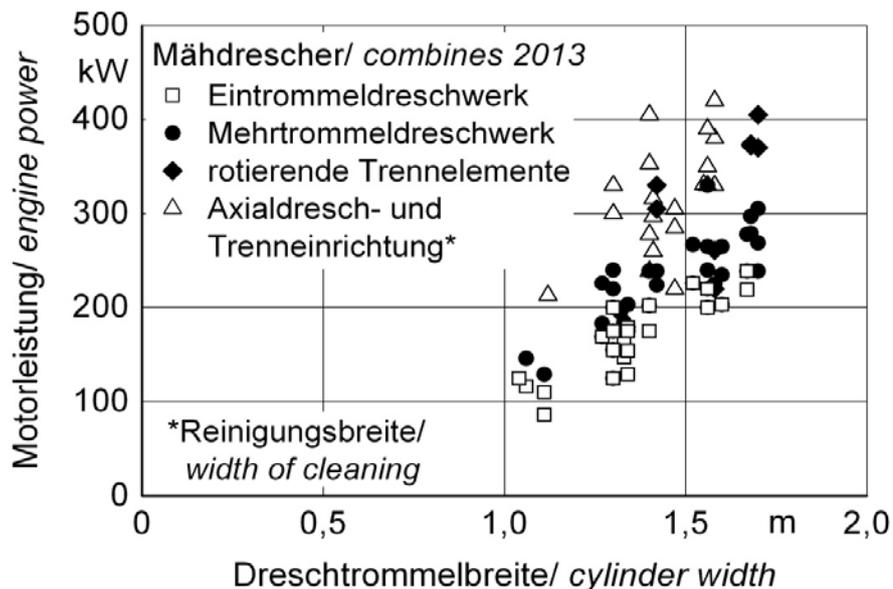


Bild 4: Motorleistung des Marktangebotes an Mähdreschern 2013 in Deutschland, eingeteilt nach Eintrommel- und Mehrtrummel-Tangentialdreschwerken mit Hordenschüttlern, Tangentialdreschwerken mit rotierenden Trennelementen (Hybridmähdrescher) und Axialmähdreschern.

4 Wachstumsgrenzen bei Mähdreschern

Das anscheinend ungebrochene Leistungswachstum von Mähdreschern, Bild 3, erfolgt in den regionalen und nationalen Grenzen bzgl. Abmessungen und Gewicht für den Einsatz der Maschinen auf der Straße. Das Gewicht ist auch beim Feldeinsatz relevant, aber hierfür konnten bisher durch entsprechende Entwicklungen bei Reifen und Raupenfahrwerken Lösungen für einen niedrigen Bodendruck zur Verfügung gestellt werden. Leichtbau ist bei Landmaschinen zunehmend gefordert. Betrachtet man beispielhaft das Gewicht von Vorsätzen für Mähdrescher, **Bild 5**, dann fällt neben den spezifischen Gewichten der unterschiedlichen Vorsatzarten auf, dass die Abnahme mit der Arbeitsbreite geringer wird. Zum Leichtbau gibt es von Schneidwerkherstellern deutliche Ansätze durch den Einsatz von Leichtmetall, allerdings

werden häufig trotzdem die Gerätegewichte nicht veröffentlicht. Ein weiterer Ansatz ist die belastungsgerechte Gestaltung der Gerätekomponenten. So könnte die Gestaltung der Komponenten an den Schneidwerksaußenseiten der geringeren Momentenbelastung angepasst werden.

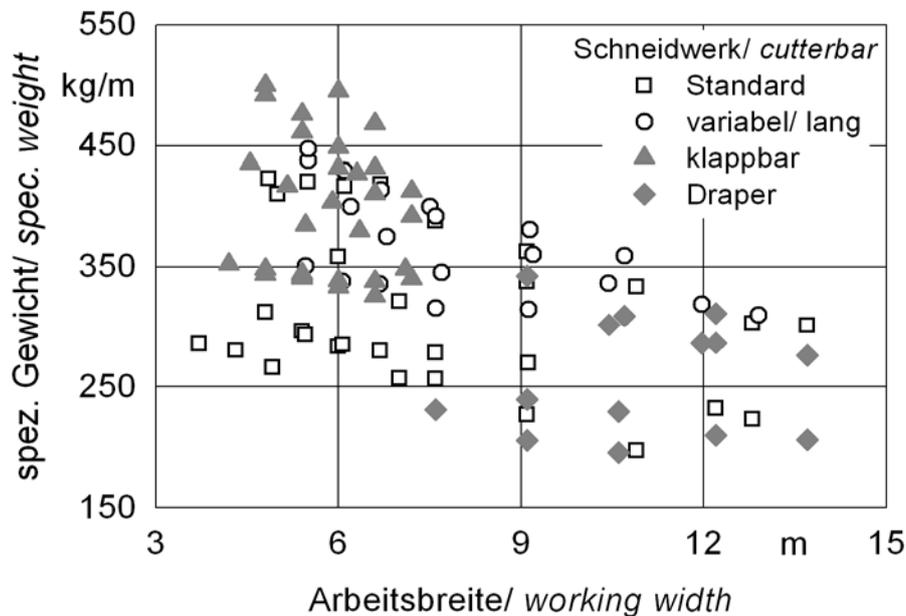


Bild 5: Spezifische Gewichte von Schneidwerken in Abhängigkeit der Arbeitsbreite, Daten nach Herstellerangaben.

Bezüglich Dichte und Komplexität hat das Packaging der mechanischen, hydrostatischen und elektrischen Komponenten bei Großmähdreschern beachtliche Dimensionen angenommen. Es kann davon ausgegangen werden, dass dadurch aber auch Montage und Reparaturarbeiten erschwert werden. Auch diese Grenzen erfordern neue Maschinenkonzepte, um weiter ein deutliches Leistungswachstum beizubehalten.

5 Bedienung und Automatisierung

Damit die installierte Druschleistung bestmöglich ausgenutzt werden kann, wird ein hohes Augenmerk auf die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle sowie auf die Entwicklung von Automatisierungslösungen gelegt. Der Bediener des Mähdreschers kann heute bereits von vielen Routineaufgaben wie der Schneidwerksführung, der Lenkung und der Fahrgeschwindigkeitsregelung entlastet werden. Vermehrt werden zusätzliche Systeme zur automatischen Überwachung und Einstellung

der Dresch-, Trenn- und Reinigungseinrichtungen entwickelt und angeboten. Dazu ist neben verlässlichen Sensoren das in Algorithmen gespeicherte Wissen über die Maschineneinstellung in Abhängigkeit der unterschiedlichsten Einsatzverhältnisse und Erntebedingungen nötig. Neben der Prozessoptimierung der einzelnen Maschinen wird verstärkt auf die gesamte Verfahrenskette der Getreideernte geachtet. Die Einsatzlogistik auf dem Feld, das Zusammenarbeiten von Mähdreschern und Überladefahrzeugen und die Koordination zwischen den verschiedenen Einsatzorten findet immer mehr Augenmerk bei den Herstellern und den Anwendern.

Die Anzeigen und Bedienelemente in Mähdreschern sind, wie häufig bei mobilen Arbeitsmaschinen, auf ein Panel rechts am oder neben dem Fahrersitz konzentriert. Neueste Kabinenentwicklungen unterstützen die Tendenz, alle Anzeigen und Bedienelemente näher an den Fahrer zu rücken. Dafür wird auf die Anbringung an der A-Säule verzichtet und der Blick auf das Schneidwerk verbessert. Bei weiterer Zunahme von Automatisierungen könnten Bedienelemente zukünftig auch mehr für die linke Hand angeordnet werden. Hier sind Lösungsvorschläge gefordert, die neben Design und Ergonomie auch verstärkt Sinnfälligkeit und Gebrauchstauglichkeit mit berücksichtigen.

6 Literaturangaben

- [1] Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2012. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2012.
<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00043484>
- [2] Persönliche Mitteilungen VDMA, 07/2013.
- [3] –,—: AEM AgTractor and Combine Report. <http://aem.org/MarketInfo/Stats/>
- [4] Timofeev, A.: Förderung und Entmischung auf dem Vorbereitungsboden des Mähdreschers. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG). Dissertation Universität Hohenheim 2013. Aachen: Shaker-Verlag 2013, im Druck.
- [5] Herlitzius, T., Mueller, H., Kranke, G., Wittig, H. und J. Wolf: Concept study of a selfpropelled harvester versus a modular system. VDI-MEG Tagung Landtechnik, AgEng 2011, 11./12.11.2011 Hannover. In: VDI Berichte Nr. 2124. Düsseldorf: VDI-Verlag 2011, S. 69-75.

Ausrichtung von Halmgut vor dem Mähdrescherhäcksler - Ergebnisse aus Simulation und Prüfstandsversuchen

M.Sc. Steffen Hanke, Dipl.-Ing. Ralf Kattenstroth,
Prof. Dr. Ludger Frerichs
Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig

1 Einleitung

Bei der Halmgut- und Körnerernte kommt dem Zerkleinern und Verteilen von Halmgut eine große Bedeutung zu. Als Beispiel kann bei der Getreideernte die Strohzerkleinerung im Mähdrescherhäcksler genannt werden. Das Stroh wird in Form einer Gutmatte mit einer eher chaotischen Ausrichtung der Strohhalme von den Abscheideorganen dem Mähdrescherhäcksler zugeführt, zerkleinert und abschließend passiv oder aktiv verteilt. Die unterschiedliche Ausrichtung der Strohhalme hat einen Einfluss auf die Häcksellängenverteilung und den Leistungsbedarf. Bei einer chaotischen Ausrichtung der Strohhalme ist für eine geringe Häcksellänge eine höhere Anzahl von Schnitten nötig und somit ein höherer Leistungsbedarf als bei ausgerichteten Halmen. [1,2,3,4]

Im Rahmen eines durch die DFG geförderten grundlagenorientierten Forschungsprojektes wurden am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge der Technischen Universität Braunschweig die Ausrichtungsqualität von Halmgut und Möglichkeiten zur gezielten Halmgutausrichtung am Beispiel eines Mähdrescherhäckslers untersucht. In [4] wurden erste Vorversuche zum Forschungsprojekt und die Erarbeitung eines mathematischen Modells zur Beschreibung eines Halmgutschwades erläutert. Im weiteren Vorgehen wurde der Ist-Zustand zur Halmgutausrichtung im Mähdrescher aus Strohproben ermittelt, die während der Weizenernte im Schwad aufgefangen wurden. Die Simulationsbeschreibung des Halmgutes mittels der „Diskreten Elemente Methode“ sowie erste Prüfstandsergebnisse wurden in [5,6] vorgestellt. Aufbauend auf diesen Informationen sollen im Folgenden weitere Ergebnisse vorgestellt werden.

2 Prüfstands Aufbau und –durchführung

Der in **Bild 1** dargestellte stationäre Prüfstand, bestehend aus einem Vorratsband, einem Zuführband, einem Häcksler und einer Messdatenerfassung wird für die Versuche zur Beschreibung des Einflusses der Halmgutausrichtung auf die Häckselqualität genutzt. Am eingesetzten Schlegelhäcksler werden die Antriebsdrehzahl und das Antriebsmoment messtechnisch erfasst. Ergänzend zum Häcksler mit 32 Messern auf 0,85 m Breite können Gegenschneiden, Gegenmesser und Bremskanten als Ausstattungsoptionen untersucht werden. Weiterführende Informationen zum Aufbau des Versuchsstandes sind in [1,2,3] zu finden.

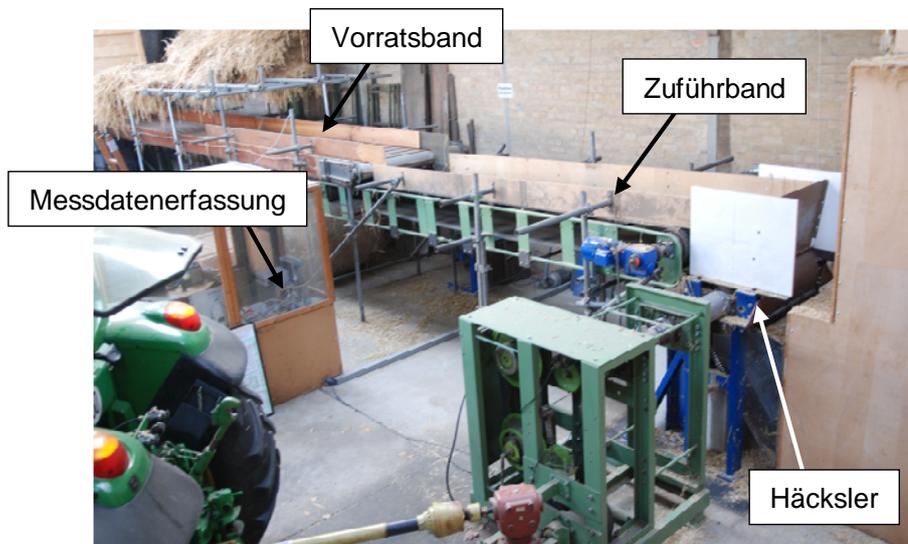


Bild 1: Prüfstand für Untersuchungen an einem Mähdrescherhäcksler.

Bei der Durchführung der Versuche wird das Stroh in definierter Menge gleichmäßig auf dem waagerechten Vorratsband ausgerichtet und somit ein reproduzierbarer Ablauf mit vergleichbaren Ergebnissen sichergestellt. Die Strohhalme werden parallel zueinander angeordnet und je nach Versuch mit einem Winkel von 0° , 45° oder 90° per Hand ausgerichtet. Der Winkel gibt die Abweichung zur optimalen Strohhalmausrichtung gegenüber den Häckselmessern an. Bei einem Winkel von 0° werden die Strohhalme demnach im rechten Winkel den Häckselmessern zugeführt. Bei dieser Prüfstandsordnung wird der Einfluss der Ausstattungsoptionen bei unterschiedlichen Massendurchsätzen sowie Häcksel Drehzahlen untersucht. Nach der Durchführung der Versuche werden die Strohhäcksel auf ein sechsstufiges Kaskadensieb gegeben und nach den Gewichtsanteilen der Sieblochdurchmesser

(2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm, 30 mm, 67 mm) klassiert. Somit kann eine Aussage über die Häckselqualität getroffen werden.

3 Möglichkeiten zur Verbesserung der Ausrichtungsqualität

Um die Ausrichtungsqualität vor dem Mährescherhäcksler zu beeinflussen, werden in weiterführenden Untersuchungen Modifikationen an vorhandenen Bauelementen im Mährescher geprüft. Ein Ansatz bietet sich in der Modifikation des Hordenschüttlers, der eine Basiskomponente vieler Mährescher darstellt. Bei einem Hordenschüttler wird die Förderstrecke des Strohs als ausreichend lang angesehen, um durch technische Maßnahmen eine gezielte Beeinflussung der Strohhalmausrichtung hervorzurufen. Im Gegensatz zum Prüfstandsaufbau in Bild 1 wird anstelle des waagerechten Zuführbandes nun ein Hordenschüttler als Zuführorgan für den Häcksler eingesetzt (**Bild 2**).



Bild 2: Hordenschüttler mit seitlichen Erhöhungen bei unterschiedlichen Massendurchsätzen.

Zusätzlich zu den Prüfstandsversuchen werden mittels der „Diskreten Elemente Methode“ die Vorgänge simuliert. Der Schüttler, bestehend aus drei einzelnen Schüttlern, und das Stroh werden dafür modelliert und der Transportvorgang der Strohhalme wird simulationstechnisch abgebildet. Durch diesen Simulationsaufbau sind gezielte Untersuchungen zum Einflussverhalten verschiedener Modifikationen

am Hordenschüttler bezogen auf die Ausrichtungsqualität gegeben. So wird der Hordenschüttler in der Simulation u.a. mit erhöhten Seitenwänden ausgestattet.

Zur Bewertung der Ausrichtungsqualität werden auch die Prüfstandsversuche mit und ohne erhöhte Seitenwände durchgeführt. Anhand der jeweiligen Häcksellängenverteilungen können die Auswirkungen miteinander verglichen und Schlüsse auf die Ausrichtungsqualität der Strohhalme auf den Schüttlern gezogen werden.

4 Prüfstandsergebnisse

In **Bild 3** sind die Prüfstandsergebnisse der Häckselqualität bei einer Strohhalmausrichtung von 90° in Abhängigkeit von der Häckslerausstattung dargestellt. Die Häckslerdrehzahl beträgt 3400 1/min und der Strohdurchsatz 2,8 kg/s. Aus den Ergebnissen lässt sich eine gute Häckselqualität bei einer Ausstattung des Häckslers mit Gegenschneide und Bremskante erkennen. Der Leistungsbedarf wird als akzeptabel angesehen. Durch die Ausstattungsoptionen am Mähdrescherhäcksler können also auch bei ungünstiger Strohhalmausrichtung der Leistungsbedarf und die Häckselqualität signifikant beeinflusst werden.

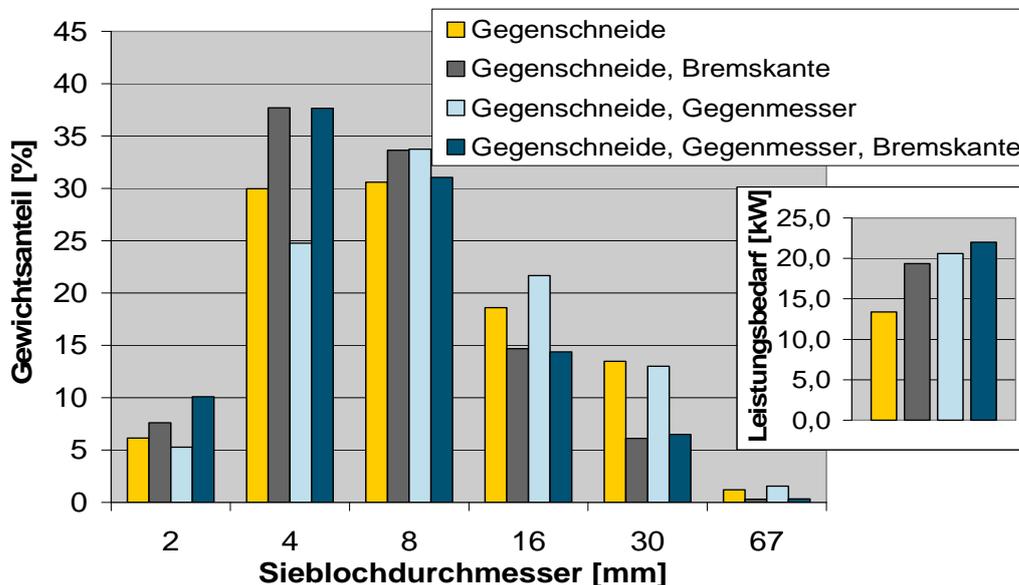


Bild 3: Häcksellängenverteilung in Abhängigkeit der Häckslerausstattung.

Bei den weiterführenden Versuchen wird die Modifikation des Hordenschüttlers mit erhöhten Seitenwänden untersucht. Die Häckslerdrehzahl beträgt wiederum 3400 1/min und der Häcksler ist nun mit Gegenschneide und Gegenmesser

ausgestattet. Die Strohhalmausrichtung beträgt auf dem Zuführband 0° und die Halme wären somit im Gegensatz zu den vorherigen Versuchen optimal zu den Häckselmessern ausgerichtet. Durch die Modifikation der seitlichen Erhöhungen am Hordenschüttler sollen die Strohhalme in Längsrichtung ausgerichtet und somit in einem ungünstigeren Winkel dem Mährescherhäcksler zugeführt werden. Der Nachweis der gezielten Strohhalmausrichtung erfolgt durch eine Verschlechterung der Häcksellängenverteilung.

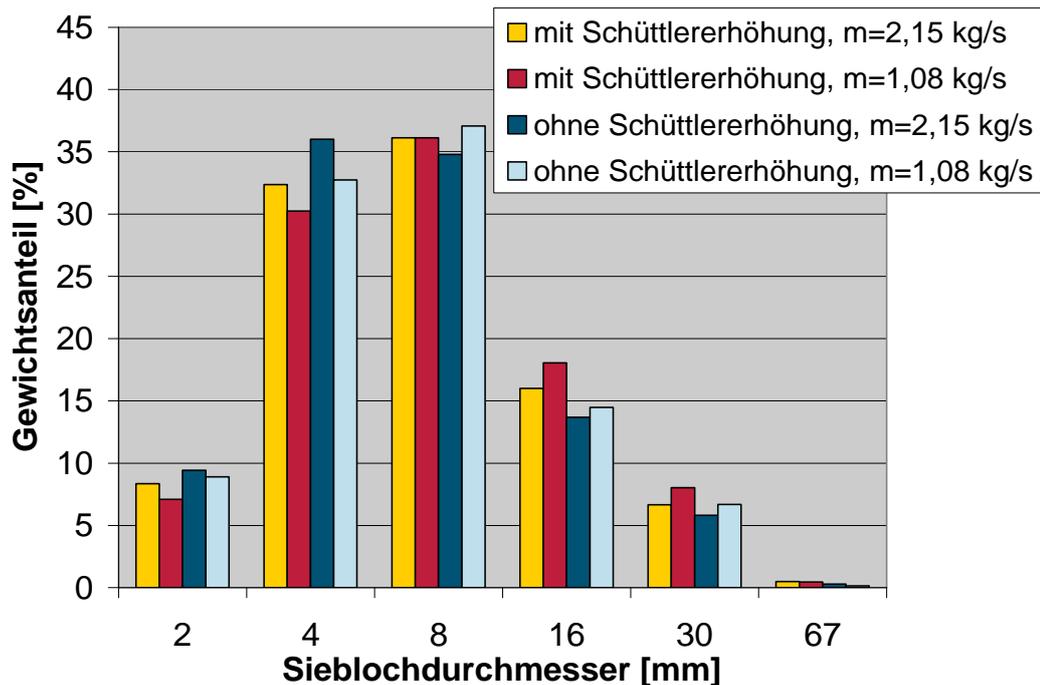


Bild 4: Potential der Halmgutausrichtung durch modifizierte Hordenschüttler.

Bei den im **Bild 4** dargestellten Prüfstandsergebnissen ist in den durchgeführten Versuchen mit erhöhten Seitenwänden eine deutliche Zunahme der Gewichtsanteile bei den Sieblochdurchmessern 16 mm und 30 mm zu erkennen. Die Wirkung der Halmgutausrichtung nimmt mit höherem Durchsatz ab, wie auch aus begleitenden Videoaufnahmen ersichtlich wird. Die Strohhalme können sich also bei geringerem Durchsatz besser zwischen den Seitenwänden anordnen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Untersuchung konnte der Einfluss von Ausstattungsoptionen eines Häckslers und der Modifikation des Hordenschüttlers hinsichtlich der Häckselqualität nachgewiesen werden. Abschätzungen zum Einfluss der Modifikation des

Hordenschüttlers auf die Strohhalmausrichtung können auch mit Hilfe einer Simulation auf Basis der „Diskreten Elemente Methode“ getroffen werden. Prüfstandsergebnisse bestätigen diese Untersuchungen.

Die direkte Umsetzung der untersuchten Modifikation am Hordenschüttler zur gezielten Beeinflussung der Strohhalmausrichtung ist aufgrund des begrenzten Durchsatzes nur bedingt für den Einsatz im Mährescher geeignet. Hier sind weiterführende technische Maßnahmen und Untersuchungen notwendig, um größere Durchsätze verarbeiten zu können. Insbesondere wäre aber das bestehende Häckslerkonzept an die veränderte Strohhalmausrichtung anzupassen. Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse jedoch Potential auf, welches in einer verbesserten Abstimmung zwischen den Organen zur Restkornabscheidung und dem Mährescherhäcksler liegt.

6 Literaturangaben

- [1] Kämmerer, D.: Der Schneid- und Fördervorgang in einem Mährescherhäcksler. Dissertation Technische Universität Braunschweig, 2002, Shaker Verlag.
- [2] Wallmann, G.: Gutzuführung für Mährescherhäcksler. Dissertation Technische Universität Braunschweig, 2006, Shaker Verlag.
- [3] Wiedermann, A.: Exaktschnitt im Mährescherhäcksler. Dissertation Technische Universität Braunschweig, 2011, Shaker Verlag.
- [4] Niemöller, B.; Harms, H.-H.; Lang, T.: Beschreibung einer Halmgutmatte zur Untersuchung des Einflusses der Halmgutausrichtung auf die Häckselqualität. Tagung LAND. TECHNIK 2010, VDI-MEG, 27.-28.10.2010, Braunschweig, 2010, S. 425-430.
- [5] Kattenstroth, R; Harms, H.-H.; Lang, T.: Gezielte Ausrichtung von Strohhalmen zur Optimierung des Schnittprozesses in einem Mährescherhäcksler. Landtechnik 66 (5), S. 354-357.
- [6] Kattenstroth, R; Harms, H.-H.; Lang, T.: Einfluss der Strohhalmausrichtung auf die Häckselqualität eines Mährescherhäckslers. Landtechnik 67 (4), S. 244-246.

Stoßzahlermittlung von Weizen bei hohen Aufprallgeschwindigkeiten

Methode zur Ermittlung von Kalibrierdaten für die DEM-Simulation

Dipl.-Ing. Philipp Mümken, Dr.-Ing. Joachim Baumgarten,
Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger
Universität Hohenheim, Stuttgart / CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH

1 Einleitung

Die Modellierung verfahrenstechnischer Prozesse durch DEM-Simulation hat sich in den letzten Jahren im Bereich der Agrartechnikentwicklung zunehmend etabliert. Alle Vorteile der Simulation werden insbesondere bei komplexeren Zusammenhängen allerdings nur durch einen geeigneten Abgleich der Modelle mit der Realität, z. B. durch Versuche, nutzbar. Gerade im Bereich der Agrartechnik, wo primär organische Stoffe mit einer großen Bandbreite physikalischer Eigenschaften be- und verarbeitet werden, kommt dem Abgleich der Modelle eine besondere Stellung zu. Dieser Abgleich ist natürlich abhängig von der grundlegenden Aufgabenstellung zu wählen. In diesem Vortrag wird auf den Abgleich zwischen DEM-Simulation und Versuch zur Stoßzahlbestimmung bei hohen Aufprallgeschwindigkeiten als Schlüssel zur Simulation von Dreschwerken eingegangen.

2 Stand der Forschung

Für die Darstellung von Bewegungsabläufen in der DEM-Simulation werden verschiedene Kontaktmodelle verwendet, die ein möglichst realistisches Kontaktverhalten zwischen den einzelnen Partikeln und zwischen Wand und Partikel darstellen sollen. Diese Kontaktmodelle werden über verschiedene Stoffeigenschaften parametrisiert. Ein wichtiger Parameter ist hierbei die Stoßzahl, welche die Größe der dissipierten Energie (Umwandlung in Wärme) während eines Stoßes darstellt und damit entscheidend das Rückprallverhalten der Partikel beeinflusst.

Nach Holzmann, Meyer, Schumpich [1] wird der Stoßvorgang wie folgt definiert: „Man nennt die Berührung zweier Körper einen Stoß, wenn zwischen ihnen während

sehr kurzer Zeit sehr große Kräfte wirken und dadurch der Bewegungszustand mindestens eines der am Stoß beteiligten Körper stark geändert wird.“

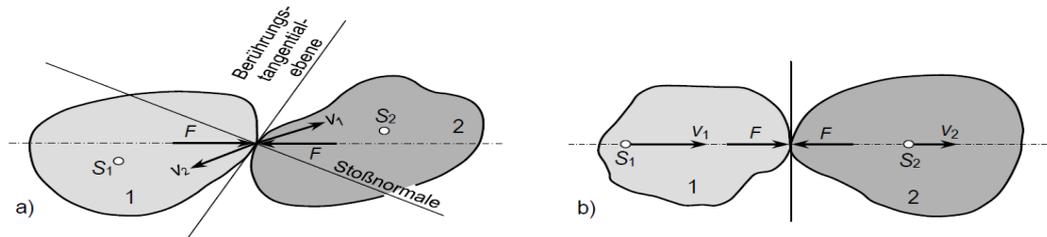


Bild 1: Stoß zweier Körper [1]

a) schiefer exzentrischer Stoß (allgemeiner Fall), b) gerader zentraler Stoß

Bei der theoretischen Stoßbetrachtung wird häufig vereinfacht der gerade zentrale Stoß analysiert und die Zusammenhänge erläutert (**Bild 1 b**). Für ein Weizenkorn, das eine sehr komplexe und nicht gleichmäßige Form besitzt, ist diese Vereinfachung nicht oder nur bedingt zulässig. Die Analyse des Stoßvorgangs und hierbei besonders die Bestimmung der charakterisierenden Größe Stoßzahl wird dadurch erheblich aufwändiger.

Die Stoßzahl bildet das Verhältnis der kinetischen Energie nach dem Stoß zu vor dem Stoß ab und entspricht damit dem Anteil der nicht dissipierten Energie. Grafisch dargestellt bedeutet daher die Stoßzahl das Verhältnis der Fläche $E_{kin,2}$ zur $E_{kin,1}$,

Bild 2.

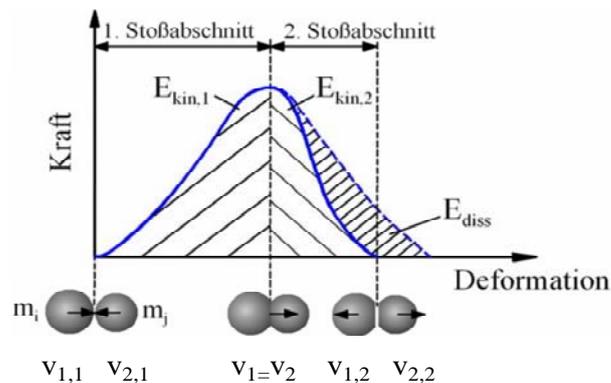


Bild 2: Schematische Darstellung des Kraft-Weg-Verlaufs eines elastisch-plastischen Stoßvorgangs [2]

Während an verschiedenen Stellen in der Literatur die Stoßzahl über den Quotienten auf Rückprallgeschwindigkeit zu Aufprallgeschwindigkeit mit der Rückprallhöhe [3] oder dem Kraftverlauf [4] ermittelt wurde, ist diese Methode für Weizen und hierbei insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten aufgrund der ungleichförmigen Geometrie und dem daraus resultierenden regellosen Zurückprallen nur bedingt

geeignet. Der rotatorische Anteil der kinetischen Energie ist nicht zu vernachlässigen und hat damit erheblichen Einfluss auf die dissipierte Energie. Aus diesem Grund ist die Bestimmung der Stoßzahl anhand des Geschwindigkeitsverhältnisses, welches man z.B. mittels Hochgeschwindigkeitsaufnahmen bestimmen kann, auch nur mit erheblichem Aufwand möglich, so dass ein neues Verfahren zur Bestimmung der Stoßzahl von unregelmäßig geformten Körpern für die Ermittlung der DEM-Simulationseingangsparameter entwickelt werden muss.

Bei steigenden Aufprallgeschwindigkeiten steigen die auf den Körper / das Korn einwirkende Beanspruchungen, so dass ab einer gewissen Grenzaufprallgeschwindigkeit die Fließgrenze überschritten wird. Bei Überschreiten der Fließgrenze kommt es zum Riss und Verformungen (an der Körperoberfläche oder im Körperinneren) als Voraussetzung des Bruchvorgangs. Hierbei entsteht in Abhängigkeit der Beanspruchungshöhe lediglich ein Teilriss oder sofort der Bruch. Durch die dabei aufgenommene Energie sinkt während der Expansionsphase der wieder in kinetische Energie umwandelbare Anteil, so dass ein direkter Zusammenhang zwischen Absinken der Stoßzahl und steigendem Bruchkornanteil zu sehen ist, der für Weizen noch näher untersucht werden muss.

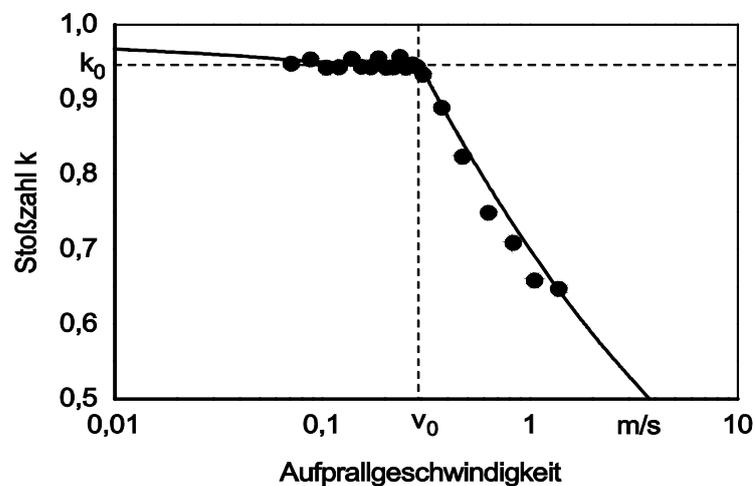


Bild 3: Beispiel für eine geschwindigkeitsabhängige Stoßzahl: Stahlkugeln mit starkem Abfall als Zeichen der Überschreitung der Fließgrenze [5]

Die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Stoßzahl ist anhand des Beispiels (**Bild 3**) zu erkennen. Hier prallen Stahlkugeln mit unterschiedlicher Geschwindigkeit auf, was zu einem deutlichen Absinken der Stoßzahl ab der Grenzgeschwindigkeit v_0 führt.

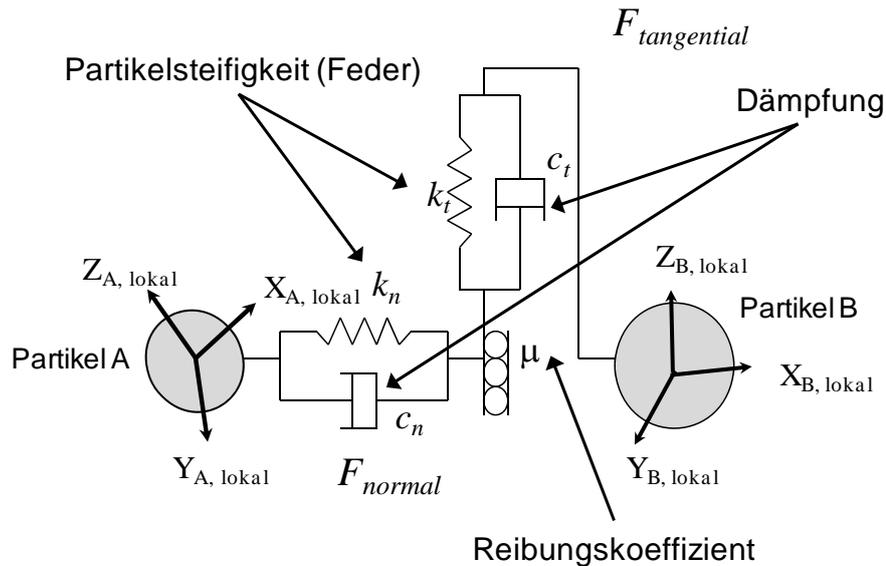


Bild 4: Prinzipdarstellung des üblicherweise in der DEM-Simulation verwendeten Kontaktmodells

In dem in der DEM-Simulation häufig verwendeten Hertz-Midlin-Kontaktmodell (vgl. **Bild 4**) wird die Stoßzahl indirekt über die Steifigkeit und die Dämpfung in Normalenrichtung abgebildet. Die Stoßzahl ist ein wichtiger Eingabeparameter, so dass für die Nachbildung von Weizen weitere Untersuchungen erforderlich sind. Für die Simulation der Prozesse im Mähdrescher, z.B. innerhalb des Dreschwerkes, ist daher die Bestimmung der Stoßzahl gerade bei hohen Aufprallgeschwindigkeiten erforderlich.

3 Versuchseinrichtung

Für die Analyse des Stoßverhaltens wurde daher ein neues Versuchsstandskonzept entwickelt und umgesetzt, was eine Untersuchung der Prallbeanspruchung ermöglicht [6,7]. Die Hauptkomponenten dieses Konzeptes sind die Versuchsgutzuführung (Kornvereinzelung), die Beschleunigungsstrecke und der Stoßbereich inkl. Prallplatte sowie den Auffangbehältern im Rückprallbereich (vgl. **Bild 5**). Neben der Aufprallgeschwindigkeit können Prallplattenbauweise und -winkel verstellt werden.

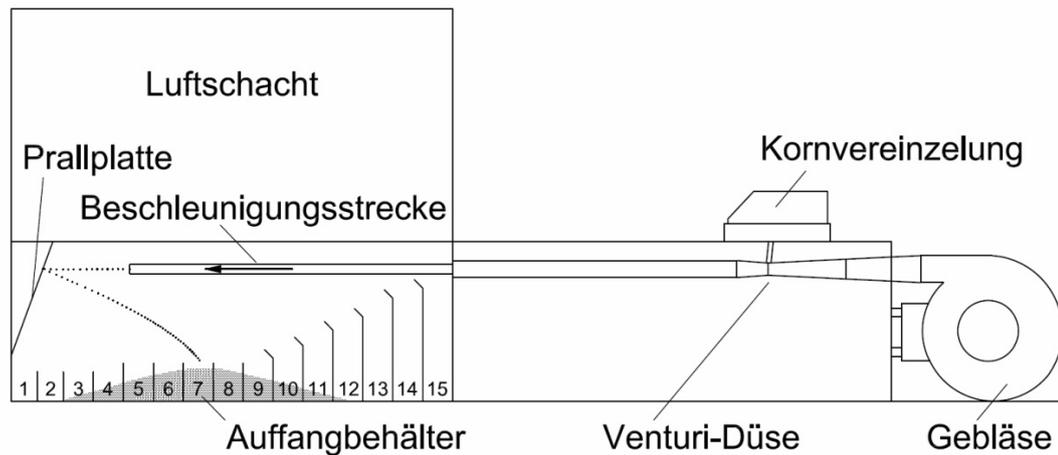


Bild 5: Schematischer Aufbau der Versuchseinrichtung zur Analyse der Festigkeitseigenschaften bei Aufprall

Die Bauweise des Versuchstands zeichnet sich besonders durch die Möglichkeit aus, innerhalb sehr kurzer Zeit sehr große Kornanzahlen zu untersuchen sowie den Stoßvorgang mittels Hochgeschwindigkeitsaufnahmen näher zu analysieren. Des Weiteren wird mit der aufgebauten Lösung ein sehr großer Geschwindigkeitsbereich abgedeckt (15 ... 50 m/s), so dass Stoßzahlen auch für hohe Aufprallgeschwindigkeiten untersucht werden können und sich damit das Verfahren erheblich von den bisherigen Lösungen unterscheidet.

Durch die Ermittlung des Rückprallverhaltens von Weizen, z. B. durch die Bestimmung der Rückprallweite, und dem direkten Abgleich mit der Simulation kann die Stoßzahl für die Simulation bestimmt und die Auswirkung verschiedener Einstellungen untersucht und verglichen werden.

Durch die Beschleunigung der Körner mittels Luftstrom kann zwar eine kontinuierliche Versuchsgutzuführung erreicht werden, allerdings ist eine Beeinflussung der Aufprallrichtung des einzelnen Kornes auf die Prallplatte nicht möglich. Durch die hohe Versuchsanzahl und eine entsprechende Einstellung in der entsprechenden Simulation (zufällige Partikelausrichtung) kann der Nachteil kompensiert werden. Ein ähnliches Konzept wurde in [2] für die Prallanalyse von Granulaten verwendet.

Mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen wurde der Zusammenhang von Gebläseeinstellung und Aufprallgeschwindigkeit untersucht. Hierfür wurde eine Vielzahl von Versuchskörnern durch eine Trackingsoftware erfasst und entsprechend ausgewertet. Die Ergebnisse sind in **Bild 6** abgebildet, wo der lineare Zusammenhang zwischen der Frequenzumrichtereinstellung für den Gebläsemotor

und der Aufprallgeschwindigkeit zur erkennen ist. Die Streuung der gemessenen Geschwindigkeiten nimmt mit steigender Geschwindigkeit zu.

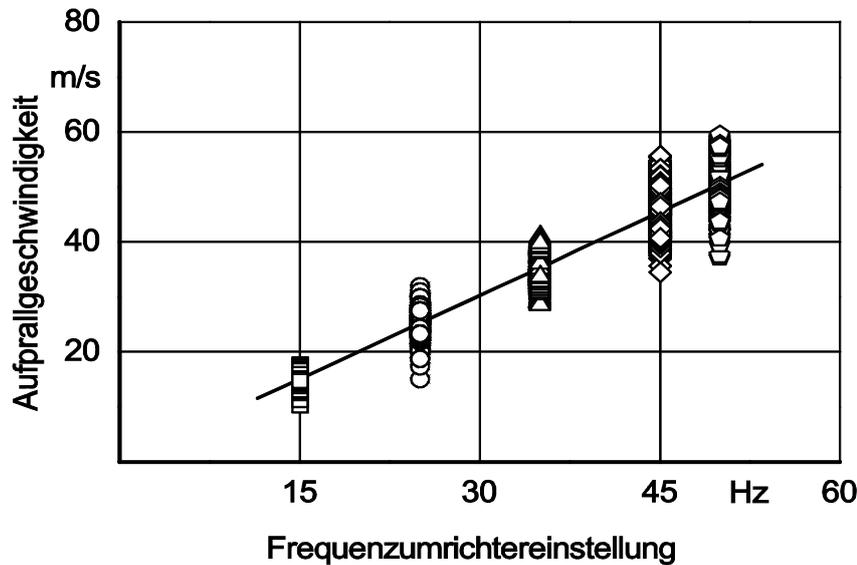


Bild 6: Zusammenhang zwischen Frequenzumrichtereinstellung und Aufprallgeschwindigkeit

Für die Analyse dieser Streuung sind exemplarisch zwei Frequenzumrichter-einstellungen herausgegriffen (**Bild 7**). Sowohl bei 15 m/s als Untergrenze des Geschwindigkeitsbereichs als auch bei 50 m/s als Obergrenze stellt die Streuung annähernd eine Normalverteilung dar. Mit dieser Grundlage kann die Geschwindigkeitsverteilung in der Simulation eingestellt werden, so dass auch hier eine Übereinstimmung von Simulation und Versuch gewährleistet ist.

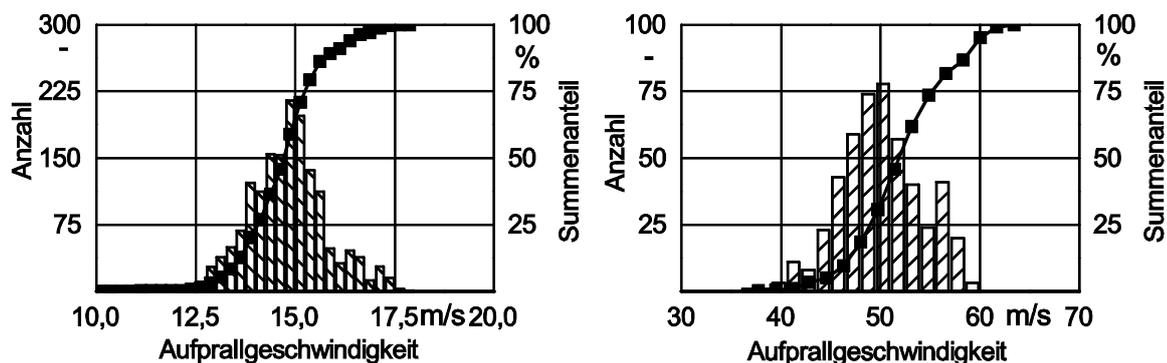


Bild 7: Darstellung der Geschwindigkeitsverteilungen bei zwei Frequenzumrichtereinstellungen (15 Hz - links und 50 Hz - rechts)

Die Prallplattenkonstruktion zeichnet sich durch einen im Winkel verstellbaren Grundrahmen und eine darauf angebrachte auswechselbare Prallplatte aus.



Bild 8: Prallplattenkonstruktion – austauschbarer Prallkörper und Winkelverstellung

So kann neben einer ebenen Stahlplatte (vgl. **Bild 8**) auch eine Störgeometrie in den Prallbereich eingebracht werden.

Von der Prallplatte gelangt das Korn in den Auffangbereich, wo es in insgesamt 15 Behältern aufgefangen wird. Diese haben jeweils eine Länge von 100 mm, so dass sich eine Rückpralllänge von 1500 mm ergibt. Um trotz dieser begrenzten Rückpralllänge Körner mit einer großen Rückprallweite erfassen zu können, sind die Leitbleche der einzelnen Behälter mit steigender Rückprallweite ansteigend ausgeführt, was entsprechend der Flugbahn zu einer nicht linearen Teilung der Behälter führt.

4 Zusammenfassung / Ausblick

Mit der neuen Versuchseinrichtung wurde die Grundlage für die Untersuchung der Stoßzahl bei hohen Aufprallgeschwindigkeiten gelegt. Durch die direkte Kopplung von Versuch und Simulation kann so ein wichtiger Eingabeparameter für die DEM-Simulation sicher erfasst werden.

Verschiedene Stoffe zeigen ein stark geschwindigkeitsabhängiges Stoßverhalten, welches mit Hilfe dieser Vorgehensweise auch ermittelt bzw. überprüft werden kann. Der gewählte Geschwindigkeitsbereich von 15 ... 50 m/s deckt sicher die üblichen Umfangsgeschwindigkeiten eines Dreschwerks im Mähdrescher ab, so dass neben der Bestimmung der Stoßzahl Grundlagen der Bruchkornentstehung erfasst werden können und damit eine doppelte Nutzung der Versuchseinrichtung möglich ist.

5 Literaturangaben

- [1] • Holzmann, G., H. Meyer und G. Schumpich: Technische Mechanik 3 - Festigkeitslehre. Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag GmbH 2006.
- [2] • Antonyuk, S.: Deformations- und Bruchverhalten von kugelförmigen Granulaten bei Druck- und Stoßbeanspruchung. Dissertation Universität Magdeburg, 2006.
- [3] Gonzalez-Montellano, C., D.F. Llana, J.M. Fuentes und F. Ayuga: Determination of the mechanical properties of corn grains and olive fruits required in DEM simulations. ASABE Paper No. 1111505 (2011).
- [4] Wojtkowski, M., J. Pecen, J. Horabik und M. Molenda: Rapeseed impact against a flat surface: Physical testing and DEM simulation with two contact models. Powder Technology (2010) H. 198, S. 61-68.
- [5] McNamara, S. und E. Falcon: Simulations of dense granular gases without gravity with impact-velocity-dependent restitution coefficient. Powder Technology (2008) H. 182, S. 232-240.
- [6] • Geertsema, M.: Konzeption, Konstruktion und Inbetriebnahme eines Stoßversuchsstands für Getreidekörner. Bachelor-Thesis HS 681 S, 2012, Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, unveröffentlicht.
- [7] • Ruoff, T.: Fertigung, Inbetriebnahme und Optimierung eines Stoßversuchsstands für Getreidekörner und Analyse des Betriebsfestigkeitsverhaltens von Weizen. Master-Thesis M 187 H, 2013, Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik, unveröffentlicht.

Validierungsstrategie für DEM-Modelle von Mähdröschersbaugruppen

Dipl.-Ing. Joachim Pförtner, Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger
Universität Hohenheim, Stuttgart

1 Diskrete Element Methode

Die Simulation nach der Diskreten Element Methode (DEM) nach Cundall und Strack [1] findet in den letzten Jahren immer mehr Anwendung in der Landtechnik. Mit ihr lassen sich Bewegungsabläufe unterschiedlichster Güter darstellen, wie zum Beispiel den Gutfluss eines Mähdröschers. Die Modellierung von Mähdröschersbaugruppen dient einerseits zur Verifikation der Funktion einzelner Bauteile, wie auch zum Beispiel die Festigkeitsanalyse mittels der Finiten Element Methode (FEM), aber auch der Bewertung von Baugruppen hinsichtlich des Kundennutzens. Zudem erhält man durch den tieferen Einblick in solche Prozesse ein besseres Verständnis. Mithilfe der Simulation lässt sich neben der Entwicklungszeit auch die Anzahl von kostspieligen und aufwändigen Versuchsständen reduzieren, da bereits im frühen Entwicklungsstadium verschiedene Varianten als Simulationsmodell untersucht werden können und so nur eine Auswahl an relevanten Varianten weiter untersucht werden muss.

2 Stoffeigenschaften

Um Prozesse im Mähdröschers und in diesem Fall das Verhalten von Weizenkorn- und Kurzstrohpartikeln mittels DEM-Simulationen nachbilden zu können, sind gewisse Stoffparameter notwendig [2], welche das Verhalten der einzelnen Partikel beschreiben. Neben der geometrischen Abmessung, Dichte und Poissonzahl werden auch Reibwerte und Stoßzahlen der verschiedenen Materialpaarungen benötigt. Hierzu gibt es bereits eine Vielzahl von Voruntersuchungen, die sich mit der Ermittlung von Stoffparametern beschäftigt haben, wie beispielsweise die Zusammenstellung von KUTZBACH [3] zeigt. Jedoch müssen aufgrund der hohen Spreizung, welche auf verschiedene Einflussgrößen, wie Getreidesorte, Standort der Pflanze oder Feuchte, zurückzuführen sind, andere Methoden der Modellparametrisierung herangezogen werden. Zudem müssen solche DEM-Modelle verifiziert und validiert werden.

BECK [4] unterteilt die Stoffeigenschaften in drei Gruppen: Die einfach physikalischen, die komplex physikalischen und die technologischen Stoffeigenschaften.

Die erste Gruppe beinhaltet die physikalischen Stoffeigenschaften einzelner Partikel, welche direkt messbar sind. Die zweite Gruppe bezeichnet Größen, die aus dem Zusammenspiel verschiedener Partikel resultiert. Mit den technologischen Stoffeigenschaften sind Messgrößen gemeint, die aus vereinfacht abgebildeten Mähdrescher-Teilprozessen abgeleitet werden, wie zum Beispiel der Durchdringungszeit von Weizenkörnern durch eine Strohschicht, welche das Trennungverhalten von Weizenkorn und Kurzstroh darstellt. In **Tabelle 1** ist die Einteilung der Stoffeigenschaften nach BECK zu sehen.

Tabelle 1: Einteilung der Stoffeigenschaften, Gruppierung nach BECK [4]

Einfach physikalische Stoffeigenschaften	Komplex physikalische Stoffeigenschaften	Technologische Stoffeigenschaften
Mittlere Gutfeuchte E-Modul G-Modul / Poissonzahl Geometrische Abmessungen Größenverteilung Masse Schüttdichte Reibzahlen Tausendkorngewicht Korn/NKB-Verhältnis Biegesteifigkeit Zugfestigkeit Knickverhalten Federrate Dämpfungsrate	Oberflächenfeuchte Stoßintensität / Energieaufnahme von Gutschicht Schwebegeschwindigkeit Kohäsion / Adhäsion Verdichtungsverhalten Haufwerkscherspannung Böschungswinkel	Fluidisierungsverhalten Durchdringungszeit

Da die DEM-Simulation eine Haufwerksimulation ist, ist die Einzelpartikelbetrachtung nicht zielführend. Diese eignet sich lediglich, um die Eingabeparameter für das Simulationsmodell zu erfassen. Durch die Verwendung von einfach und komplex physikalischen Versuchsständen können die einzelnen Modelle parametrisiert und verifiziert

werden. Technologische Versuchsstände eignen sich zur Validierung von DEM-Modellen. Daher wurde der technologische Prüfstand zur Ermittlung der Durchdringungszeit des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim als DEM-Modell nachgebildet. Mittels Versuchs- und Simulationsergebnisse wurden die Modelle für Weizenkorn- und Kurzstrohpartikel validiert.

3 Ermittlung eines geeigneten Stoffparametersatzes

Nach Ermittlung der einfach physikalischen Eigenschaften von Weizenkorn- und Kurzstrohpartikeln mittels Messungen wurden DEM-Simulationsmodelle dieser Partikel erstellt. In **Bild 1** ist der prinzipielle Aufbau dieser Modelle zu sehen.



Bild 1: DEM-Modell von Weizenkorn und Kurzstroh

Im ersten Schritt wurden die geometrischen Abmessungen und Dichte von Weizenkorn und Kurzstroh ermittelt und die entsprechenden Poissonzahlen aus der Literatur übernommen.

Mittels einfach und komplex physikalischer Versuchsstände, wie dem zur Untersuchung des Schüttwinkels, und nach Identifikation der relevanten Einflussgrößen dieser Versuchsstände durch eine Sensitivitätsanalyse, wurden die einzelnen Modellparameter verifiziert und die Modellfunktionsfähigkeit überprüft. Die Sensitivitätsanalyse erfolgte nach einem D-Optimalen Versuchsplan.

Die Überprüfung der Modellfunktionsfähigkeit erfolgte durch Nachbilden der Versuchsstände und Auswahl eines optimalen Stoffparametersatzes anhand von Messergebnissen von einfach und komplex physikalischen Stoffparametern und Literaturwerten. Mittels anschließendem Vergleich dieser Experimente mit den Simulationsmodellen wurde der ausgewählte Stoffparametersatz verifiziert und gegebenenfalls durch Iteration angepasst.

Anschließend erfolgte die Validierung der Weizenkorn- und Kurzstrohmodelle anhand eines Vergleichsprozesses. In diesem Fall wurden wie bereits erwähnt die DEM-Modelle anhand des Durchdringungszeitprüfstands überprüft und validiert.

4 Durchdringungszeitprüfstand

Mit dem Durchdringungszeitprüfstand wird der Entmischungsvorgang eines Stroh-Korn-Gemisches auf Strohschüttlern nachgebildet, siehe **Bild 2**. Es wird die Durchdringungszeit ermittelt, welche eine bestimmte Menge Körner benötigt, um durch eine schwingende Strohschicht zu gelangen [5]. Bei Beginn des Versuches fallen die aufgelegten Weizenkörner durch Öffnen eines Schiebers im Spaltboden in die darunterliegende schwingende Kurzstrohschicht. Nachdem die Körner die Strohschicht durchquert haben, fallen sie auf eine Waage, und die abgeschiedene Masse wird über der Zeit gemessen.

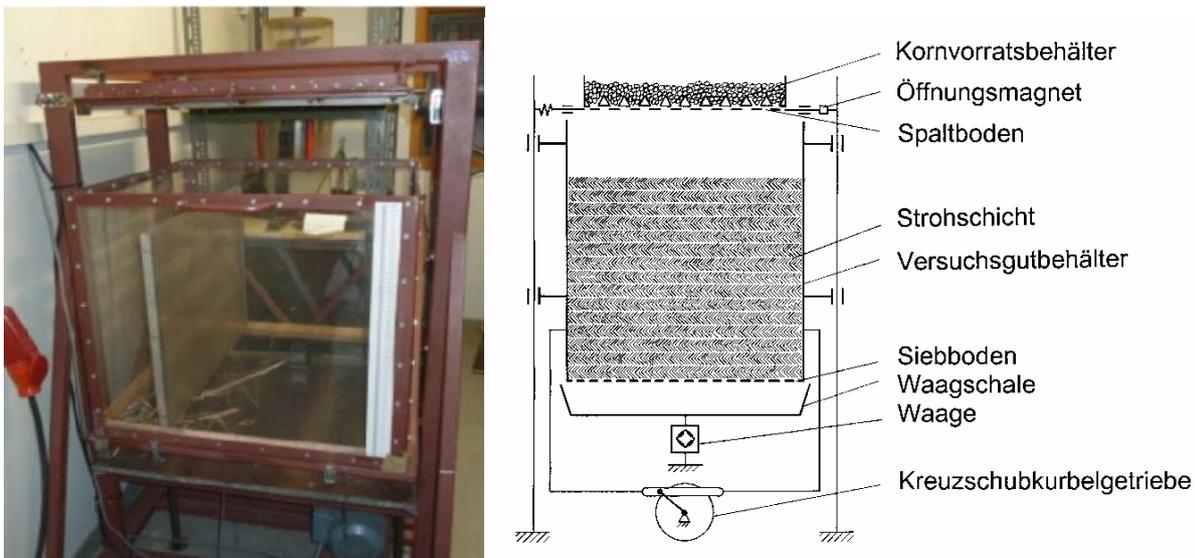


Bild 2: Gesamtansicht und schematische Darstellung Durchdringungsprüfstand

5 Ergebnisse – Vergleich Simulation und Experiment

Der Durchdringungszeitprüfstand wurde in EDEM als DEM-Modell aufgebaut. Um die Rechenzeit möglichst gering zu halten, wurde ein Ausschnitt von 5 x 10 cm des Prüfstands berechnet und ausgewertet. Als Randbedingung wurde das Material der Begrenzung als Stroh definiert, da die meisten Kontakte zwischen Strohpartikeln stattfinden. Es wurde die Durchdringungszeit von 700 g Korn durch eine Strohschicht von 300 g simuliert und gemessen. Dies entspricht im Simulationsausschnitt 110 Korn-

und 380 Strohpartikeln. In **Bild 3** ist links das Simulationsmodell und rechts der betrachtete Ausschnitt als Rahmen zu erkennen.

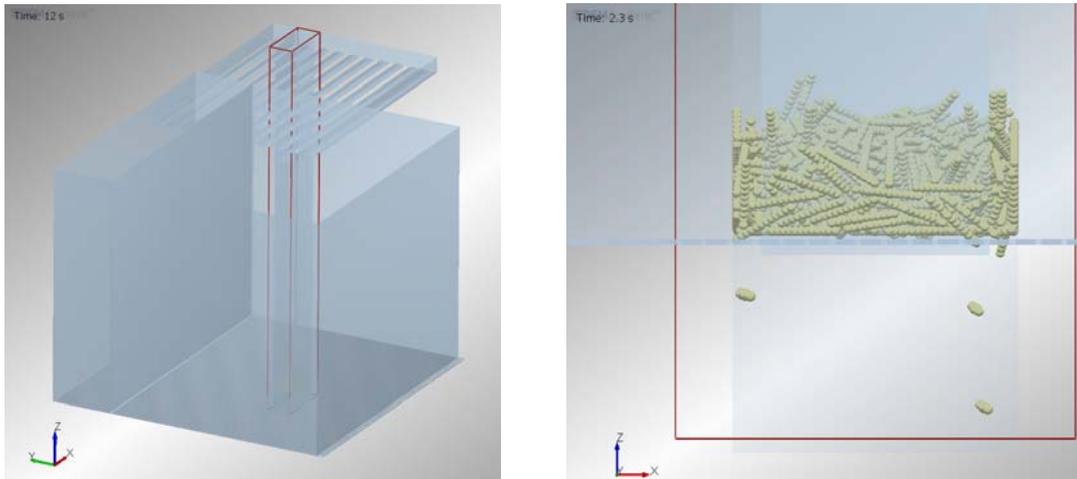


Bild 3: Aufbau des Simulationsmodells des Durchdringungszeitprüfstands

Zu Beginn wird der Versuchsgutbehälter mit Kurzstroh und der Kornvorratsbehälter mit Korn gefüllt. Anschließend öffnet sich der Schieber unterhalb des Spaltbodens und die Körner fallen in die Strohschicht. Die Körner wandern durch diese hindurch und fallen aus dem Simulationsbereich. Die abgeschiedenen Körner werden hier über der Zeit gezählt. Mit diesen Werten lässt sich nur der Durchdringungszeitverlauf darstellen. In **Bild 4** sind die Ergebnisse der Durchdringungszeit aus Simulation und Experiment zu sehen.

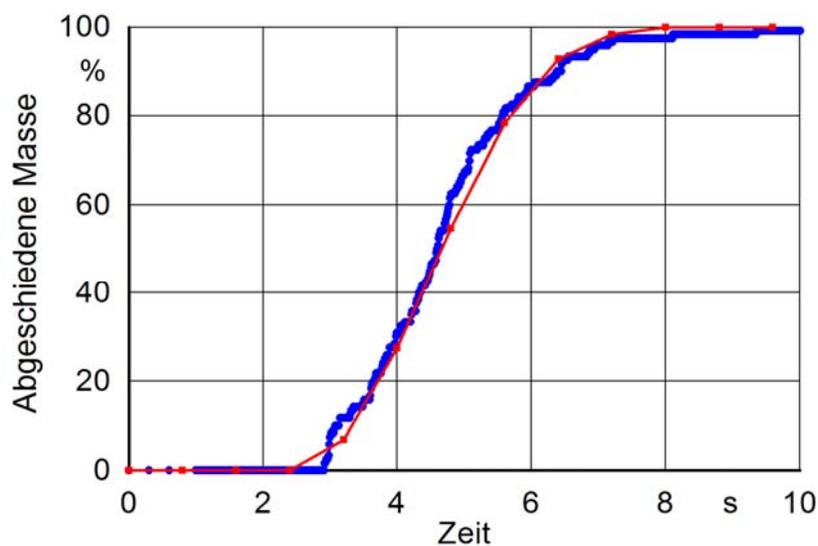


Bild 4: Durchdringungszeit aus Simulation und Experiment

6 Zusammenfassung und Ausblick

Mit einfach und komplex physikalischen Versuchsständen lassen sich Stoffparameter von einzelnen Gütern ermitteln und die Simulationsmodelle verifizieren. Technologische Versuchsstände wurden zur Validierung von solchen Modellen verwendet.

Mit den erstellten DEM-Modellen ist es möglich das Transport- und Entmischungsverhalten auf dem Vorbereitungsboden zu simulieren. Wenn weitere Prozesse modelliert werden sollen, wie zum Beispiel das Transport- und Ausblasverhalten auf und über den Sieben oder in der Fallstufe, müssen weitere Einflussgrößen, wie das Strömungsverhalten, untersucht und in das Modell implementiert werden. Hierzu müssen die entsprechenden Stoffeigenschaften ermittelt und über Vergleichsprozesse validiert werden. Durch eventuelle Vereinfachungen in der Modellierung bzw. weitere, angepasste Modelle von Weizenkorn und Kurzstroh verhindern hohe Rechenzeiten. Als Vergleichsprozess kann hierzu der Fluidisierungsprüfstand herangezogen werden.

7 Literaturangaben

- [1] Cundall, P.A. und O.D.I. Strack: A Discrete numerical model for Granular Assemblies. *Géotechnique* 29 (1979) H. 1, S.47-65
- [2] DEM Solutions Ltd.: EDEM 2.4 User Guide. Edinburgh, Scotland, UK, 2012
- [3] Kutzbach, H.D., M. Kustermann und R. Scherer: Elastizitätsmodul, Kompressibilität und weitere mechanische Eigenschaften von Körnerfrüchten. *Grundlagen der Landtechnik* 35 (1985) H. 6, S.189-195
- [4] Beck, T.: Meßverfahren zur Beurteilung des Stoffeigenschaftseinflusses auf die Leistung der Trennprozesse im Mähdrescher. Dissertation Universität Stuttgart, Fortschritt-Berichte VDI Reihe 14 Nr. 54. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1992.
- [5] Beck, T.: Entwurf eines Prüfstandes zur Ermittlung der Durchdringungszeit von Körnern durch ein vertikal schwingendes Strohhauwerk. Diplomarbeit D 235 S, 1987, Universität Stuttgart, Lehr- und Forschungsgebiet Landmaschinen.

Lastkollektive von Mähdrescherantrieben für spezifische Teilaufgaben beim Mähdrusch

M.Sc. Christoph Müller, Dipl.-Ing. Steffen Häberle, Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger, Institut für Agrartechnik, Grundlagen der Agrartechnik, Stuttgart, Dr.-Ing. Thomas Anderl, Bosch-Rexroth AG, Elchingen

1 Einleitung

Am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim laufen Grundlagenuntersuchungen zu Antriebskonzepten beim Mähdrescher. Dabei wurden umfassende Messungen zu Leistungsbedarf und -verteilung der Funktionsgruppen durchgeführt [1, 2]. Die Auswertung der Feldversuche hat gezeigt, dass eine Vielzahl von Einflussfaktoren die Intensität und Dauer der auftretenden Belastungen bestimmt. Neben den bereits häufig in der Literatur beschriebenen Faktoren wie Fruchtart, Durchsatz und Gutfeuchte, spielt das Einsatzprofil des Mähdreschers eine entscheidende Rolle. Dieses beinhaltet die verfahrenstechnischen Grundaufgaben, welche sich aus dem Ablauf des Ernteverfahrens ergeben, und deren Zeitanteile am Gesamtverfahren. Konkrete Einsatzprofile sind zur Bewertung von Antrieben mobiler Arbeitsmaschinen unablässig [3].

In diesem Beitrag werden am Beispiel eines Feldes die spezifischen Belastungen der einzelnen Teilaufgaben unter Berücksichtigung des Einsatzprofils aufgezeigt.

2 Versuch und methodisches Vorgehen

Mähdrescher weisen, ähnlich wie die meisten mobilen Arbeitsmaschinen, ein typisches Lastprofil auf. Dies gilt sowohl für die Betrachtung der Gesamtmaschine als auch der einzelnen Baugruppen. Beim Ernten eines Feldes fallen für die einzelnen Funktionsgruppen typische Sequenzen aus Volllast, Teillast und Leerlauf an [4]. Dabei hat das gewählte Verfahren ebenso einen Einfluss wie die Umgebungsparameter. Faktoren wie beispielsweise Maschineneinstellung, Fruchtart oder auch die Schlagstruktur lassen sich in der Regel gut bestimmen. Der Einfluss von heterogenen Beständen, schwankender Feuchte, instationärem Durchsatz oder des Fahrers kann hingegen nur bedingt berücksichtigt werden. Der

verfahrensbedingte Einfluss resultiert aus den typischen Belastungen der einzelnen Teilaufgaben und aus den jeweiligen Zeitanteilen.

Da Feldversuche nur einen kleinen Teil der möglichen Anforderungen abdecken können, können durch das Herunterbrechen auf typische Belastungszyklen der einzelnen Teilaufgaben und die anschließende Rekombination eine Vielzahl an Lastkollektiven für unterschiedliche Einsatzprofile synthetisiert werden. Somit ist es möglich die Versuchsergebnisse auf andere Bedingungen zu übertragen.

Definition der Teilaufgaben

In **Bild 1** sind die bei den Versuchen aufgetretenen Teilaufgaben abgebildet. Dem Ablauf liegt ein rechteckiges Feld zugrunde. Dabei wurden die Anfahrt zum Feld und mögliche Stillstandphasen nicht berücksichtigt.

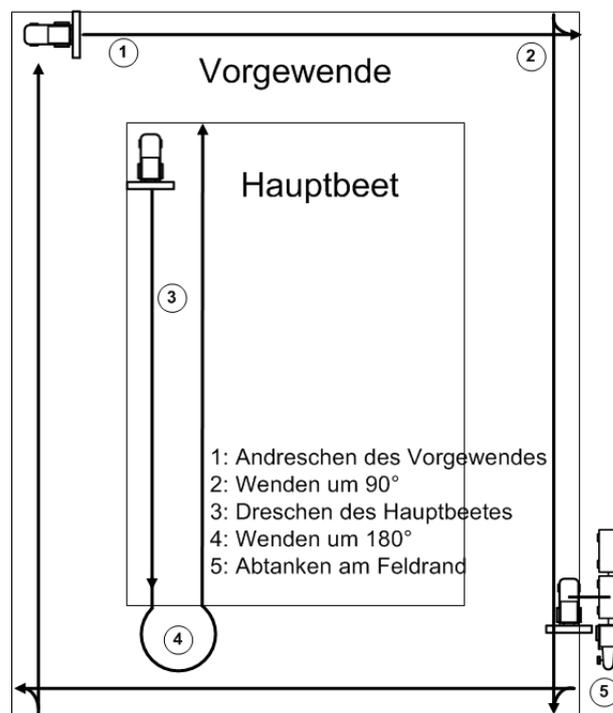


Bild 1: Teilaufgaben beim Mähdrusch

Bei der Unterteilung in die einzelnen Arbeitsphasen werden aufgezeichnete Maschinendaten (z.B. Geschwindigkeit) und Messdaten (z.B. Drehmoment) aus dem CAN-Bus-basierten Messsystem zur Klassierung herangezogen.

Das Andreschen eines Feldes setzt sich aus dem Wechsel von Dreschen ① und Wenden um 90° ② zusammen. Besonders bei der äußersten Bahn wird deutlich langsamer gefahren als im Hauptbeet, da beispielsweise auf Grund benachbarter

Felder oder des Feldrains sehr exakt gesteuert werden muss. Darüber hinaus muss beim Wenden auf Grund der beengten Platzverhältnisse oft mehrmals rangiert werden. In Kombination mit Ertragsdepressionen im Randbereich resultieren daraus geringe Durchsätze und somit auch geringere Belastungen an den Arbeitselementen. Darüber hinaus ist der Zeitaufwand pro Flächeneinheit größer. Um für das Ernten des Hauptbeetes ein 180°-Wendemanöver zu ermöglichen, haben sich bei einer Schneidwerksbreite von 7,5 m 3 Bahnen für das Vorgewende als ausreichend erwiesen.

Das Abernten des Hauptbeetes ③ erfolgte Spur an Spur. Dabei ist es das Ziel, den Mähdrescher möglichst an der Leistungsgrenze zu betreiben. Im Idealfall kann die installierte Motorleistung voll ausgeschöpft werden, häufig sind jedoch Faktoren wie beispielsweise die Prozessgüte (Kornverluste) begrenzend. Die unproduktiven Arbeitsschritte, wie das Wenden ④, wurden möglichst kurz gehalten. Beim Ausfahren aus dem Bestand wird ausgehend von der Arbeitsgeschwindigkeit beschleunigt und kurz vor dem erneuten Einfahren wieder auf Arbeitsgeschwindigkeit verzögert. Das Abtanken ⑤ erfolgte am Feldrand und beinhaltet neben dem Überladevorgang auch das An- und Abfahren.

3 Ergebnisse

Den folgenden Ergebnissen liegt ein rechteckiger Weizenschlag mit 3 ha zu Grunde. Die Gesamtarbeitszeit beträgt 1,22 h. Die Ertragskartierung hat einen durchschnittlichen Ertrag von 7,1 t/ha ergeben. Exemplarisch werden die Lastkollektive (Verweildauer-Verfahren) für das Dreschwerk (Drehmoment) und den Fahrtrieb (Hochdruck Arbeitsleitung, A-Seite) herangezogen.

Einsatzprofil

In **Bild 2** sind die relativen Zeitanteile der oben eingeführten Arbeitsschritte aufgeführt. Auffällig ist, dass für die Arbeitsfahrt am Vorgewende und am Hauptbeet etwa die gleiche Zeit benötigt wird. Dies ist auf die Feldstruktur zurück zu führen. Bei dem Längen-Breiten-Verhältnis von 3 zu 1 und einer effektiven Arbeitsbreite von 7,2 m entfällt auf das Vorgewende rund die Hälfte der Fläche. Die 90°-Wendemanöver am Vorgewende beanspruchen fast doppelt so viel Zeit wie das Wenden um 180° am Hauptbeet. Durch die drei Runden Andreschen ergeben sich insgesamt elf 90°-Wendevorgänge, die dafür benötigte Zeit ist somit unabhängig von

der Feldgröße. Die 180°-Wendemanöver hingegen sind von der Feldbreite und der Arbeitsbreite abhängig. Die Häufigkeit des Abtankens ist eine Funktion aus Korndurchsatz, Schüttdichte und Korntankvolumen. Im angeführten Beispiel waren 4 Überladevorgänge notwendig und dies bedeutet mit 18,5% einen erheblichen Zeitaufwand.

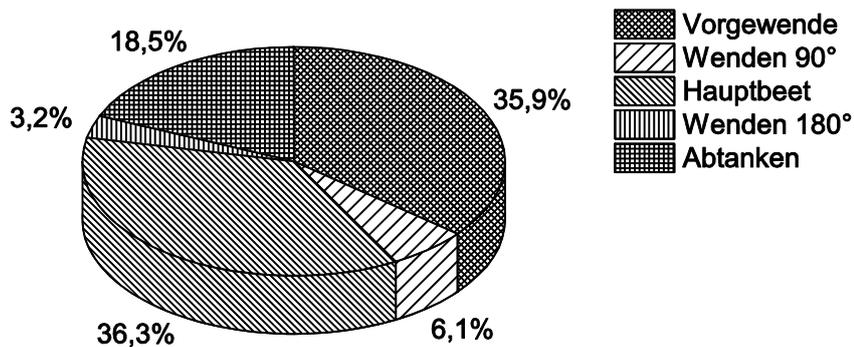


Bild 2: Einsatzprofil des 3 ha Versuchsfeldes

Lastkollektive

In **Bild 3** und **Bild 4** sind die Lastkollektive (Klassen- und Summenhäufigkeit) für das gemessene Drehmoment am Dreschwerk und der Druck der A-Seite des Fahrtriebes abgebildet. Das Gesamtkollektiv (jeweils links oben) setzt sich aus den Teilkollektiven der fünf unterschiedlichen Arbeitsschritte und dem dazugehörigen Zeitanteil aus dem Einsatzprofil zusammen. Der Messbereich wurde jeweils in 20 Klassen geteilt und auf die maximal auftretende Belastung normiert.

Beim Gesamtkollektiv des Dreschwerks (Bild 3) fällt der hohe Anteil bei $0,1 M_{max}$ ins Auge. Dies entspricht der Leerlaufbelastung des Dreschwerks. Der Hauptarbeitsbereich liegt bei ca. 40% der Maximallast. Lediglich 10% der Werte liegen über $0,6 M_{max}$, nicht einmal 1% über $0,8 M_{max}$.

Bei der Betrachtung der Teilkollektive wird deutlich, bei welchem Arbeitsschritt die unterschiedlichen Beanspruchungen auftreten. Der Hauptarbeitsbereich am Vorgewende fällt etwas niedriger aus als beim Hauptbeet, da der Korndurchsatz, wie oben erläutert, hier auf Grund der geringeren Fahrgeschwindigkeit und Bestandsdichte etwas niedriger ist. Die auftretende Maximallast ist dem Abernten des Hauptbeetes zuzuordnen. Bei den Arbeitsschritten ohne Durchsatz liegt in den Verarbeitungselementen (Wenden 90°, 180° und Abtanken) nur die Leerlaufbelastung, hervorgerufen durch Reibung und Luftwiderstand (Gebläsewirkung), an.

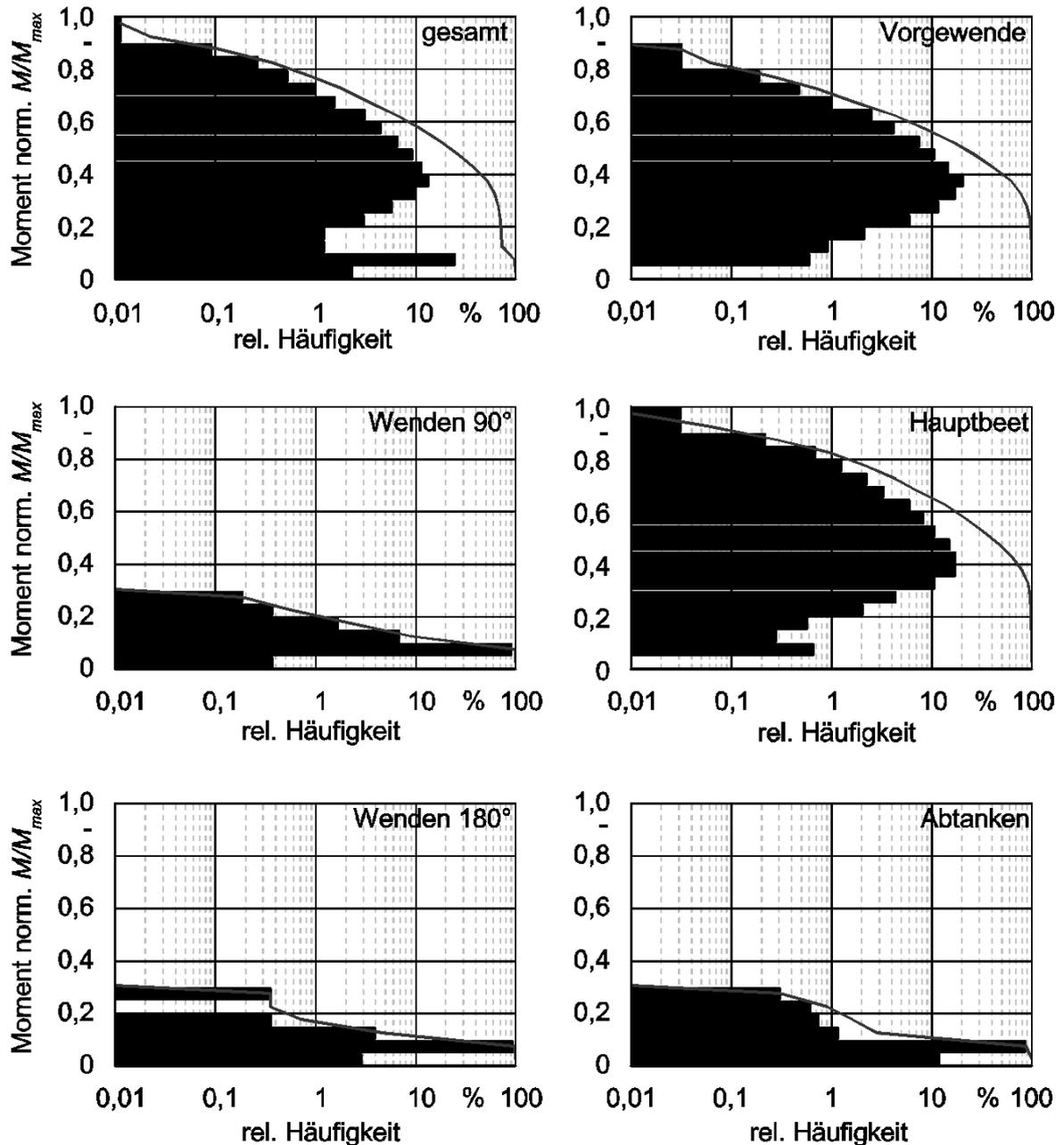


Bild 3: Gesamtkollektiv (links oben) und Teilkollektive der verschiedenen Arbeitsschritte erfasst am Dreschwerk

Das Gesamtkollektiv der Druckverteilung weist ebenfalls einen ausgeprägten Wertebereich bei Werten von 0,3 bis 0,5 p_{max} auf, welcher dem Hauptarbeitsbereich zuzuordnen ist. Der Bereich bei 0,1 p_{max} entspricht dem Speisedruck des Systems. Druckspitzen größer 0,6 p_{max} treten in weniger als 1% der Fälle auf. Der Druck im Hauptarbeitsbereich stellt sich bei konstanter Geschwindigkeit während der Arbeitsfahrt beim Dreschen (Vorgewende, Hauptbeet) ein. Hier werden in der Regel

Geschwindigkeiten zwischen 4 und 7 km/h gefordert. Intensive Beschleunigung oder Verzögerung treten nicht auf. Die Druckspitzen entstehen beim Druckwechsel von Nieder- auf Hochdruck während des Reversierens bei den 90°-Wendemanövern.

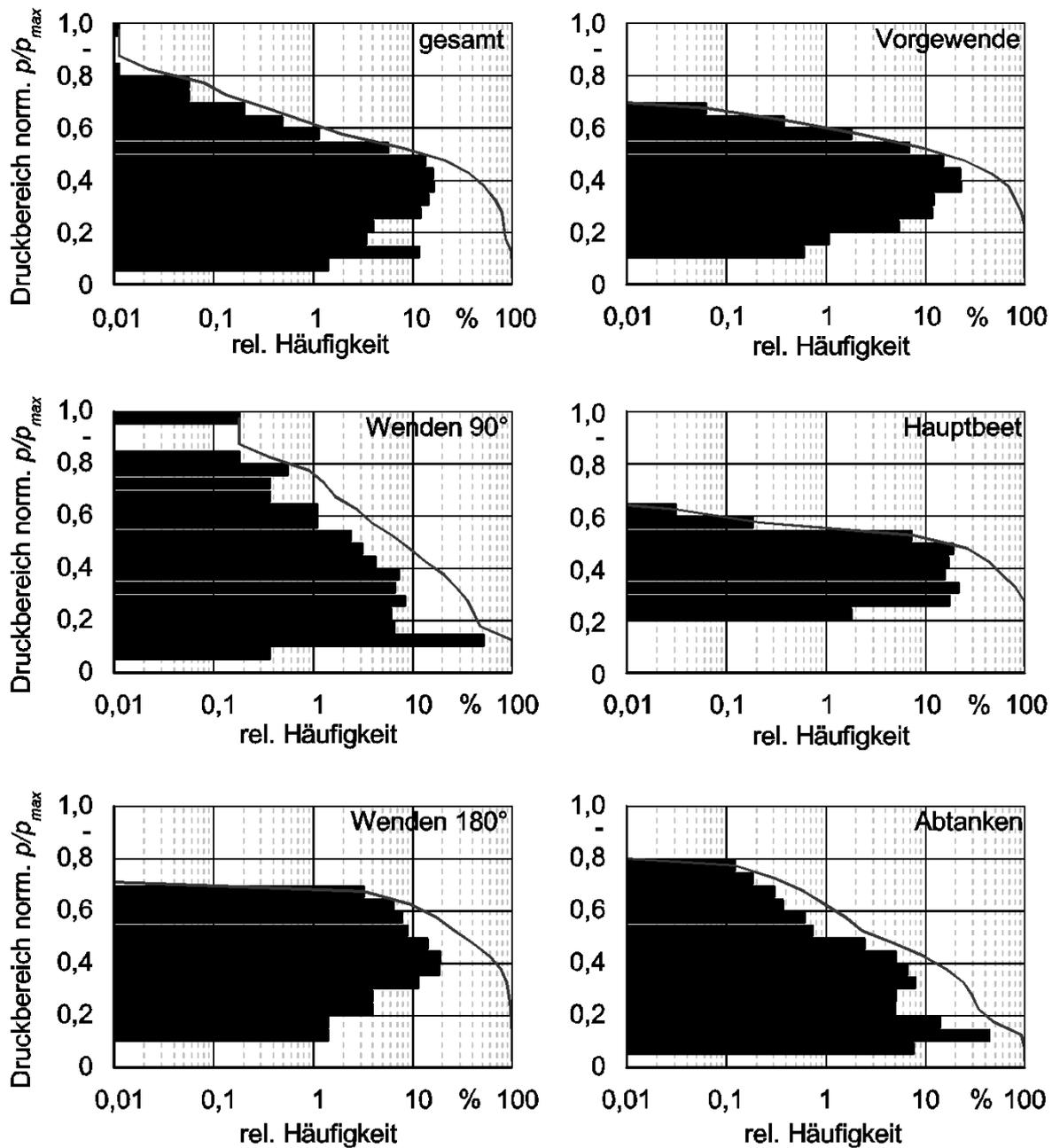


Bild 4: Gesamlastkollektiv (links oben) und Teilkollektive der verschiedenen Arbeitsschritte erfasst am Vorlauf des Fahrtriebs

Der hohe Zeitanteil des Speisedrucks (ca. 50%) ist der Rückwärtsfahrt zuzuordnen, wenn Hoch- und Niederdruckseite im Hydrostaten wechseln. Beim Wenden um 180° stellt sich ein ähnlicher Druckbereich wie bei der Arbeitsfahrt ein, durch das Beschleunigen und Verzögern bei der Aus- und Einfahrt in den Bestand treten leichte

Schwankungen auf. Das Teilkollektiv beim Abtanken setzt sich aus einem großen Anteil mit Speisedruck, der im Stand beim Überladen entsteht und einem breiten Druckbereich bis $0,8 p_{max}$, der sich bei der schnellen Fahrt zwischen Bestand und Feldrand einstellt.

4. Synthetisieren von Lastkollektiven

Durch die Rekombination der Teilkollektive können verschiedene synthetische Lastkollektive generiert werden. Dazu müssen die Kollektive mit den entsprechenden Zeitanteilen aus einem synthetischen Einsatzprofil kombiniert werden.

Im folgenden Beispiel wurde das Einsatzprofil auf einen 10 ha Schlag mit Überladevorgang während der Arbeitsfahrt, bei sonst gleichen Umgebungsbedingungen, abgeleitet, **Bild 5**. Durch diese Annahme fällt zum einen das Teilkollektiv „Abtanken“ aus dem Gesamtkollektiv, zum anderen ändern sich die Verhältnisse der restlichen vier Arbeitsschritte zueinander. Der Gesamtarbeitszeitbedarf erhöht sich von 1,22 h auf 2,73 h, was einer Steigerung der Flächenleistung von 2,45 ha/h auf 3,66 ha/h entspricht.

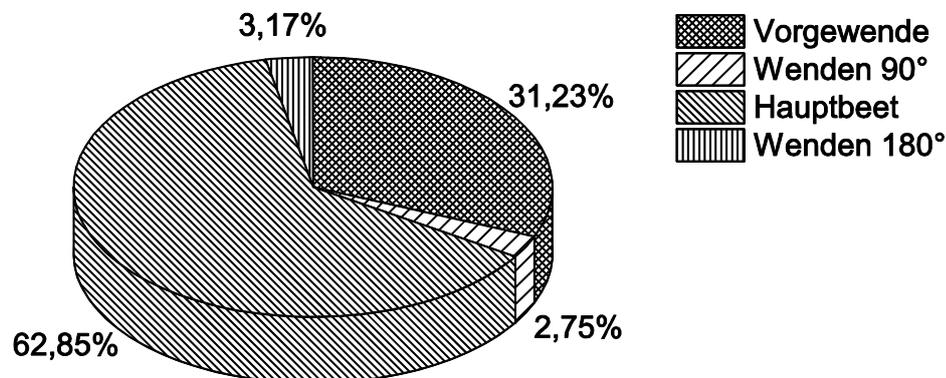


Bild 5: Einsatzprofil eines 10 ha Schlags mit Überladen bei der Arbeitsfahrt

In **Bild 6** ist die Auswirkung auf das Gesamtkollektiv des Dreschwerks zu erkennen. Auch wenn die Ausprägung der beiden Diagramme ähnlich ist, weist das synthetische Lastkollektiv (rechts) deutlich weniger Zeitanteile bei der Leerlaufleistung, dafür einen stärker ausgeprägten Hauptarbeitsbereich sowie höhere Anteile mit maximalem Moment auf. Die Intensität der Belastung am Dreschwerk ist deutlich höher und somit auch die durchschnittlich benötigte Antriebsleistung.

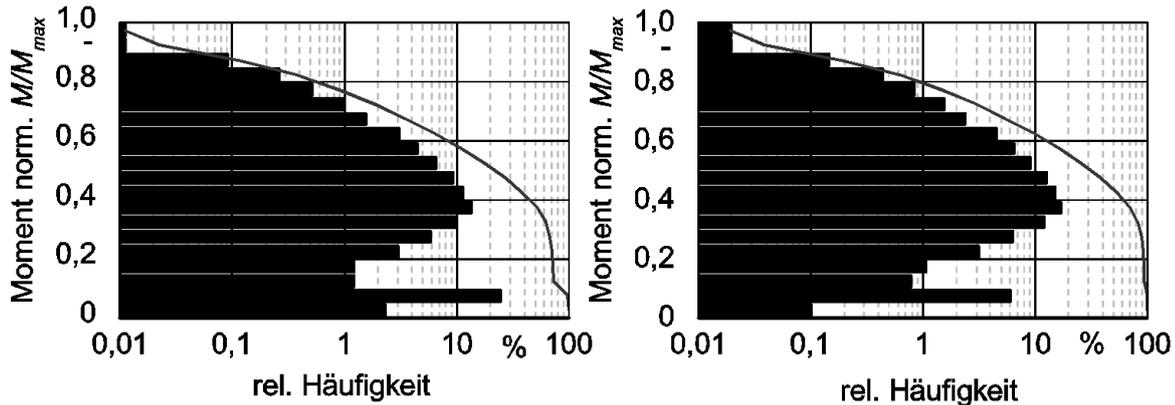


Bild 6: Gesamtkollektive des Dreschwerks für das gemessene 3 ha Feld (links) und das synthetisierte 10 ha Feld (rechts)

5 Zusammenfassung

Am Institut für Agrartechnik in Hohenheim wurden mit einem Versuchsmähdrescher Typ Claas Lexion 470 Untersuchungen zum Leistungsbedarf einzelner Funktionsgruppen am Mähdrescher durchgeführt. Die so erfassten Belastungs-Zeit-Funktionen konnten durch sequenzielles Zuordnen zu verfahrenstypischen Teilaufgaben in entsprechende Teilkollektive zerlegt werden. Die Analyse dieser Teilkollektive lässt zum einen die Bewertung und Identifizierung der auftretenden Belastung bei dem zu Grunde liegenden Einsatzprofil zu, zum anderen können durch die Rekombination der Teilkollektive Gesamtkollektive für andere Bedingungen abgeleitet werden.

6 Literaturangaben

- [1] Müller, C., S. Böttinger und T. Anderl: Untersuchungen zum Leistungsbedarf und zur Leistungsverteilung bei Mähdreschern. VDI-MEG Tagung Landtechnik, 6./7.11.2012, Karlsruhe. In: VDI-Berichte Nr. 2173, Düsseldorf: VDI-Verlag 2012, S. 285-290.
- [2] Müller, C., S. Böttinger und T. Anderl: Lastkollektive und Leistungsverteilung beim Mähdrescher. Landtechnik 67 (2012) H 4, S. 270-273.
- [3] Fleczonek, T., H.-H. Harms und T. Lang: Voraussetzungen zur Effizienzbewertung von Antrieben mobiler Arbeitsmaschinen. Landtechnik 66 (2011) H 6, S. 426-429.
- [4] Gallmeier, M.: Vergleichende Untersuchungen an hydraulischen und elektrischen Baugruppenantrieben für landwirtschaftliche Arbeitsmaschinen. Dissertation Technische Universität München, 2009, Forschungsbericht Agrartechnik der VDI-MEG Nr. 479.

Elektrifiziertes Antriebssystem für Mähdrescherschneidwerke

Dipl.-Ing. Steffen Wöbcke, Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Herlitzius
TU Dresden, Institut für Verarbeitungsmaschinen und mobile Arbeitsmaschinen,
Professur für Agrarsystemtechnik, 01062 Dresden

Dipl.-Ing. Uwe Schuffenhauer, Prof. Dr.-Ing. Norbert Michalke
HTW Dresden, Fakultät Elektrotechnik, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden

Dipl.-Ing. Judith Seyfarth
EWM Eichelhardter Werkzeug & Maschinenbau GmbH, 57612 Eichelhardt

B. Eng. Paul Hornberger
Gebr. Schumacher GmbH, 57612 Eichelhardt

Dipl.-Ing. Friedrich Mörtl
Compact Dynamics, 82319 Starnberg

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Müller
Zürn Harvesting GmbH & Co KG, 74214 Schöntal-Westernhausen

1 Einleitung

Die Anforderungen an selbstfahrende Mähdrescher und deren Antriebssysteme im globalen Markt beziehen sich auf die Steigerung der Produktivität zur Senkung der Erntekosten und einer Erhöhung der Wirtschaftlichkeit. Bislang wurde diesen Forderungen neben einer Vergrößerung des Bearbeitungskanals, funktionellen Verbesserungen, einer stetigen Leistungserhöhung der Dieselmotoren, durch höhere Fahrgeschwindigkeiten und Schnittfrequenzen sowie immer größere Schnittbreiten der Schneidwerke Rechnung getragen. Bei Großmähdreschern in Europa bewegen sich die Schneidwerksbreiten der Standardschneidwerke im Bereich von 9 bis 12 m (30 ft bis 40 ft).

Die Erhöhung der installierten Leistung ist mit leistungsfähigeren Dieselmotoren, größer dimensionierten Kraftübertragungselementen sowie der Gewichts- und Bauraumzunahme der Maschinen verbunden. Mähdrescher sind damit heute am gesetzlichen Limit von Transporthöhe, Transportbreite und zulässigen Achslasten angekommen. Deshalb bedarf es zur Steigerung der Flächenleistung und der Produktivität nicht nur einer Vergrößerung der Arbeitsbreiten und Steigerung der installierten Motorleistung, sondern auch der Umsetzung neuer Maschinenkonzepte und bauraumoptimierter, energieeffizienter Antriebskonzepte [1,2,3]. Eine Steigerung der Arbeitsproduktivität kann ebenfalls durch höhere Auslastung der installierten

Leistung mittels Automatisierungslösungen erzielt werden. Diesen Forderungen kann unter anderem durch eine Neu- bzw. Weiterentwicklung der bisherigen Schneidwerke unter Verwendung von funktionspezifischen, dezentralen und modular gestalteten Antriebseinheiten nachgekommen werden.

2 Ziele

Bei reduziertem Bauraum des Gesamtantriebsstrangs soll für Schneidwerke größer 9 m (30 ft) Arbeitsbreite ein gesteigerter Nutzen erzielt werden, der aus der für elektrische Antriebe charakteristischen hervorragenden Steuer- und Regelbarkeit und der Einsparung von Bauvolumen an den Seitenwänden durch Integration der Antriebe in die Funktionselemente resultiert. Diese Integration ermöglicht eine Systemvereinfachung durch Verringerung der vielen Antriebs- und Übertragungselemente. Der freiwerdende Bauraum verkleinert deutlich die Bereiche an den Seiten des Schneidwerkes, in denen keine Schnitt- und Förderprozesse stattfinden können, wodurch das Überfahren von Bestand verringert und die Manövrierbarkeit an Rändern und Hindernissen verbessert wird.

Mit elektromechanisch wirkenden Antriebskomponenten lassen sich zentrale sowie dezentrale Antriebe und damit verbunden Leistungsübertragungsstränge vereinfachen, dabei die Grenzen heutiger Riemen- und Kettenantriebe erweitern und die höheren Antriebsleistungen übertragen. Darüber hinaus ermöglichen elektrische Antriebe Funktionalitätserweiterungen und neue Strategien des Antriebsstrangmanagements [4].

In einem Entwicklungsprojekt werden die rotatorischen Antriebe eines Getreideschneidwerkes elektrifiziert und die Funktionselemente Haspel, Querförderschnecke, Messerantrieb, Einzugsbänder und Seitenmesser mit elektrischen Antrieben ausgestattet. In **Bild 1** sind die Bauelemente und deren heutige Anordnung im Schneidwerk dargestellt.

Durch die Verwendung von elektrischen Antrieben im Mähdrescherschneidwerk kann eine veränderliche Drehzahl aller Antriebe bei bekannter Leistungsverteilung dargestellt werden. Während die Haspel mittels hydraulischen Antriebs bereits aktuell in der Drehzahl verändert werden kann, ist dies bei den Bauelementen Querförderschnecke und Einzugsbänder nur in wenigen, festgelegten Stufen und beim Messerantrieb und dem Antrieb der Seitenmesser nicht möglich.

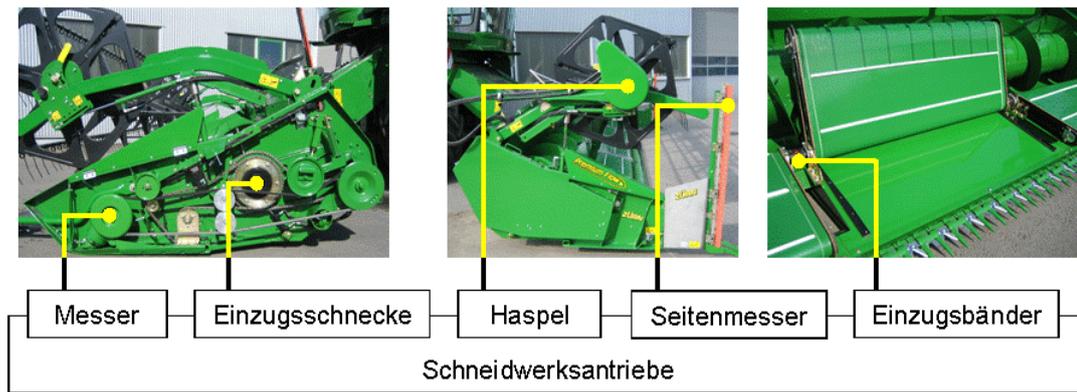


Bild 1: Übersicht der Anordnung einzelner Funktionselemente im Schneidwerk

Mit dem neuen Antriebskonzept ist es weiterhin möglich, die Funktionselemente bei Stauungen im Gutfluss separat zu reversieren. Aktuell kann die Reversierung nur für alle Bauelemente gleichzeitig über den Gesamtantrieb des Schneidwerkes erfolgen. Des Weiteren ist mit den drehzahlveränderlichen Antrieben die Einstellung von Drehmomentgrenzen als Überlastsicherung für jedes Funktionselement während des Betriebs möglich. Bisher erfolgt die Drehmomentbegrenzung der Funktionselemente als Überlastsicherung bei der Haspel über ein Druckbegrenzungsventil, bei der Querförderschnecke über eine Rutschkupplung, beim Messerantrieb über den Keilriemen bzw. ebenfalls über eine Rutschkupplung und bei den Einzugsbändern über eine mechanische Kupplung. Bei den Seitenmessern wird dies je nach Antriebsart über das Druckbegrenzungsventil, die Begrenzung des Mähmesserantriebes oder das maximale Drehmoment der Elektromotoren realisiert. Eine Veränderung der Drehmomentbegrenzung ist aktuell für keinen der Antriebe vorgesehen.

Mit dem elektrifizierten Antriebssystem ist es möglich, die aktuelle Auslastung und Leistungsverteilung über die systeminterne Messung von Drehmoment und Drehzahl der einzelnen Funktionselemente zu ermitteln, was im konventionellen Antriebsstrang in einer Serienlösung nicht möglich ist. Mit den zur Verfügung stehenden Informationen Drehmoment und Drehzahl ist der Leistungsfluss und die aktuelle Auslastung im Antriebsstrang zu jedem Zeitpunkt bekannt. Die Möglichkeit der individuellen und stufenlosen Drehzahl- und Drehmomenteinstellungen erlaubt höchste Flexibilität bei der Auslegung von Funktion und Konstruktion der Antriebselemente sowie der Implementierung von Regelalgorithmen, die zu einer Erhöhung der Mähdrescherleistung führen sollen.

In **Tabelle 1** sind die zu elektrifizierenden Funktionselemente im Getreideschneidwerk mit deren Eigenschaften und den neuen Funktionalitäten durch die Verwendung elektrischer Antriebe zusammengefasst.

Tabelle 1: Übersicht der einzelnen Schneidwerkselemente

	Haspel	Querförderschnecke	Messerantrieb	Einzugsbänder
Drehzahlvariabilität	existiert	erwünscht (heute gestuft)	erwünscht	erwünscht (heute gestuft)
separate Reversierung	erwünscht (derzeit nur über Gesamtantrieb)	erwünscht (derzeit nur über Gesamtantrieb)	-	erwünscht (derzeit nur über Gesamtantrieb)
Drehmomentbegrenzung einstellbar	erwünscht (derzeit über Druckbegrenzungsventil)	erwünscht (derzeit mit mechanischer Rutschkupplung)	erwünscht	-
Sensorik n[min^{-1}], M[Nm]	erwünscht	erwünscht	erwünscht	-
neue Funktionalität	Regelbarkeit und Rückmeldung des elektrischen Systems ermöglichen: Belastungsmonitor, variable Drehmomentgrenze, Erfassung eines Durchsatzsignals, Drehzahlregelung, Reversierbarkeit einzelner Funktionselemente			

3 Systemaufbau

In einem in sich geschlossenen System wird die Erzeugung, Umformung, Speicherung und Weiterleitung der elektrischen Energie zum Leistungsverbraucher einschließlich des dazugehörigen Energiemanagements am Schneidwerk realisiert. Dazu ist der Generator zur Umformung der mechanischen in elektrische Energie direkt am Schneidwerk montiert, sodass vorhandene Schnittstellen für Leistung und Information zum Mähdrescher in Form der existierenden Gelenkwelle und des CAN-Bus erhalten bleiben. Die Kühlung der elektrischen Komponenten erfolgt ebenfalls am Schneidwerk in einem geschlossenen Kreislauf, wodurch das Schneidwerk unabhängig von externer elektrischer Energie und einem externen Kühlkreislauf bleibt.

Bild 2 zeigt die Architektur des elektrischen Antriebssystems. Der Generator, betrieben von der Mähdrescherzapfwelle am Schrägförderer, wandelt die mechanische in elektrische Energie und speist diese mittels der integrierten

Leistungselektronik gleichgerichtet in den Gleichspannungszwischenkreis. Das Spannungsniveau des Gleichspannungszwischenkreises beträgt 58 V (Spannungsbereich I nach IEC 60449). Dies hat den Vorteil, dass es sich hierbei um eine Kleinspannung ($< 50 \text{ V AC}$ bzw. $< 120 \text{ V DC}$) handelt, bei der es im Gegensatz zu Hochvoltsystemen keiner gesonderten Sicherheitsmaßnahmen, wie z.B. eines Isolationswächters, bedarf [5]. Darüber hinaus reduziert sich der Aufwand, um die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) der elektrischen Maschinen, Leistungselektronik und des übergeordneten Antriebsmanagements zu gewährleisten.

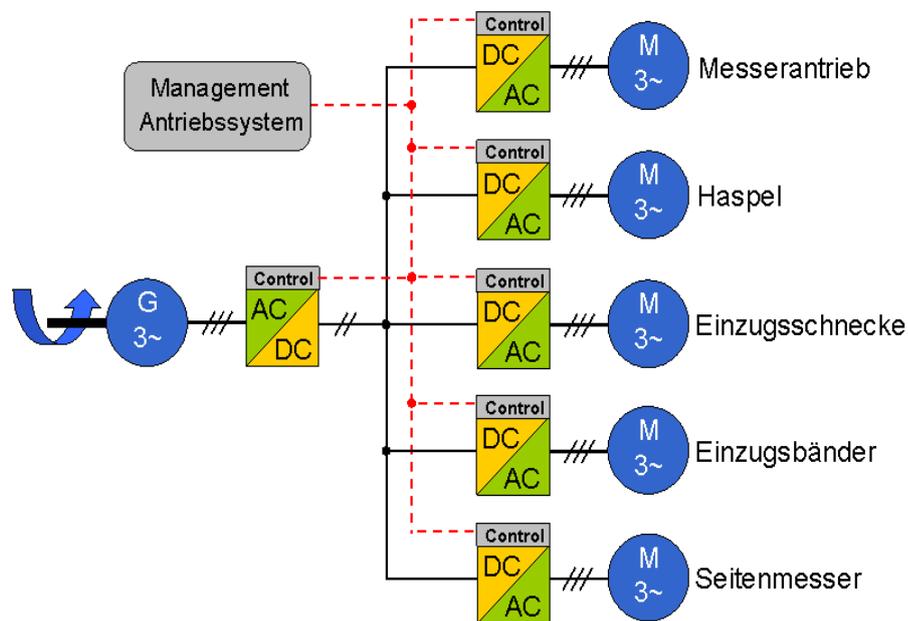


Bild 2: Architektur des elektrischen Antriebssystems

Die Antriebe der Funktionselemente beziehen die elektrische Energie aus dem Gleichspannungszwischenkreis und sind jeweils mit einem Wechselrichter versehen, der die Gleich- in eine Wechselspannung wandelt. Darüber hinaus existiert ein übergeordnetes Antriebsmanagement, das die Regelstrategien umsetzt und eine Kommunikation der einzelnen Antriebe untereinander auf dem internen CAN-Bus ermöglicht.

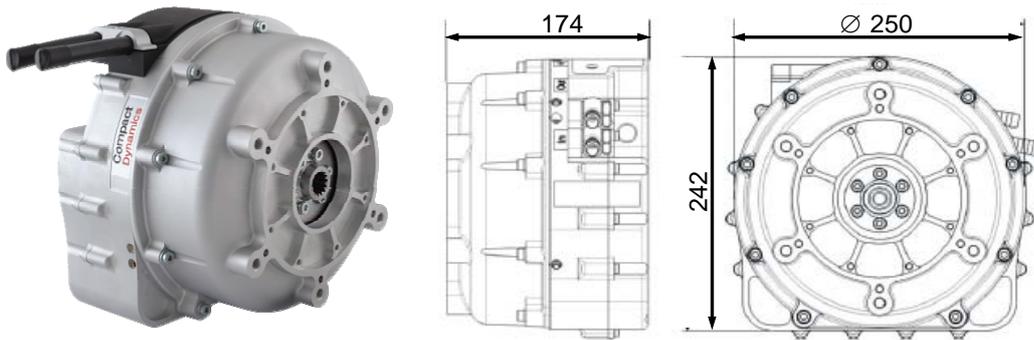


Bild 3: Abmaße der elektrischen Maschinen

In **Bild 3** ist die für die Generatoren und den überwiegenden Teil der Antriebe verwendete elektrische Maschine mit den Hauptabmessungen abgebildet. In **Tabelle 2** sind die dazugehörigen technischen Daten enthalten. Aufgrund der kompakten Abmaße ist es bei dem überwiegenden Teil der Funktionselemente möglich, den Antrieb integriert auszuführen.

Tabelle 2: Technische Daten der elektrischen Maschine

Technische Daten der elektrischen Maschine	
Leistungselektronik	integriert
Spannung DC	42 V – 58 V
Dauerleistung	20 kW (bei 58 V _{DC})
Maximalleistung	25 kW
Drehmoment	75 Nm (bis 3000 min ⁻¹)
Maximale Drehzahl	10.000 min ⁻¹
Kühlung	Wasser / Glycol
Masse	14 kg

In **Bild 4** ist das Wirkungsgradkennfeld der elektrischen Maschine inklusive Umrichter im Motorbetrieb dargestellt. Es ist erkennbar, dass sich der Wirkungsgrad in weiten Teilen des Kennfeldes zwischen 80 und 90 % bewegt.

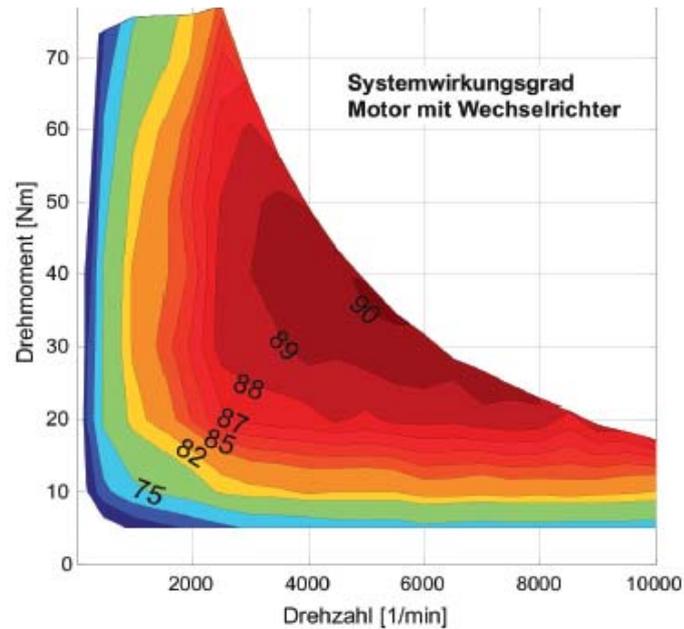


Bild 4: Wirkungsgrad Motorbetrieb (Maschine + Leistungselektronik)

Durch die Verteilung der Bewegungsabläufe auf elektrische Einzelfunktionsantriebe spielen die spezifischen Beanspruchungen gegenüber dem System mit ausschließlich mechanischem Antriebsstrang eine größere Rolle. Die Simulation in **Bild 5** zeigt in zwei Varianten den linear sinusoidalen Bewegungsablauf des Messerbalkens gemeinsam mit der Belastung der elektrischen Maschine.

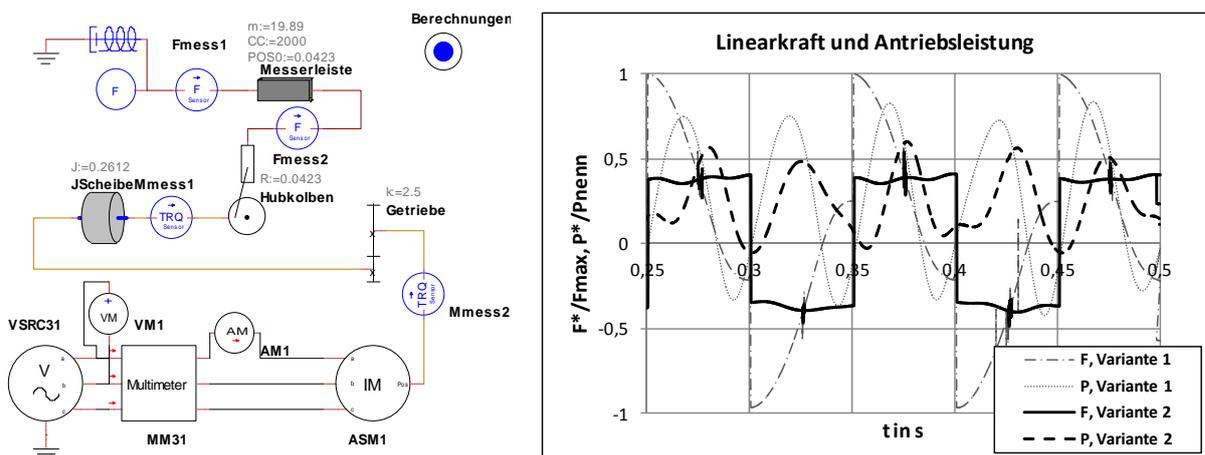


Bild 5: Messerantrieb in Portunus[®] und Simulationsergebnisse Linearkraft am Messerbalken sowie Leistung der elektrischen Maschine

Aus der Simulation ergeben sich Schlussfolgerungen für die Auswahl und die Dimensionierung der Antriebe anhand der stationären und dynamischen Lasten

sowie weiterhin Regelungsstrategien, mechanische Beanspruchungen und Leistungsflüsse im System.

4 Zusatznutzen drehzahlvariabler Antriebe im Schneidwerk

Mit dezentralen, elektrifizierten rotatorischen Antrieben eines Getreideschneidwerks kann im Vergleich zu dem konventionell mechanisch und hydraulisch angetriebenen Schneidwerk ein Zusatznutzen erzielt werden. Dieser Zusatznutzen entsteht durch die Vorteile der elektrischen Antriebe. Die dezentralen elektrischen Antriebe werden größtenteils in die Funktionselemente integriert, wodurch der Bauraum insbesondere an den Seitenwänden reduziert wird. Dies erhöht die Manövrierbarkeit an Hindernissen und Feldrändern und reduziert das Überfahren von Bestand, wodurch die Schneidwerksverluste gesenkt werden können. Die Vorteile der elektrischen Antriebe sind:

- Drehzahlvariabilität in Betrag und Drehrichtung
- variable Drehmomentgrenzen
- integrierte Messung von Spannung und Stromstärke und damit Drehmoment und Drehzahl

Aus diesen Vorteilen resultiert an Schneidwerk und Mähdrescher ein Zusatznutzen:

- Vergleichmäßigung des Gutflusses
 - Erhöhung Durchsatzleistung des Mähdreschers bei konstantem Verlustniveau
 - Reduzierung der Reinigungs- und Separationsverluste bei konstantem Durchsatzniveau
- Generierung eines durchsatzabhängigen Signals am Schneidwerk für die Durchsatzregelung des Mähdreschers
 - Erhöhung der Durchsatzleistung des Mähdreschers bei konstantem Verlustniveau
 - Reduzierung der Reinigungs- und Separationsverluste bei konstantem Durchsatzniveau
- Reduzierung von Verschleiß an den Antrieben und Funktionselementen
 - reduzierter Wartungs- und Instandhaltungsaufwand
 - reduzierte Kosten

- individuelle Reversierung möglich
 - schnelle Beseitigung von Stauungen im Gutfluss
 - reduzierte Stillstandszeiten und damit Steigerung der Mähdrescherleistung
- Condition-Monitoring
- Generierung von Lastkollektiven
- Wartungsintervalle belastungs- statt zeitabhängig
 - Reduzierung von Wartungsaufwand und Wartungskosten
- Einsparung des Ölhydraulikvolumenstromes und damit geringeres Risiko von Umweltverschmutzungen

Darüber hinaus kann im Rahmen einer neuen Form des Antriebsmanagements durch teilautomatisierte Funktionen eine Entlastung des Fahrers erfolgen, was insbesondere bei der Vergleichmäßigung des Gutflusses oder bei Stauungen im Gutfluss zum Tragen kommt.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In einem Getreideschneidwerk werden die rotatorischen Funktionselemente mit elektrischen Antrieben ausgestattet, wobei die Erzeugung der elektrischen Energie durch einen am Schneidwerk platzierten Generator erfolgt. Es entsteht ein unabhängiges elektrisches System, welches über dieselben Schnittstellen wie aktuelle Schneidwerke mit konventioneller Antriebstechnik verfügt. Das Antriebssystem wird als dezentrale Architektur entworfen, wodurch mit den Freiheitsgraden Drehzahl und Drehmoment der elektrischen Antriebe Funktionalitätserweiterungen und neue Strategien des Antriebsstrangmanagements sowie (teil-)automatisierte Abläufe möglich sind.

Derzeit erfolgt sowohl der Aufbau von Versuchsständen als auch die Auslegung des Antriebsmanagements mit Hilfe der Simulation des Antriebssystems. Bis zur Getreideerntesaison 2014 entsteht ein Funktionsmuster, mit dem Feldversuche zur Erprobung des Antriebskonzeptes durchgeführt werden. Anschließend können Aussagen zur grundsätzlichen Machbarkeit und der Mobilitäuglichkeit der elektrischen Antriebe im praktischen Feldeinsatz getroffen werden. Darüber hinaus kann mittels der verfügbaren Informationen wie Drehmoment und Drehzahl der Leistungsbedarf und die Leistungsverteilung im Antriebssystem ermittelt und

Lastkollektive gebildet werden, woraus die Auslegung der Konstruktion weiter optimiert werden kann. Abschließend kann der abgeschätzte Zusatznutzen bewertet und die Wirtschaftlichkeit beurteilt werden.

6 Danksagung

Die Autoren danken dem Projektträger für die Bereitstellung der finanziellen Mittel. Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

7 Literatur

- [1] Aumer, W.; Herlitzius, Th.; Geißler, M.; Lindner, M.: Diesel-elektrische Antriebssysteme in selbstfahrenden Landmaschinen. 4. Fachtagung Baumaschinentechnik, Dresden, 14. und 15.05.2009.
- [2] Herlitzius, Th.; Aumer, W.; Lindner, M.; Bernhardt, G.; Kuß, H.; Michalke, N.; Schuffenhauer, U.: System Integration and Benefits of Electrical Solutions in Mobile Machines. ECPE-Seminar, More Electric Vehicle, München, 30. und 31.03.2009.
- [3] Wustmann, W.; Helduser, S.; Schuffenhauer, U.; Kuß, H.; Michalke, N.: Elektro- und Fluidtechnik funktionsintegriert. Antriebstechnik 11/2008
- [4] Rauch, N.: Mit elektrischen Antrieben Traktor-Geräte-Kombinationen optimieren. In: Tagung Land.Technik für Profis, Marktoberdorf, 22. und 23.02.2010, VDI-Wissensforum GmbH, Düsseldorf, S. 85-100.
- [5] –,-: DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06: Schutz gegen elektrischen Schlag. Berlin: Beuth Verlag 2007.

Keilriemenantriebe – genug Potential für zukünftige Großmähdrescher?

Dipl.-Ing. (BA) Thomas Tilly, Leiter Systemtechnik Mechanik
CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH, 33428 Harsewinkel

1 Einleitung

Bei der Entwicklung von Mähdreschern mit immer größerer Produktivität hat CLAAS stets einen besonderen Schwerpunkt auf die Antriebstechnik gelegt. Sie stellt schon seit Jahrzehnten für die selbstfahrenden Mähdrescher neben Verfahrenstechnik/Gutflusssystemen ein wesentliches Entwicklungsgebiet dar.

Es haben sich im Wandel der Zeit vielfältige Herausforderungen ergeben, sei es durch veränderten Gebrauch, neue Verfahrenstechnik, Sortenentwicklungen oder einfach durch höhere NKB Durchsätze oder gestiegenes Leistungsangebot der Verbrennungsmotoren.

Vermutlich kein vergleichbares Maschinenelement seit Beginn der selbstfahrenden Mähdrescher hat ähnliche Steigerungen in Lebensdauer, Leistungsdichte und Wartungsfreundlichkeit erfahren wie der Keilriemen. Ursprünglich als Lederflachriemen verbreitet, dann als Elastomerprodukt mit Rayoncorden weiterentwickelt, wurden über viele Jahre Verbundkeilriemen mit Polyesterzugstrang verwendet, bis man zu immer weiter hochgezüchteten Umschlingungsmitteln unter Verwendung von Aramidzugsträngen gelangt ist.

In diesem Vortrag sollen die aus Sicht von CLAAS wesentlichen Meilensteine der Keilriemenantriebe für Mähdrescher vorgestellt und ein Zukunftsausblick gegeben werden. Es wird erläutert, wie es historisch und aktuell immer wieder gelungen ist, den Weg zur Leistungssteigerung zu ebnen. Dabei wird auch auf moderne Methoden und Werkzeuge in der Entwicklung eingegangen.

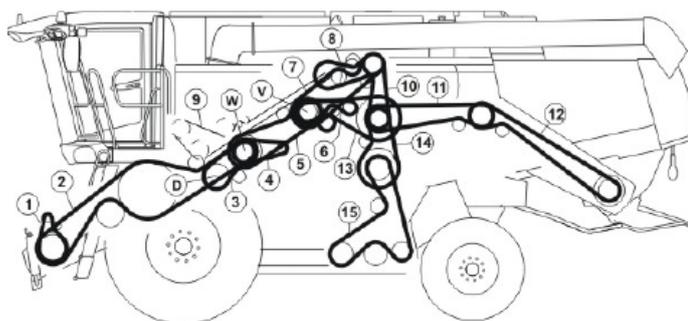


Bild 1: Antriebsschema links eines Großmähdreschers (LEXION 600)

2 Einsatz von Keilriemen im Mähdrescher

Anforderungen an antriebstechnische Systeme in der Landtechnik können sich sehr stark unterscheiden unter anderem in den folgenden Aspekten:

- Regelgüte/ Schaltverhalten/ Reversieren
- Charakteristik des Lastkollektives
- Einbauverhältnisse/ Varianz
- Komplexität/ Funktionsumfang

So entscheidet der Konstrukteur im Rahmen des komplexen Entwicklungsprozesses viele Dinge aufgrund von Auslegungsergebnissen. Dabei ist es für den Fachmann bspw. nicht verwunderlich, dass im Bereich des Antriebsstranges für leistungsstarke Traktoren nahezu keine Keilriemen angewendet werden, da für den Fahrtrieb, Zapfwellenantrieb und das Fahrwerk u. a. sehr hohe Anforderungen an Regelgüte, Schaltungen und Einbauverhältnisse bei gleichzeitig vergleichsweise hohen Drehmomenten verbunden mit hohen Zeitanteilen zu erfüllen sind.

Im Unterschied zeigt sich im Entwicklungsprozess von Mähdreschern, dass das Maschinenelement Keilriemen sehr gut zu den Anforderungen passt. Folgende Vorteile führen aus Sicht von CLAAS im Wesentlichen zu einem vermehrten Einsatz von Keilriemen im Antriebsstrang von Mähdreschern (in Ergänzung zu diversen anderen Lösungen):

- Eignung für hohe Anwendungsfaktoren (Dynamische Lasten) >3 bis zum Überlastschutz
- Einfache Funktionsintegration mehrerer Verbraucher:
→ integrierte Antriebe auch mit > 5 Scheiben pro Antrieb möglich
- effiziente Überbrückung großer Wellenabstände möglich inkl. Ausgleich von Geometrieabweichungen der Karosserie
- breites Einsatzspektrum mit hoher Energieeffizienz
- hohe Flexibilität in Auslegung, Anordnung und Anwendung für diverse Ausführungen/ Produktausprägungen
- Leistungsfähigkeit über Drehzahl überproportional ansteigend (Keilriemen und Verbraucher/ Aggregat) → Leistungsbedarf = Leistungsangebot Keilriemen
- gutmütiges Schwingungs- und Geräuschverhalten
- geringe Systemkosten sowohl bei Konstantantrieben als auch in der Ausführung als Variator (trockenes CVT)

Bezogen auf Mähdrescher finden gemäß **Tabelle 1** Keilriemen und Breitkeilriemen nicht nur bei CLAAS, sondern bei allen namhaften Herstellern breite Anwendung.

	Keilriemen	Breitkeilriemen	Ketten
Typen	DIN 2215 Einzel-/ Verbund- riemen	SAE angelehnt → oft Speziallösungen	Rollenketten etc. → nicht Teil des Vortrags
Längenbereiche	ca. 500 - 10`000 mm		
Profile	13, <u>17</u> , 22	Diverse (meist 26° Profilwinkel)	
Leistungsbereich	1-650 kW	2-250 kW	
Geschwindigkeit Umschlingungsmittel	2-45 m/s	13-42 m/s	
Haupteinsatzbereich	<ul style="list-style-type: none"> ▪ div. Konstant- antriebe ▪ Horden- schüttler ▪ Kornbergung ▪ Anbauhäcklser ▪ Hauptantriebe 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dreschtrommel ▪ Abscheide- rotoren ▪ MD-Vorsatz- geräte ▪ Haspel ▪ Fahrtrieb 	

Tabelle 1: Umschlingungsgetriebe in der Anwendung für Mähdrescher bei CLAAS

Besonders hervorzuheben ist die Bedeutung der stufenlosen Getriebe (trockener Variator). Diese robuste und preisbewusste Technologie ermöglicht es, den Mähdrescher universell einsetzbar zu gestalten, weil bis zu 4 Aggregate entsprechend der Fruchtarten spezifisch in ihrer Arbeitsdrehzahl angepasst und inzwischen auch im Rahmen von automatischen Maschinenoptimierungssystemen permanent geregelt werden können.

3 Strategien zur Verbesserung der Performanz eines Keilriemenantriebes

Es existieren vielfältige Antriebslösungen – nicht nur in der Landtechnik – unter Verwendung von Keilriemen. Der Kreativität des Entwicklers sind nahezu keine Grenzen gesetzt.

In der Vergangenheit und jüngsten Gegenwart haben diverse Lösungsansätze immer wieder dazu verholfen, den gestiegenen Anforderungen Rechnung zu tragen, siehe

Bild 2. Dabei haben die weiß hinterlegten Felder oftmals die größten Potentiale bewiesen. Praxisnahe Beispiele u. a. auch von Neuentwicklungen werden im Rahmen des Vortrages vorgestellt.

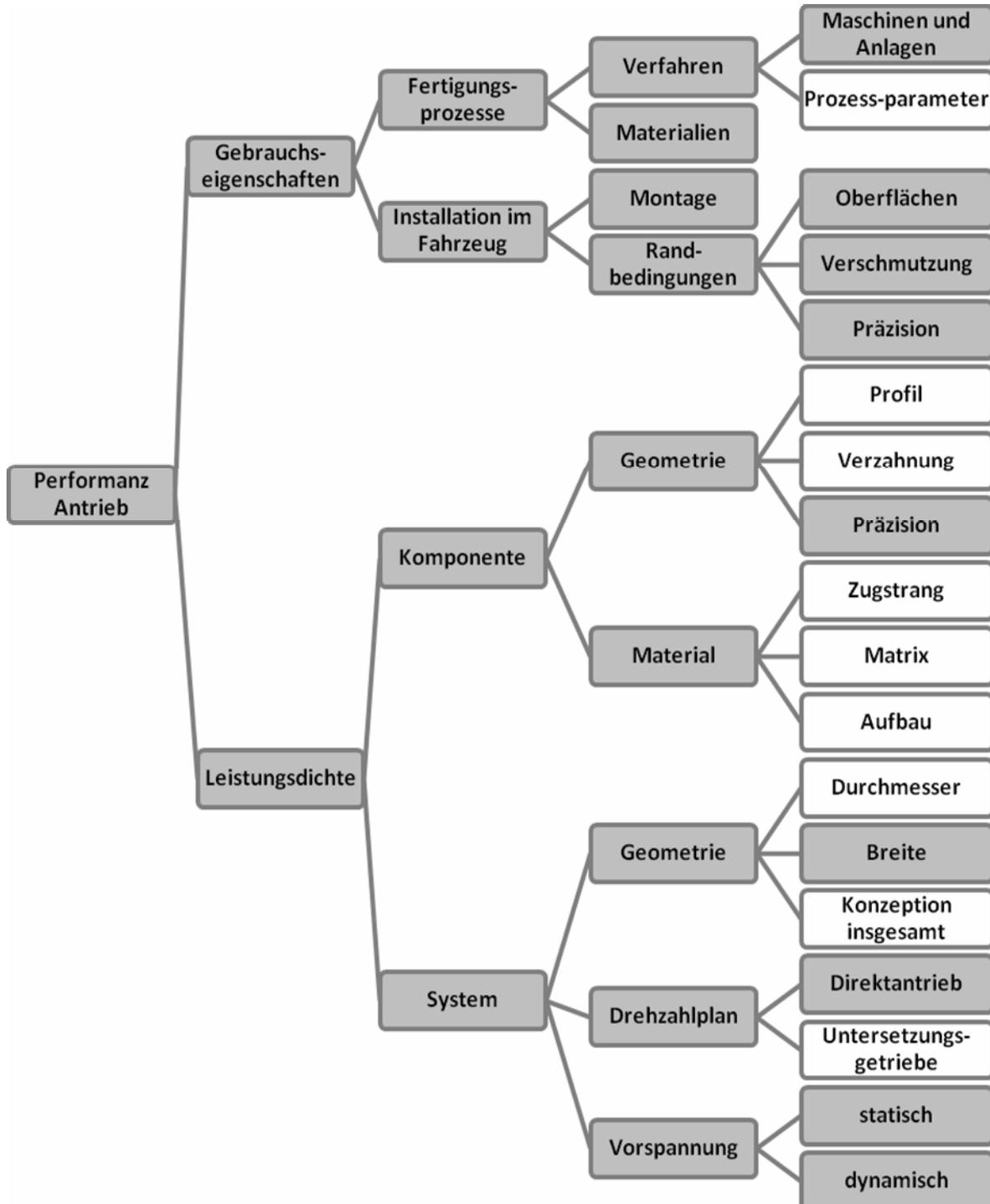


Bild 2: Lösungsansätze zur Steigerung der Performanz von Keilriemenantrieben

Bei Verwendung geeigneter Berechnungs- und Validierungsmethoden kann es gelingen, eine Kombination von diversen Maßnahmen zur Gestaltung höherer Performanz zu erreichen.

Neben der systematischen Konzeption und Entwicklung gemäß Bild 1 bietet sich aus Sicht des Autors die Nutzung von Mehrjahresplanungen für Technologien und Systementwicklungen an. Diese können sowohl unternehmensintern als auch mit externen Entwicklungspartnern und Zulieferern verbindlich vereinbart werden.

	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5	Jahr 6
Konzept-entwicklung	Konzept A	Funktions-erprobung	Prototyp		Vorserie	
		Konzept B	Funktions-erprobung	Prototyp		Vorserie
Keilriemen-entwicklung			Qualität HB90			
				Qualität NF7		
Methodik-entwicklung	Laufende Verbesserung der Auslegungswerkzeuge und -richtlinien					
	Laufende Verbesserung der Validierungsprozesse					
	Laufende Verbesserung der Datenbasis					

Tabelle 2: Schematische Darstellung von Mehrjahresplanungen für Systementwicklungen bzw. Komponenten und deren Verbindungen

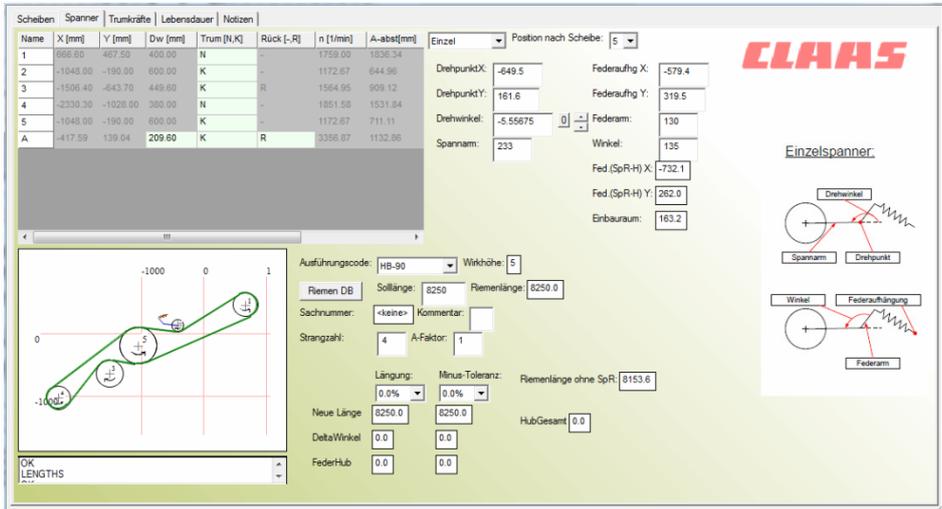
Auf Basis der Potentialermittlung gemäß Bild 1 und der abgestimmten Mehrjahresplanungen in Tabelle 2 wird deutlich, dass immer wieder Impulse zur verbesserten Performanz für eine erfolgreiche Serienanwendung genutzt werden können.

Im Rahmen der Ideenfindung/ Potentialanalyse entsprechend Bild 1 bietet sich als eine der wichtigsten Methoden das Benchmarking mit anderen Branchen (PKW, Industrie, Sonderfahrzeuge, etc.) und anderen Arten von Umschlingungsgetrieben ebenso an wie die übliche systematische Konzeptentwicklung nach den Regeln der Konstruktionssystematik.

4 Einblick in die Entwicklungsmethodik bei CLAAS

Entsprechend gängiger Modelle wie dem V-Modell oder verbreiteter Entwicklungsprozesse im Bereich mobiler Arbeitsmaschinen oder PKWs werden im Hause CLAAS Regeln angewendet, an die sich der Entwicklungsingenieur hält. Die wesentlichen Bestandteile im Bezug auf die Antriebsstrangentwicklung lauten:

- Anforderungsmanagement (→ Lastenheft, Auswahlkriterien, etc.)
- Auslegungen (siehe **Bild 3**) → Aufstellen von Varianten
 - Berechnung der Varianten und Schwachstellenanalyse
 - Potential für Gleichteile/ Baukastenprinzipien analysieren
 - Ermittlung der limitierenden Maschinenelemente
- Systemintegration
 - 3D Systemlayout (Datenschnittstelle zwischen Berechnung und CAD)
 - Kostenermittlung System
 - design review im Projektteam
 - Ermittlung offener Änderungsbedarfe (→ Auslegung)
- Konstruktion
- umfassende Validierung (CLAAS und Entwicklungspartner nach Standards)
- lfd. Qualitätsprozesse unterstützen



Name	X [mm]	Y [mm]	Dw [mm]	Trum (N,K)	Rück [-,R]	n [1/min]	A-Abst[mm]
1	666.60	467.50	400.00	N	-	1759.00	1636.34
2	-1043.00	-190.00	600.00	K	-	1172.67	644.96
3	-1506.40	-643.70	449.00	K	R	1564.95	909.12
4	-2330.30	-1023.00	300.00	N	-	1851.53	1531.84
5	-1043.00	-190.00	600.00	K	-	1172.67	711.11
A	-417.59	139.04	209.60	K	R	3358.67	1132.86

Eingangsgrößen

- Geometrie
- Toleranzen
- Lastkollektive
- Spanner
- Keilriemen

→ Qualitätsstufe

Ergebnisse

- Trumkräfte etc.
- Lebensdauer
- Keilriemen

Daten-Schnittstellen

- CAD
- SAP Gleichteile

Bild 3: Auslegung von Keilriemenantrieben im Hause CLAAS

Wesentliche Schlüssel zur effizienten Entwicklung sind aus Sicht des Autors die Auslegung und Validierung, um gemäß dem Vortragstitel genug Potential für zukünftige Großmähdrescher zu haben.

5 Ausblick

Die Marktentwicklung im Bereich Mähdrescher folgt keinem einheitlichen Trend. Während hierzulande verstärkt moderne Technologie sowohl auf System- als auch auf Komponentenebene zum Einsatz kommt, werden die Mähdrescherhersteller auch auf Dauer bedeutende Marktsegmente im Bereich kleiner und mittlerer Mähdrescher bedienen. Erfolgreich zu vermarktende Produkte entsprechen der lokalen Einkommens-, Flächen-, Bildungs- und Klima-/ Pflanzenentwicklung.

Steigende Maximalleistungsanforderungen (siehe **Diagramm 1**) führen auf der Systemebene zu neuen Konzepten sowie auf der Komponentenebene u. a. zu neuen Keilriemen mit höherer Leistungsdichte. So wird es gelingen, bei steigenden Leistungen im begrenzt zur Verfügung stehenden Bauräumen und Zielgewichten valide Lösungen zu schaffen. In der Folge können diese neuen Konzepte, Detaillösungen und neuen Keilriemen auch in kleineren Modellen ihre Vorteile ausspielen und dort mit begrenztem Entwicklungsaufwand Leistungssteigerungen und Kostenreduzierungen ermöglichen.

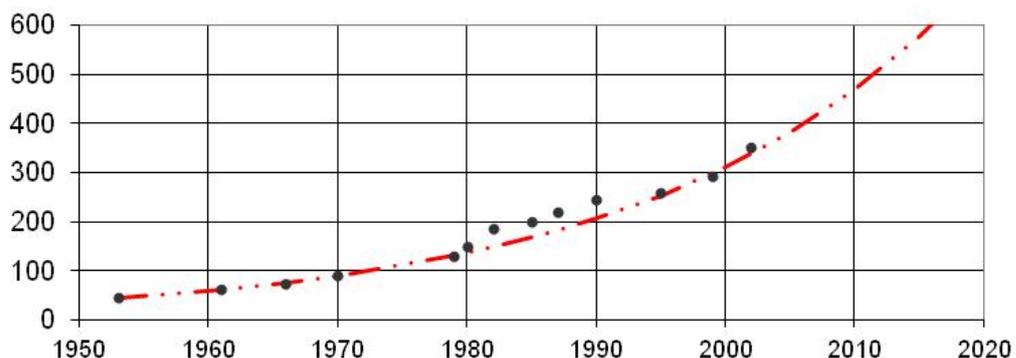


Diagramm 1: Entwicklung der maximalen Motorleistungen [kW] von Mähdreschern von 1950 bis 2020

Wenn man die weitere Entwicklung der Leistungsbedarfe prognostiziert und analysiert und die schon heute grenzwertigen Parameter betrachtet, wird klar, dass nur die Produkte erfolgreich bestehen werden, die eine deutlich höhere Leistungsdichte und gleichzeitig die geforderte langlebige Robustheit darstellen.

Aufgrund der vielfältigen Einflussmöglichkeiten werden Keilriemenantriebe dieser Entwicklung in vielen Anwendungen standhalten können.

6 Fazit

Leistungssteigerung von Großmähdreschern stellt für die Fachwelt oft eine Selbstverständlichkeit dar. Dass dazu innovative Entwicklungen im Bereich der Keilriemen notwendig waren und auch in Zukunft sein werden, wird dabei nicht immer von außen wahrgenommen. Dabei waren und sind es neben ganz neuen Systemen/ Konzepten immer wieder neue Werkstoffe, Methoden und Technologien im Bereich Keilriemen, die unverzichtbare Grundlage für die angestrebten Produktivitätssteigerungen der Großmähdrescher bilden.

Die sogar noch wachsende Vielfalt an Funktionen innerhalb der mobilen Arbeitsmaschine Mähdrescher erfordert auch zukünftig einfache, kosten- und energieeffiziente Antriebstechnik, die flexibel und robust einsetzbar ist. Keilriemenantriebe werden hier auch in Zukunft viele sinnvolle Anwendungsgebiete finden.

Model-based development of control algorithms for optimizing combine processes

Dipl.-Ing. Anja Eggerl

TU Dresden, Institut für Verarbeitungsmaschinen und Mobile Arbeitsmaschinen,
Professur für Agrarsystemtechnik, 01062 Dresden

Dipl.-Ing. (FH) Hanke Bösch

John Deere GmbH & Co. KG, John Deere Werk Zweibrücken, 66482 Zweibrücken

Aaron Bruns, B.Sc./ MBA

John Deere Global Crop Harvesting, Product Development Center, East Moline, IL
61244

Dipl.-Ing. Steffen Wöbcke

TU Dresden, Institut für Verarbeitungsmaschinen und Mobile Arbeitsmaschinen,
Professur für Agrarsystemtechnik, 01062 Dresden

1 Introduction

Combine harvesters are subject to a variety of harvesting goals, like high feedrate, low losses, low damage of clean grain, high grain tank cleanliness, optimal straw quality and distribution. Therefore, modern combine harvesters offer a diversity of settings. Permanently adjusting these settings to current conditions is necessary to achieve maximum harvest efficiency. However, due to the complexity of the threshing and separation process, the conflicting harvesting goals (figure 1), the large number of influencing parameters that cannot be controlled (like moisture and straw condition), the high variation of these influencing parameters and the associated complexity of combine adjustments easily lead to maladjustment. The full exploitation of the machine's potential requires a control system that supports the operator.

The development of a control system for optimizing combine processes is a challenge because of the complexity of the optimization problem, explained in the previous paragraph. Furthermore, the combine incorporates a variety of different functionalities and control systems. Necessary operator interactions with the control system for process optimization are the third reason for the complexity of the development of such a control system. Further restrictions like the seasonal field test opportunity and the high costs for field tests make clear the requirement for a systematic, modular development procedure.

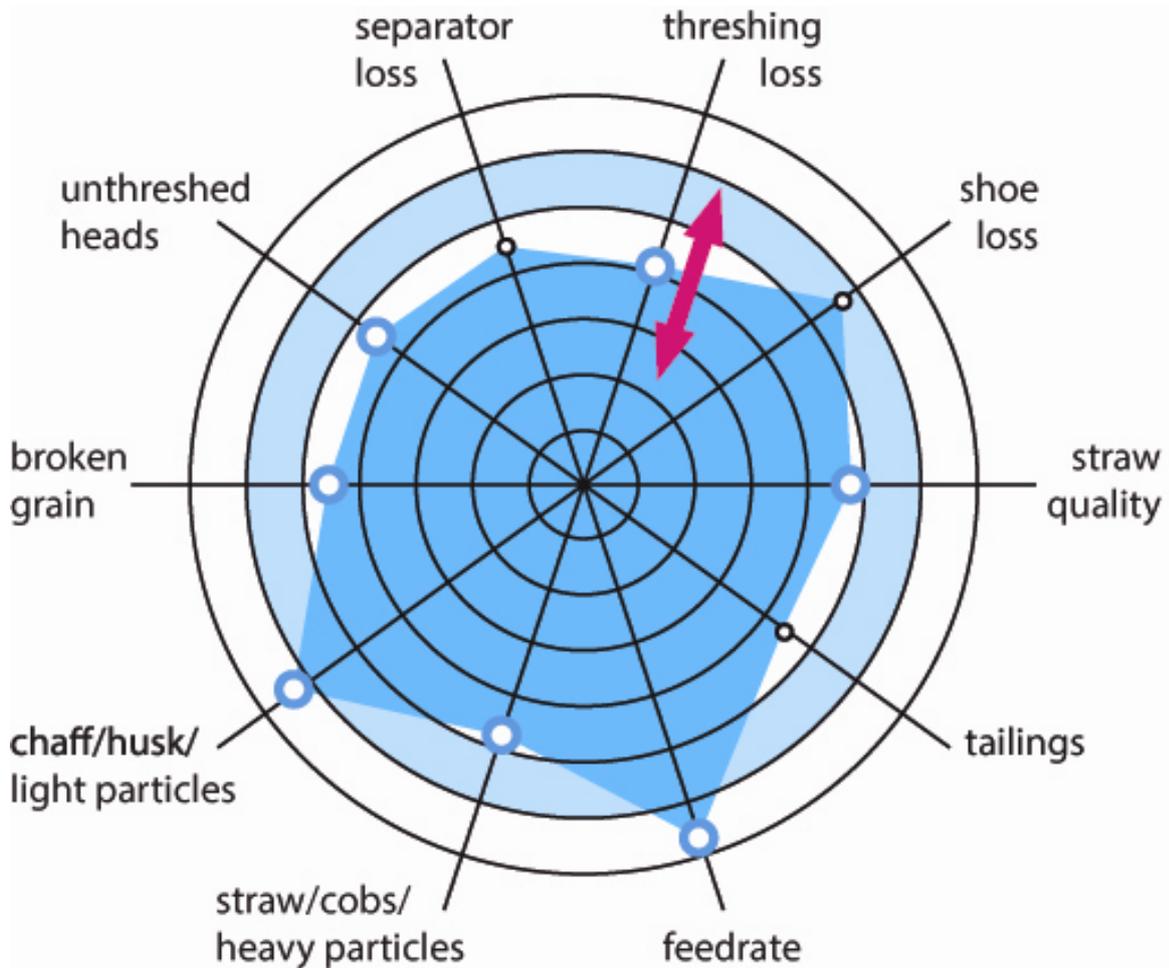


Fig. 1: One challenge of the optimization of combine processes: conflicting harvesting goals.

In this article the principles of a model-based development procedure for control algorithms, applied to the optimization problem ‘optimizing combine processes’, are presented.

2 Model-based development procedure

The development process, described in this article, is split up into the three categories desktop simulation, bench simulation and field tests (figure 2). In this example, both a Simulink plant model and a Simulink control model are used. The two main advantages of this approach are:

- The control model and the plant model are compatible with each other and can easily be combined to a closed loop desktop simulation, also referred to as Model in the Loop (MIL).
- The object oriented encoding of the control functionality is easier to understand than C code and also serves as documentation.

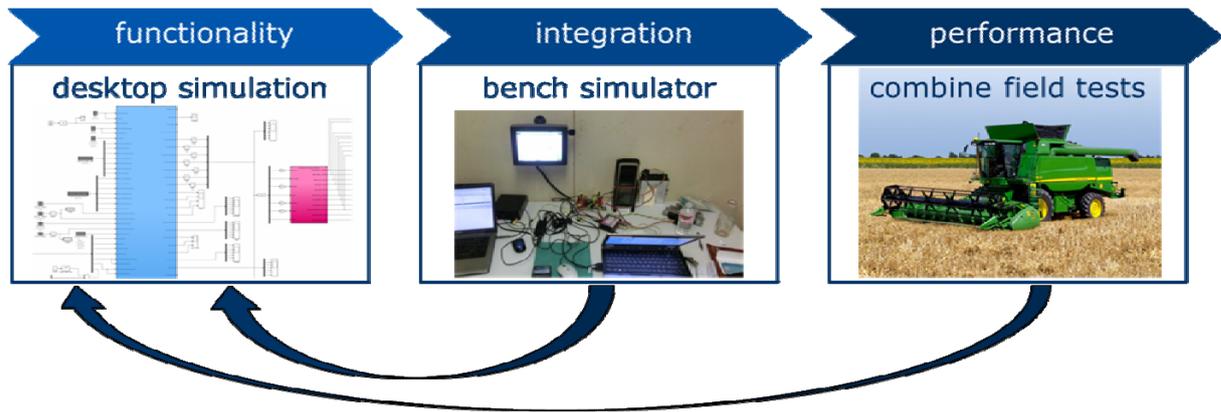


Fig. 2: Model-based development procedure.

The MIL desktop simulation is used to define and test the functionality of the control algorithm and to evaluate its robustness. Automatic code generation is used to convert the Simulink model into C code that is tailored to the target controller. The generated C code is then integrated into the wrapper C project that is used to build a payload for the target controller. On the bench simulator the target controller is connected to selected original combine components, including CAN bus, display and operation terminal. The purposes of the bench simulation are:

- test the interfacing between the wrapper C code and the control model,
- verify the functionality of the control algorithm on the target controller which is exposed to restricted data accuracy, processing power and memory, and
- test the communication between the controller and other machine components.

The next step is the integration of the controller in the combine. During field tests, the control algorithm is tested in real environment. Parameter adjustments, e.g. of filter parameters, is done based on field test results. The field tests also reveal the performance of the control system in real environment.

The three steps of the model-based development procedure are repeated iteratively. Results from the field tests are used to make decisions on modifications of the control algorithm. These modifications are first tested with the desktop simulation. The auto-generated code files of the control model are then updated and verified with the bench simulator before a new payload is installed on the target controller on the combine. The field tests might also reveal that modifications of the plant model are necessary.

3 Desktop simulation

The focus of this article lies on the desktop simulation (MIL). The structure of the desktop simulation and the main inputs and outputs of the control and the plant model are shown in figure 3.

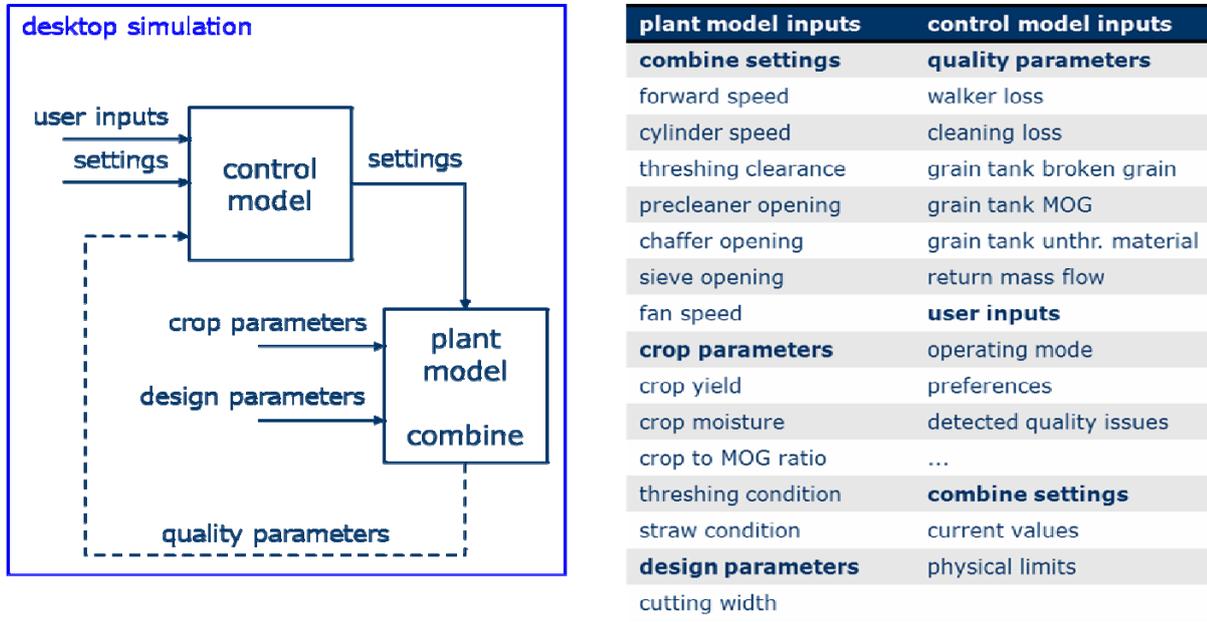


Fig. 3: Structure of the desktop simulation and main inputs/outputs of the control and plant model.

Based on the current combine quality, current settings and user inputs the control model determines adjustments to the settings. The outputs of the control model (the settings) are inputs to the plant model. Based on combine settings, crop parameters and design parameters, the combine plant model determines the combine quality as outputs of the plant model. The plant model consists of a deterministic combine model and a stochastic signal model (figure 4). The deterministic combine model represents ideal trends. Stochastic characteristics of physical process parameters inside the combine are not considered. The deterministic combine model represents:

- the well investigated correlations between influencing parameters and process parameters, and
- the relationships between actuating variables of the control (settings) and the target variables for control (combine quality parameters).

A stochastic signal model represents the variation in the physical process inside the combine. This comprises unknown correlations between influencing parameters and process parameters, and unknown influencing parameters. Furthermore, the

stochastic signal model incorporates the characteristics of the measurement. The stochastic signal model transforms the ideal trend signals, delivered by the deterministic combine model, into real signals with stochastic signal components.

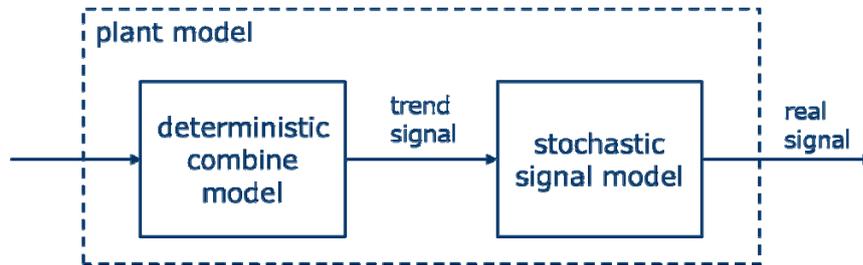


Fig. 4: The plant model consisting of a deterministic and a stochastic part.

4 Deterministic combine model

The deterministic combine model derives the quality parameters in four steps (figure 5). Based on yield, crop to MOG (material other than grain) ratio, cutting width and forward speed, the incoming grain and MOG mass flows are calculated. Then separation factors for all modeled threshing and separation units are determined. Separation factors are a function of:

- the incoming grain and MOG mass flows,
- the combine settings,
- crop parameters (yield, moisture, crop to MOG ratio, threshing and straw condition), and
- design parameters (width of walker, ...).

They represent the steady state dependencies of the process outputs as a function of the above listed influencing parameters. For a few separation factors analytical equations were available. However, most separation factors are derived from 2-dimensional qualitative curves and corresponding validation data. The modeled behavior of the separation factors shows good compliance at the utilized reference operating points. At the limits of the valid ranges for the plant model input parameters (see figures 3, 5) partly significant divergence exists.

Figure 7 shows an example of a system response of the deterministic combine model after a step of total feedrate to 50.7 t/h, using different fan speeds.

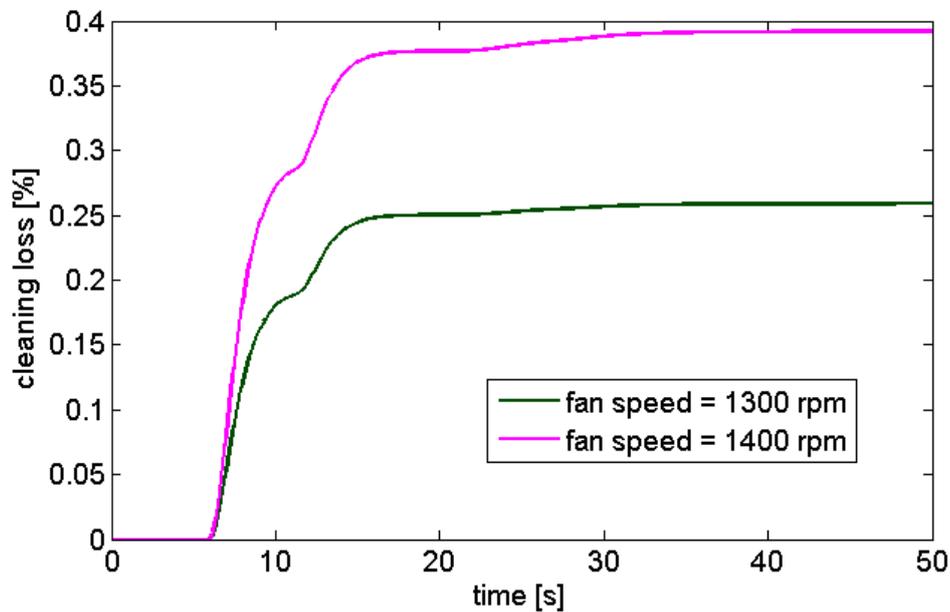


Fig. 7: Cleaning loss over time after a step in feedrate to 50.7 t/h at time = 0 s. Other input parameters of the deterministic combine model: crop yield = 90 t/h, crop moisture = 13.5 %, crop to MOG ratio = 1:1, cutting width = 25 ft, forward speed = 3.7 km/h, cylinder speed = 1000 rpm, threshing clearance = 4 mm, precleaner opening = 6 mm, chaffer opening = 16 mm, sieve opening = 6 mm.

5 Stochastic signal model

Measurements of the process outputs (see figure 5) show the high variation in these signals. As an example, raw data for MOG in the grain tank at three different MOG levels is plotted in figure 8.

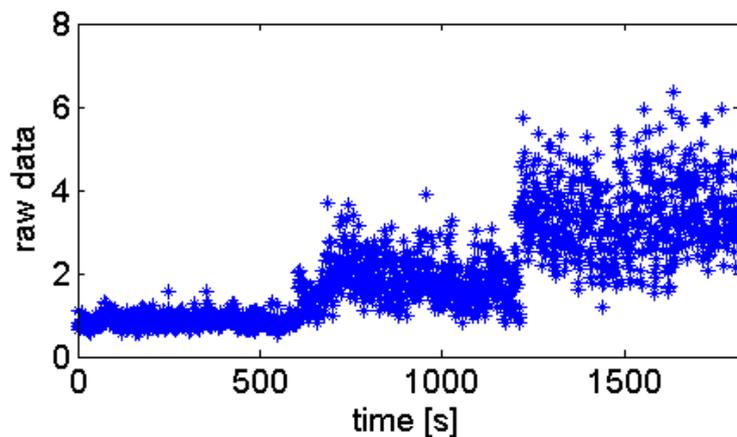


Fig. 8: Raw data for MOG in grain tank over time.

In order to determine the stochastic characteristics of the process output signals, a power spectrum analysis has been performed. Based on this analysis, a Simulink library function block has been developed that represents stochastic process characteristics and measurement characteristics. The process characteristics incorporate a normally distributed (Gaussian) random number with constant variance equal to 1, a constant variance factor that is independent of the trend signal and a slope variance that is multiplied with the current trend signal. The Simulink library block can be adjusted easily to existing signal characteristics by modifying configuration parameters.

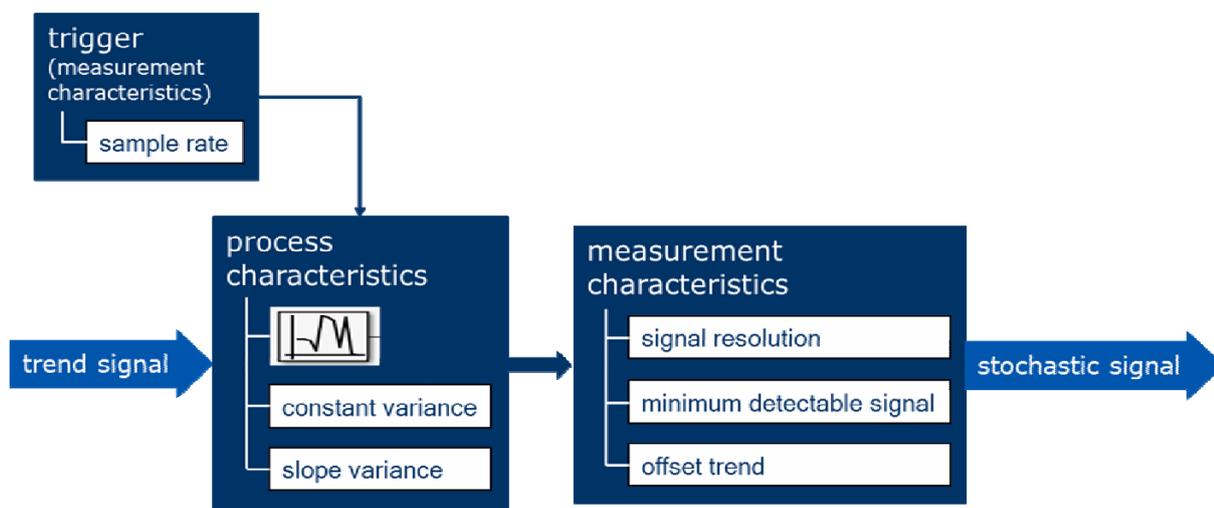


Fig. 9: Structure of the stochastic signal model.

In a further processing step the restrictions originating from the measurement are realized. These are signal resolution, minimum detectable signal and offset trend. The following measurement characteristics are not modeled: offset drift, sensor tolerance, hysteresis, saturation and the dynamic sensor behavior (transient response). Figure 10 shows the system response for cleaning loss for fan speed = 1400 rpm from figure 7 both as the ideal trend signal and after the stochastic characteristics have been added.

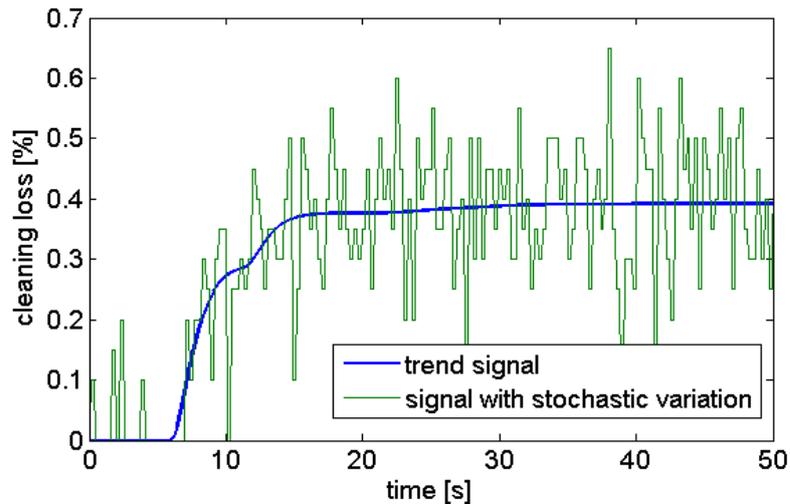


Fig. 10: Trend signal and signal with stochastic variation for cleaning loss.

6 Conclusion

The usage of the combine plant model in the closed loop desktop simulation revealed that the correlations between influencing parameters and process outputs are represented with sufficient accuracy. The library block for stochastic process characteristics and sensor behavior provides sufficient flexibility to adjust simulated signals to measured signals. The modular architecture of the plant model provides the possibility to test the functionality of the control algorithm based on the ideal trend signal, independent of disturbances (stochastic characteristics).

The model based control design proved to be easy to understand and easy to debug. Adjustments to target hardware can be done in the model configuration dialog and impacts of data type limitations can be tested efficiently with the simulation. Efficient testing can be done because of the compatibility between the control algorithm and the plant model. As the complete functionality of the control algorithm is implemented as a Simulink model and auto generation of code is used, reprogramming of the control algorithm in C code is not necessary. This saves a significant amount of time.

The application of the model-based development procedure for control algorithms with the example application 'optimizing combine processes' shows that parallel development of control algorithm and sensors is possible because sensor signals can be delivered by the plant model. The possibility to test the functionality of the control algorithm independent of the target controller provides flexibility to define the

target controller at a later time during the development process. Significant amount of time and cost can be saved because of the opportunity to test the control algorithm outside of the field season and the opportunity to reproduce field test cases in closed loop desktop simulation. In simulation conditions can be applied that are difficult to achieve in the field. By the use of automatic test procedures more extensive verification is possible in simulation. Altogether, the model-based development procedure significantly speeds up the development process.

7 Literature

- [1] Wöbcke, S.: Dynamische Simulation der Drusch- und Separationsprozesse in Mähdreschern im Zeitbereich unter Berücksichtigung von Gutbedingungen, Einstellgrößen und Prozessresultaten. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der TU Dresden, 2010.
- [2] Herlitzius, Th.: Prozessanalyse und Möglichkeiten der Prozessführung am Beispiel eines Mähdreschers mit Tangentialdreschwerk. Dissertation TU Dresden, 1995.
- [3] Hübner, R.: Qualitative Abhängigkeiten zwischen Ergebnis- und Einstellparametern beim Mähdrescher. Lehrstuhl internes Material, unveröffentlicht.
- [4] Hesselmann, N.: Digitale Signalverarbeitung. Vogel Fachbuchverlag, Würzburg, 1989.
- [5] Osinenko, P.: Verbesserung der Datenbearbeitungsmethode für Feldversuche von Geländefahrzeugen. Traktoren und Landmaschinen. Nr. 7, S. 19-22, 2011.
- [6] Osinenko, P.: Entwicklung der Simulationsmethode von Eingabesignalen eines Traktors mit Gerät. 11. Internationale Konferenz zur Automatisierung und Informationstechnik für industrielle Verfahren in der Landwirtschaft, 14.-15.09.2010, Uglitsch. S. 284-291.
- [7] Maertens, K., Reyniers, M., De Baerdemaeker, J.: Design and Application of a Dynamic Separation Model for Combine Harvesters. Mathematics and Computers in Simulation, Vol. 65 (2004), S. 49-57.

Newest trends in grain harvesting in India

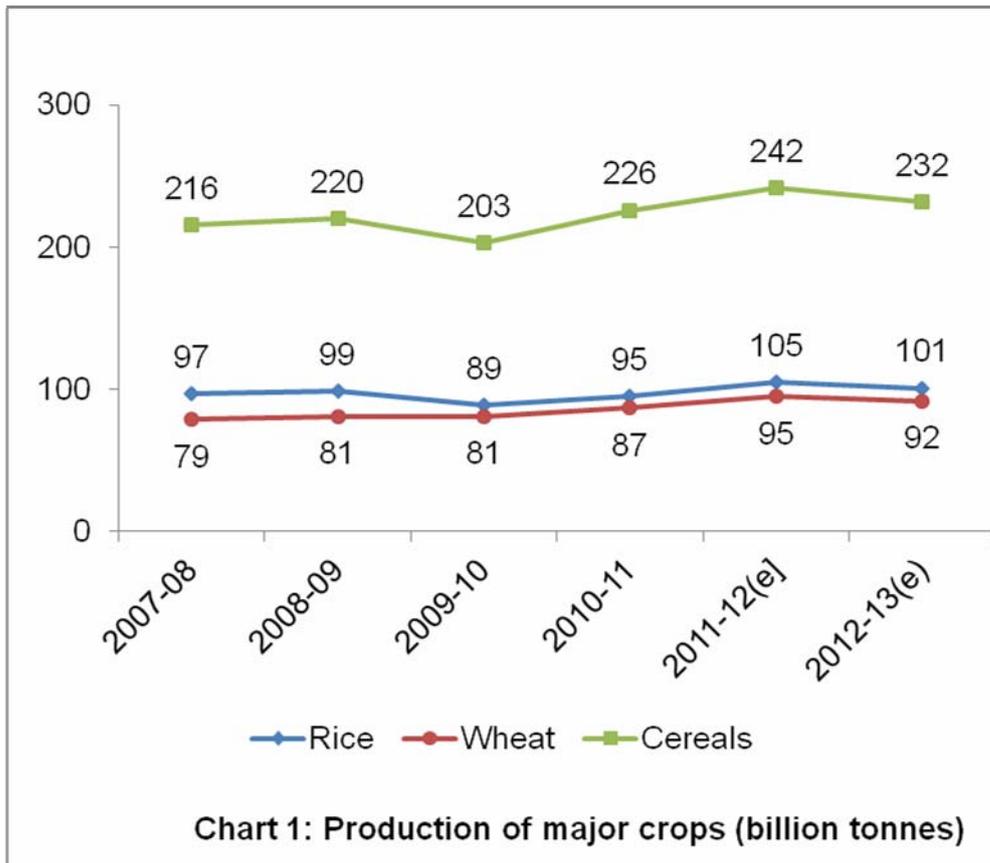
BTech, MS Nilangshu Guha and Dr.-Ing. Stefan Forkert
CLAAS India and CLAAS HSW, Germany

1 Agriculture in India – an overview

India is one of the subcontinents in South Asia having total geographical area of 3,287,240 square kilometers. India is basically divided into 5 zones as North, South, West, East and North-East, having huge diversity in climate and crops. The main seasons are summer, rainy and winter and the Indian agriculture is largely dependent on the climate and monsoon. Out of total area, 54.7% is the agricultural/arable (Anonymous, 2013). The average per capita operational land holding in India is less than 1.2 ha.

Agriculture Sector In India-An Overview	
Total Geographic Area	328 million hectares
Grossed Cropped Area	190 Mha
Net Cropped Area	142 Mha
Cultivable land to total geographic area	57%
Percentage of cultivable land to total area	52%
Agro Climactic regions	20
Soil types	46

Source: Economic survey report

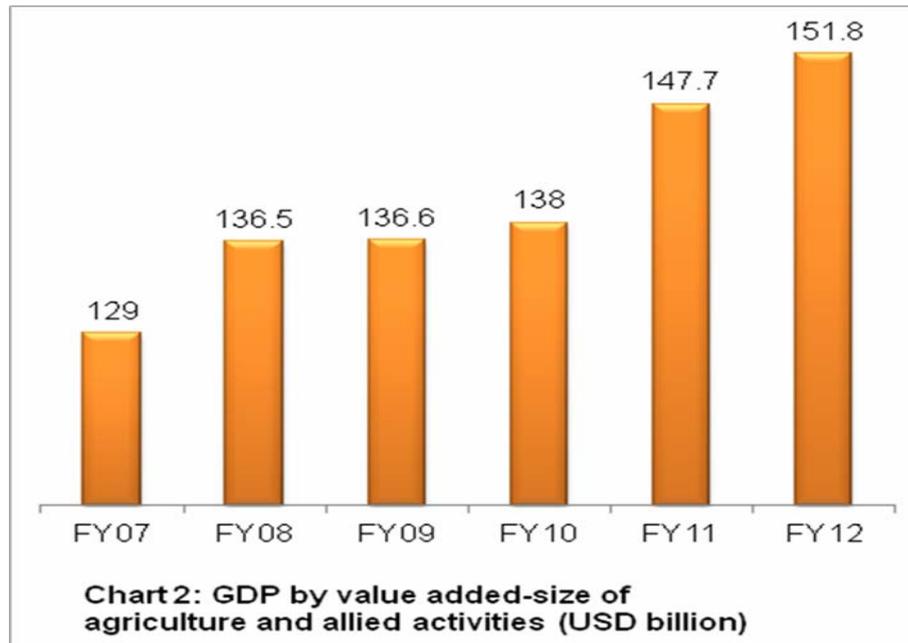


Source: State Of Indian Agriculture 2012-13

The estimated grain production in India for year 2012-13 accounts to be around 255 MT (million tonnes), and the population has reached to a level of 1.22 billion, which ultimately reflects that the per capita food grain availability reaches to only around 438 grams per day. It is predicted that the food grain production will reach to 290 MT up to 2020 and simultaneously the population will rise to the tune of 1.3 billion and hence the per capita availability of food grains will feel a crunch at severe level.

Refer Chart 2:

- GDP of agriculture and allied sectors in India reached USD 151.8 billion in FY12 .
- According to the Central Statistical Organization (CSO), the agriculture sector is estimated to have grown by 1.8% in FY12 as against 3.6% in FY 2011.
- Agriculture is the primary source of livelihood for about 58 per cent of India's population.



Source: IBEF

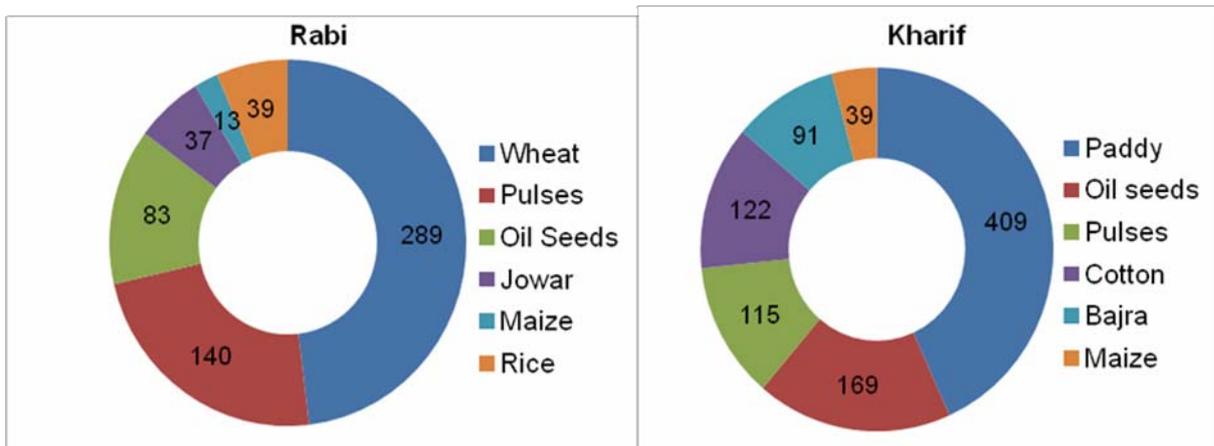


Chart 3: Total area sown in lakh hectares (FY2012 E)

Source: IBEF

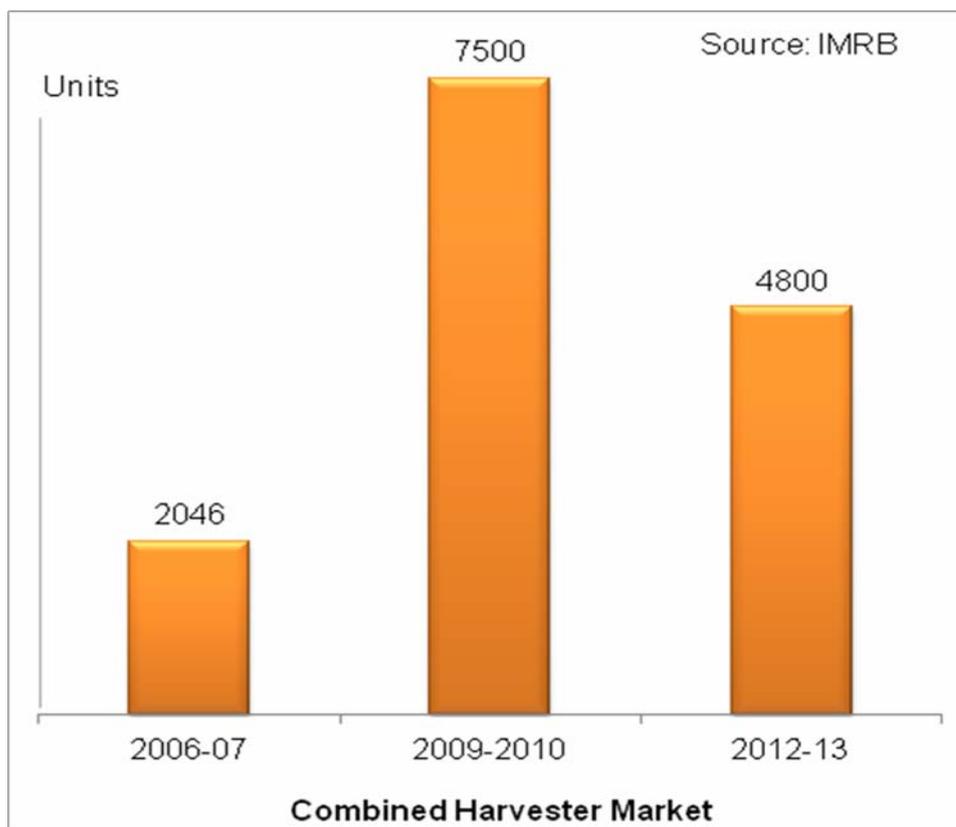
Refer Chart 3:

- There are two major agricultural seasons in India - Kharif and Rabi
 - Kharif season lasts from April to September (summer); rice (paddy) is the season's main crop.
 - Rabi season lasts from October to March (winter); wheat is the season's main crop.

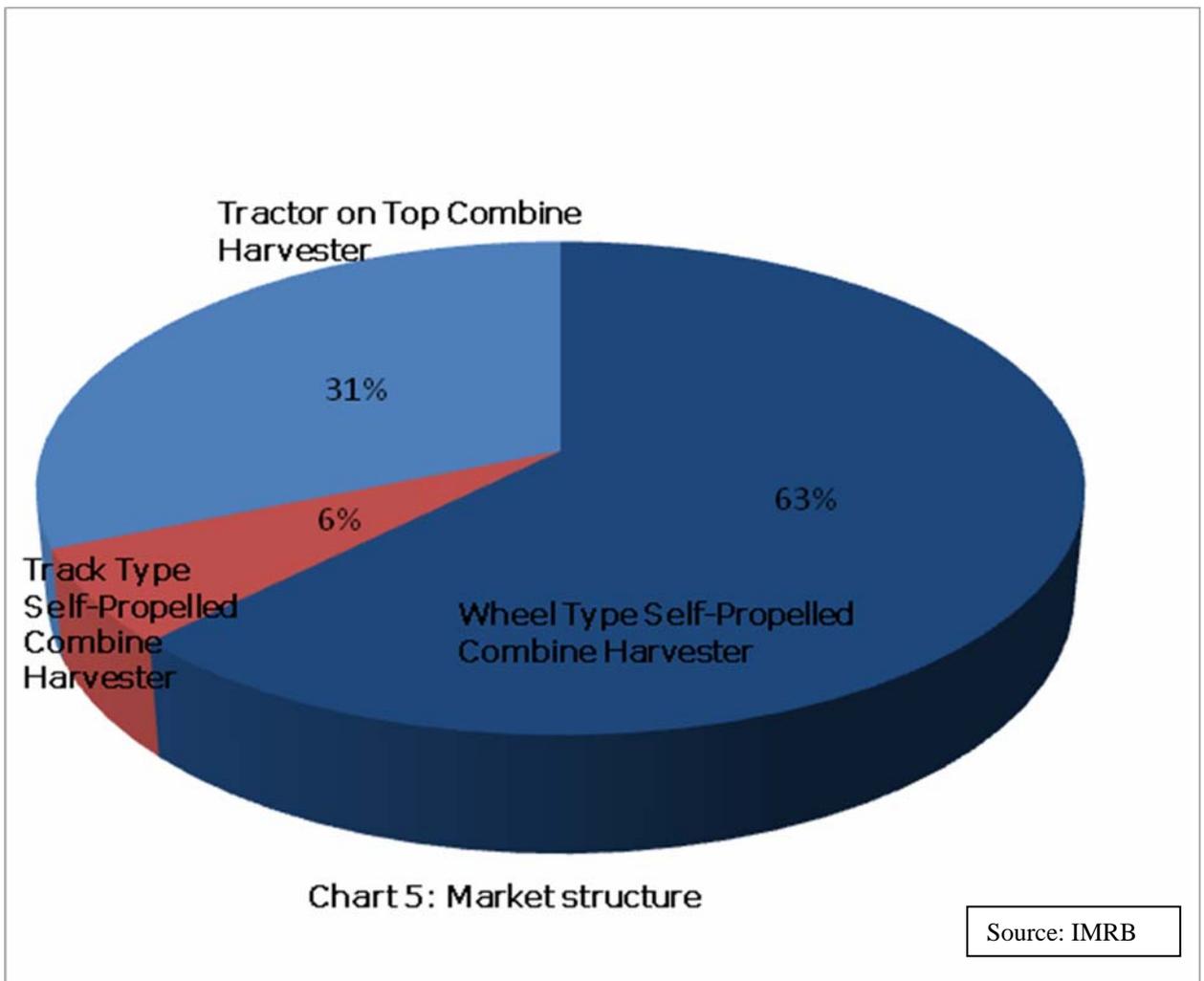
2 Overall harvester combine market - snapshot

Along with contract farming, major corporate are jumping into agriculture to meet the future food grain demands and they are trying to organize the presently unorganized, diversified agriculture sector with focus on new technologies of harvesting to avoid harvest losses, labor dependencies and timely accessing markets.

The major grain crops in India are wheat, rice, bajra (pearl millet), jowar (sorghum or great millet), maize, pulses, ragi (finger millet), out of which wheat and rice are at the edge of complete mechanization, however some of the harvesting industries have developed multicrop harvesters for other grain crops. The harvesters in India are ranging from small (2m) to medium (4.5m) cutting width and they are broadly classified according to their harvesting technologies as straw walker type, TAF (Tangential Axial Flow) type and axial type. Otherwise the combines are classified according to their source of power as self propelled (track or wheeled) and tractor mounted. With the subsidy being constantly reduced from fuel (diesel) the new technologies of harvesting have to be more fuel efficient (following development in peer industries in hybrid or alternate fuel / power source).



Refer Chart 4: The total combine harvester market over the year 2012-13 is estimated to be at 4800 units ^[2]. The combine harvester market had been growing steadily at a CAGR of 28% over the last half of the decade and had risen to 7500 units a year in 2009-10. However, over the last 2-3 years there has been a sharp decline regarding the sales of the combine harvester. The decline in size of the market was attributed to the sharp fall sales of tractor mounted combines and track type combines (primarily because of lack of monsoon).



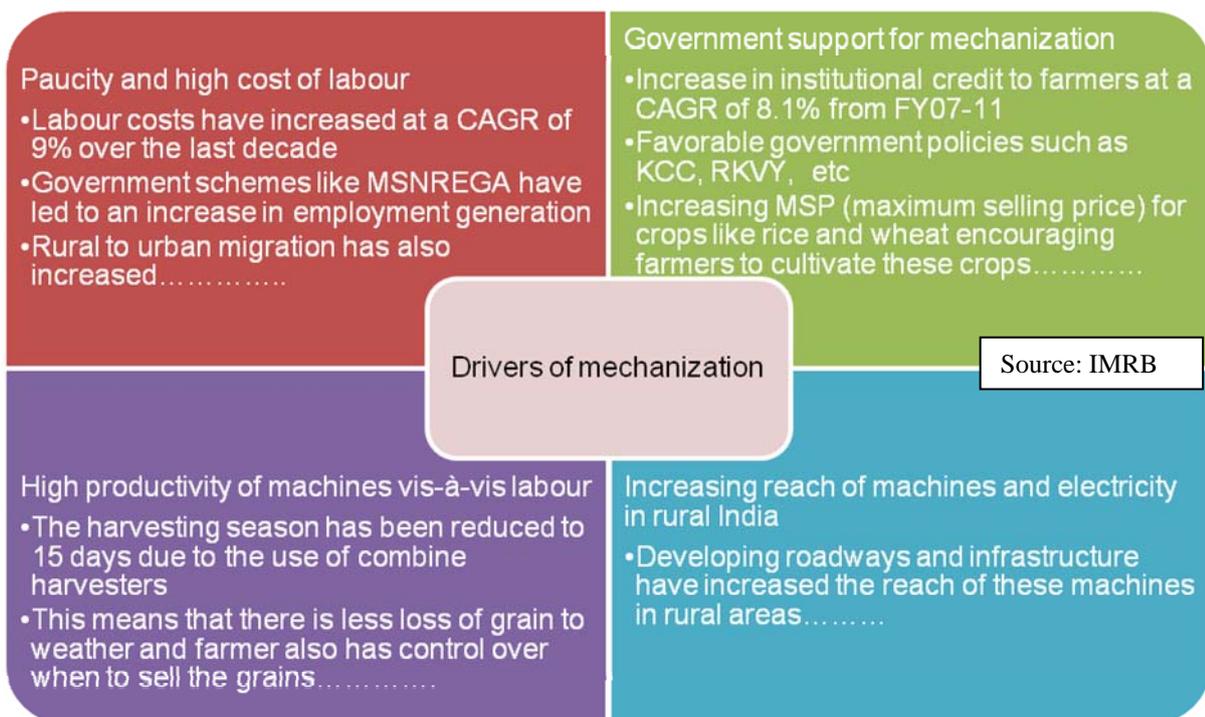
Refer Chart 5: In 2012-13 approx. 3000 units of wheel-type self propelled combine harvesters were sold, while approx. 1500 units of tractor mounted combined harvesters were sold during the same period. The remaining 300 units (approx) comprised the track type self-propelled combine harvester. ^[2]

3 Future trend

As the literacy rate in India is growing, the farmers are becoming more aware about advanced technologies. The trend in harvesting combines needs to be updated from single or two grain harvesting to multicrop harvesting by adopting the advanced technologies. With the trends in the grain crops, there is growing demand for the straw (whole length of the straw) which is one of the byproduct coming out of grain harvesters. The huge demand for straw is mainly driven by feed for animal or as bio-fuel, etc.

Importance of Straw in India:

South	North
<ul style="list-style-type: none"> • Only rice straw available • Applicable at semi-wet & dry harvesting conditions • Storage for cattles <ul style="list-style-type: none"> • Long straw for storage and house roofs • Packing material, cement industries etc • Rice straw importance may grow (bioenergy) 	<ul style="list-style-type: none"> • Focus on wheat straw • Rice straw only by manual harvesting • Rice straw sometimes for roofs • Rice straw importance may grow (bioenergy) • Wheat straw is 100% chopped <ul style="list-style-type: none"> • Harvested with reaper or • Stationary thresher • Cattle feeding
<p>→ Straw must be so long and pure as possible</p>	<p>→ Wheat straw must be able to be harvested by reaper</p>



4 Outlook

The Eleventh Plan had sought to reverse the deceleration of agricultural growth which occurred in the Ninth Plan and continued into the Tenth Plan. It has had some success in that food grain production touched a new peak in 2011-12. Although there will be trend of less per capita land availability & food grain availability than present, however due to change in trend of agriculture sector from unorganized individual farmers to organized corporate or contract farming, there will be huge scope for agricultural industries & harvesting industries. The harvesting industries thus will have to find a best solution in line with the above trends. The trend for efficient, economical, small to mid size grain harvester combines with multi-crop abilities.

- Crop - Share of pulses and cereal crops other than rice, will increase and therefore so will the need of multicrop machines. Growth in the production of agricultural crops depends upon acreage and yield. Given the limitations in the expansion of acreage, the main source of long-term output growth is improvement in yields. There will be increased focus on crop yields and because of straws usage also a focus on straw and residue management.
- Field - Operational land holding will become smaller. Therefore focus on contract farming, custom hiring, more public and private partnership necessary to increase productivity. It is interesting to note that while public investment in agriculture is critical and important, in actual terms, it forms about 20 percent of the total investment in agriculture; 80 percent comes from the private sector. Along with bringing in greater public investment in agriculture, there is a need for bringing in reforms in the incentive structure.
- Combine harvesters - More international player entering market will improve and organize the market. Availability of different global technologies to make machines more productive and efficient.
- Miscellaneous - Increased usage of Information Technology and Agricultural Statistics in agriculture will influence the trends in grain harvesting.

5 References

- [1] IBEF: India Brand Equity Foundation.
- [2] IMRB: Indian Market Research Bureau
- [3] Ashok Gulati: Emerging Trends in Indian Agriculture: What can we learn from these?
- [4] agricoop.nic.in (Ministry of agriculture and cooperation, Government of India)
- [5] indiaenvironmentportal.org.in
- [6] Agriculture census: All India report on number and area of operational holding

Messmethode zur Bestimmung der Mähdrescher-Durchsatzleistung im Feld

Wiege-Messtechnik (WMT)

Dipl.-Ing. Bernhard Zippert, Dipl.-Ing. Berthold Schwersmann
CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH, Harsewinkel

1 Einleitung

Im Rahmen der Mähdrescherentwicklungen werden die Ansprüche an die Untersuchung im Feld immer höher. Die Entwicklungszeiten werden kürzer und die Entwicklung und Erprobung sind zeitgleich und effektiv durchzuführen. Aus diesem Grund müssen in den Versuchsabteilungen die Prozesse hinsichtlich Effizienz und Genauigkeit verstärkt hinterfragt und kontinuierlich optimiert werden.

Die Untersuchung von Mähdreschern mit Ablage des Abscheidungs- und Reinigungsabgangs auf Tüchern wird den Anforderungen hinsichtlich Genauigkeit und Effizienz besonders in extremen Bedingungen nicht mehr gerecht.

Der Aufwand an manueller Arbeit muss bei gleichzeitiger Optimierung des Ablaufes reduziert werden. Ziel ist es, bei vergleichbarem Aufwand die Anzahl der Messungen zu erhöhen, um die Entwicklungen breiter absichern zu können.

2 Stand der Technik heute

Eine besondere Herausforderung stellt die Optimierung der Untersuchung von Mähdreschern in Bedingungen mit extremen Bodenverhältnissen wie Reis dar, die ein Befahren der Felder nur mit speziell ausgerüsteten Fahrzeugen erlauben.

Die Mähdrescher sind aus diesem Grund mit breiten Stahlhalbraupen ausgerüstet, die unter nassen Bedingungen ein Befahren des Bodens ohne Einsinken des Mähdreschers ermöglichen.

Auswertemaschinen, Traktoren und Pkw können die Felder nur in außergewöhnlich trockenen Jahren befahren.



Bild 1: Extrem nasse Bodenverhältnisse in Reis

Bisher erfolgte die Auswertung des auf Tüchern abgelegten Strohs mit einem für die extrem nassen Böden geeigneten Auswertemähdrescher oder von Hand.

Durch die stetig größer werdenden Maschinen und die daraus resultierenden gestiegenen Durchsätze wurden die Mengen an Stroh und Verlustkörnern immer größer.

Die Anzahl der Messpunkte ist dadurch reglementiert.

3 Entwicklung einer neuen Messtechnik

Ziel war es, die Auswertung hinsichtlich Auswertegeschwindigkeit zu optimieren. Die Anforderung an Genauigkeit und Belastbarkeit der Ergebnisse sind ebenfalls gestiegen.

Die Optimierung erfolgte in mehreren Schritten. Das Wiegen der zusammen gerollten Tücher wurde durch ein Strohwiegeband ersetzt.

Das Strohwiegeband wird an den Mähdrescher montiert und wiegt kontinuierlich das Gewicht des Abscheidegutstroms.

Mit einem unabhängigen Antrieb ist das Wiegeband universell und maschinenunabhängig einsetzbar.

Das Stroh mit den enthaltenen Verlustkörnern wurde weiterhin auf Tüchern abgelegt. Die Auswertung erfolgt im Anschluss durch einen Auswertemähdrescher, der die Tücher aufgenommen und ausgewertet hat.

Durch Gegenwiegen der Tücher wurde die Genauigkeit des ermittelten Gewichtes überprüft.



Bild 2: Angebautes Strohwiegeband und Ablage auf 10m Tuch

Ein nächster Optimierungsschritt war, dass das Stroh nicht auf Tüchern abgelegt wurde und wieder für die Auswertung aufgenommen werden musste, sondern gleich vom Strohwiegeband in eine Auswertemaschine übergeben wurde.

Die Auswertemaschine muss aber die gleiche oder höhere Durchsatzleistung wie der zu messende Mähdrescher haben, um sicherzustellen, dass der Gutstrom bewältigt wird.

4 Aufbau der neuen Messkette

Um sicherzustellen, dass das Gut des Strohwiegebandes an den nachfolgenden Mähdrescher übergeben wird, es aber zu keinem Auffahren des Auswertemähdreschers kommen kann, wurden die beiden Mähdrescher über einen Koppelrahmen mit Fahrwerk, der das Strohwiegeband trägt, verbunden.

Anhängpunkte des zu messenden Mähdreschers ist das serienmäßige Anhängerkupplungsmaul für den Schneidwerktransportwagen und der Vorsatz des nachfolgenden Auswertemähdreschers. Der Vorsatz ist ein umgebautes Schneidwerk bestehend aus Schneidwerkmulde und Einzugsschnecke. Dieser Vorsatz fängt das Material, das aus dem Wiegeband fällt, auf und leitet es in den Auswertemähdrescher.

Die Verlustkörner, die durch den Auswertemähdrescher aus dem Gutstrom separiert werden, werden nicht in den Korntank des Mähdreschers gefördert. Um den Aufwand, im Korntank eine konstruktive Lösung zu schaffen, die es ermöglicht, die Verlustkörner für eine definierte Strecke getrennt zu sammeln, gering zu halten, wurde durch Entfernen des Kornmuldenbleches aus der Maschine die Möglichkeit geschaffen, die Verlustkörner separat zu sammeln.

Ein Querförderband, das unter der Kornmuldenschnecke montiert ist, fängt die Körner auf und fördert diese zur Seite. Die Verlustkörner werden in einem Auffangbehälter aufgefangen.

Als Auswertemaschine kann ein Serienmähdrescher verwendet werden, da die Auswertetechnik universell adaptiert werden kann.

Um für eine definierte Messstrecke die Verlustkörner zu erhalten, wurde ein Klappenmechanismus konstruiert, der es ermöglicht, für eine definierte Zeit die Verlustkörner in einen zweiten Auffangbehälter umzuleiten.

Diese Klappe wird für eine frei wählbare Strecke umgestellt, so dass während dieser Zeit die Verlustkörner in den zweiten Auffangbehälter fallen.



Bild 3: Links Förderung in Behälter, rechts Förderung während Messung

Dieser Auffangbehälter wird von einer Person nach jedem Messpunkt getauscht. Der Auswertemähdrescher häckselt und verteilt das Material, so dass kein weiterer Arbeitsgang nötig ist.

5 Auswertung mit der Messkette

Während der Messung sind die Signale des Strohwiegebands und der Drehmomente online zu sehen. Es kann somit während der Messung entschieden werden, wann die Beharrung ausreichend ist und eine Messung, d.h. Umschalten der Klappe am Querförderband, ausgelöst werden kann.

Bei Aufzeichnung der Drehmomente wird über einen Impuls gespeichert, wann die Klappe umgeschaltet wurde. Der zeitliche Versatz der Drehmomente, Strohgewicht und Verlustauswertung wurde ermittelt und bei der Zuordnung der Verluste zu den

Gewichten und gemessenen Leistungen wird der zeitliche Versatz entsprechend berücksichtigt.

Die Auffangbehälter werden während der Messfahrt gesammelt und anschließend gewogen und den ermittelten Drehmomenten und Stroh- und Kaffgewichten zugeordnet.

Grundsätzlich sind zwei Messvarianten zu unterscheiden. Bei der einen wird ausschließlich das Material der Abscheidung über das Strohwiegeband geleitet und im Auswertemähdrescher ausgewertet. D.h. die Verluste der Abscheidung werden ermittelt. Bei der anderen wird das gesamte Material bestehend aus Abscheidung und Reinigung auf das Wiegeband geleitet und ausgewertet.

Die Reinigungsverluste können rechnerisch ermittelt werden, indem zwei Messfahrten zeit- und bestandsnah durchgeführt werden. In der ersten werden die Abscheidungsverluste ermittelt und in der zweiten die Gesamtverluste. Die Reinigungsverluste erhält man, indem von den Gesamtverlusten die Abscheidungsverluste abgezogen werden.

Reinigungsverluste können auch getrennt aufgefangen und ausgewertet werden.

Der Kornertrag wird durch Wiegen der Kornmenge und des zurückgelegten Weges ermittelt.

Die Ausdruschverluste der Reinigung und der Abscheidung werden nicht differenziert ermittelt sondern den jeweiligen Verlusten zugeordnet.

Für die Messung sind auf dem Feld nur 2 Fahrer, 1 Messtechniker, 1 Person zum Tausch der Auffangbehälter und 1 Person zur Bestimmung des Korngewichtes beim Abtanken nötig. Aus diesem Grund ist es möglich, mit überschaubarem Personalaufwand Messungen durchzuführen.

Um das Messsystem zu überprüfen, kann das Material der Auswertemaschine auf ein Tuch abgelegt und auf enthaltene Verlustkörner überprüft werden.

6 Zusammenfassung

Die Methode kann bei allen Ernte- und Bodenbedingungen eingesetzt werden. Die Messtrecken können flexibel durch Kontrolle der Messwerte während der Messung bei Beharrung der Maschine angepasst und die Messung durchgeführt werden. Durch schnelle Auswertung kann eine Messkurve in sehr kurzer Zeit gefahren werden, da neben den Leistungsdaten die Messwerte des Stroh- und Kaffdurchsatzes der ermittelten Verluste vorliegen.

Kosten können durch Reduzierung des Aufwandes, Optimierung der Messausrüstung bei gleichzeitiger Erhöhung der Anzahl der Messpunkte und Verbesserung der Absicherung der Ergebnisse eingespart werden.

Es muss keine Nachbehandlung der Felder erfolgen, da das Stroh direkt nach der Messung gehäckselt und verteilt wird. Das Wiegeband wird ohne Modifizierungsmaßnahmen am Mähdrescher an das vorhandene Anhängerkupplungsmaul des Mähdreschers gehängt. Das Querförderband kann mit geringem Aufwand unter jeden Serienmähdrescher mit Kornmuldenschnecke gebaut werden.

Das Messsystem kann jederzeit durch Ziehen von Tüchern sehr schnell und einfach auf Genauigkeit überprüft werden.

Ausdruschverluste können nicht differenziert ausgewertet werden und die Auswertung der Reinigungsverluste ist aufwändiger im Vergleich zur Auswertung der Abscheide- und Gesamtverluste.

Methodik zur Messung von Arbeitsqualität und Verlust-Durchsatz-Verhalten von Mähdreschern unter Feldbedingungen

Prof. Dr. agr. Thomas Rademacher
Fachhochschule Bingen
Fachbereich 1, Agrarwirtschaft
Berlinstraße 109
55411 Bingen-Büdesheim

1 Einleitung

Die Arbeitsqualität und das Verlust-Durchsatz-Verhalten eines Mähdreschers sind jeweils sowohl von den Erntebedingungen, als auch von der Einstellung der leistungsbestimmenden Baugruppen sowie von der Konstruktion der Dresch- und Trenneinrichtungen abhängig. Um dies unter Feldbedingungen zu messen, wurden umfangreiche und verschiedene Methoden entwickelt. Eine sehr komplexe und somit auch kostenintensive Methode ist die des Einsatzes eines sogenannten Nachdreschers, wie sie beispielsweise von der DLG praktiziert wird. Dazu sind der oder die zu prüfenden Mähdrescher bereitzustellen und mit Messtechnik auszurüsten. Diese Methode wird auch für Forschungs- und Entwicklungszwecke genutzt.

Zur Beantwortung von Fragestellungen hinsichtlich der Wirkungen von Einstelloptimierungen, für die eine Messung der Gesamtverluste ausreicht, sind kostenintensive Messmethoden weniger geeignet. Darüber hinaus lassen sich derartige Verfahren nicht an Kundenmaschinen einsetzen, weil die Ernte durch die Ausrüstung mit Messtechnik sowie die Umrüstung wie beispielsweise den Ab- und Umbau von Verteil- und Häckseltechnik und die eigentliche Prüfung zu lange unterbrochen würde.

Daher bietet sich für Untersuchungen an Kunden-Mähdreschern während der betrieblichen Erntearbeiten die Verlustschalenmethodik an. Diese ist jedoch nur zielkonform nutzbar, wenn einige Besonderheiten beachtet und der Feldversuch entsprechend durchgeführt wird. Außerdem ist zur Gewinnung möglichst exakter Ergebnisse die Kombination der Probennahme am Mähdrescher mit den Daten des Informationssystems erforderlich. Dazu werden alle untersuchungsrelevanten Daten des

CAN-Busses geloggt und mit den Ergebnissen der Probennahme verknüpft. Die Methodik besteht daher aus der Kombination einer einfachen Probennahme und einer Datenerfassung am Mähdrescher nach aktuellem Stand der Technik.

Ziel dieses Beitrages ist es, diese Methode darzulegen und anhand einiger exemplarischer Ergebnisse ihre Aussagekraft zu belegen. Darüber hinaus werden die Vor- und Nachteile dieser Methodik gegenübergestellt.

2 Material und Methoden

Für die Verlustprobennahme am Mähdrescher werden 48 Schalen genutzt. Die Grundfläche der Schalen beträgt 100 x 50 cm. Zur Vereinfachung des Transportes sowie zur Verbesserung des Gleitens über die Getreidestoppel sind sie mit einer Kantung im Winkel von 45 Grad versehen, so dass ihre Gesamtfläche 0,57 m² beträgt. Die Schalen sind mit einer etwa einen Meter langen Schnur versehen, um die Wurfweite zu begrenzen bzw. sie genau mittig unter dem Mähdrescher zu platzieren. Sie werden zwischen den Achsen unter den Mähdrescher geschleudert.

Zur Kornprobennahme dienen einfache Werkzeuge wie ein Stileimer sowie entsprechende Behälter. Die Kornproben werden während der Messfahrten manuell an der Bunkerbefüllschnecke genommen. Dies ist erforderlich, um die daraus resultierenden Daten zur Arbeitsqualität mit den Ergebnissen der Kornverlustmessung sowie mit den Daten des Dataloggings zu synchronisieren.

Die Verlustproben werden mit Hilfe eines Gittersiebes vor- und per Windsichter nachgereinigt und die Kornverluste gewogen. Die Intensität der Windsichtung wird so auf das Schwebverhalten der Teile abgestimmt, dass auch gebrochene Körner sowie Feinteile des Endosperms abgeschieden werden. Die weitere Fraktionierung der Kornverluste in ganze Körner und Bruchstücke bzw. Endospermanteile erlaubt die Berechnung des Anteils beschädigter Körner in den Kornverlusten in Relation zum Anteil beschädigter Körner im Kornbunker [4, 6]. Zum Bruchkornanteil zählen demzufolge alle beschädigten Körner sowie Korn- bzw. Endospermteile. Gemäß üblicher Vorgehensweisen des Handels werden die Kornbeschädigungen nicht weiter klassiert.

Die Kornproben werden zur Messung der NKB-Anteile entweder per Laborreiniger, oder mit einem Schüttelsieb mit Öffnungsweiten gemäß Vorgaben der BLE [1] gereinigt. Die per Schüttelsieb gemessenen Anteile an Kümmerkorn korrelieren positiv mit dem Bruchkornanteil [6]. Die Bruchkornanteile in den Kornproben werden manuell erfasst. Dazu werden aus einer Masse von 100 g der Original-Kornprobe alle Bruchstücke und Endospermanteile ausgelesen [3, 5, 6, 8].

Zur Bestimmung des Korn:NKB-Verhältnisses werden ganze Pflanzen auf einer Fläche von etwa 0,25 m² entlang der Messstrecken auf Stoppelhöhe abgeschnitten. Diese Proben werden mit einem Ährendrescher gedroschen und Korn und NKB getrennt gewogen. Die Strohfeuchte wird per Trockenschrankmethode und die Kornfeuchte mit einem entsprechenden Kornfeuchtmessgerät gemessen.

Ein Feldversuch besteht gemäß Abb. 1 aus zwei Messfahrten mit jeweils sechs Messstrecken. Voraussetzung für einen Feldversuch sind Teilflächen mit möglichst homogenem Pflanzenbestand zwischen den Fahrgassen.

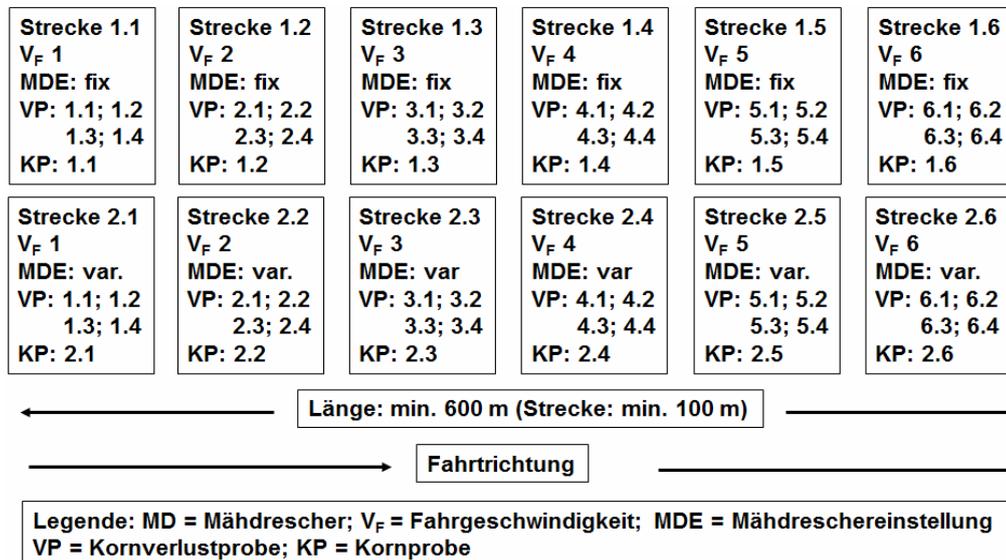


Abb. 1: Schema der Versuchsanlage im Feld für die Erstellung einer Verlust-Durchsatz-Kennlinie mit fixer Mähdreschereinstellung im Vergleich zu einer Verlust-Durchsatz-Kennlinie mit variabler Mähdreschereinstellung

Zur Vorbereitung eines Versuches erntet der Mähdrescher entlang einer Fahrgasse. Danach werden die Messstrecken von mindestens 100 m Länge mit Stäben markiert und die Verlustmessschalen passend neben den Messstrecken positioniert. Je nach

Ertrag, Arbeitsbreite und Fahrgeschwindigkeit werden die letzten Messstrecken oder eine Messstrecke verlängert. Die vierte oder fünfte Messstrecke wird verlängert, wenn während einer Messfahrt ein Teil des Kornes parallel übergeladen werden muss, weil andernfalls keine Kornprobe mehr an der Bunkerbefüllschnecke entnommen werden kann. Dies kommt bei hohen Arbeitsbreiten und Erträgen vor.

Einen beispielhaften Auszug eines Dataloggings für eine Verlust-Durchsatz-Kennlinie zeigt Abb. 2. Das Ende einer Messstrecke ist erreicht, wenn sich die Fahrgeschwindigkeit ändert. In diesem Falle wird sie von 6,0 auf 6,5 km/h erhöht. Bis zu diesem Zeitpunkt sind die Verlust- und Kornprobennahmen abgeschlossen. In der Phase des Messstreckenwechsels ist die nächste Soll-Fahrgeschwindigkeit von 6,5 km/h noch nicht erreicht. Nach dem Erreichen dieser neuen Soll-Fahrgeschwindigkeit erzielt der Mähdrescher einen gleichmäßigen Durchsatz bei höheren Kornverlusten. Nach einer Stabilisierungsphase von 50 bis 60 m Fahrstrecke in der nächsten Messstrecke erfolgt die erneute Probennahme für diese Messstrecke.

Tab. 1: Auszug eines Dataloggings für eine Verlust-Durchsatz-Kennlinie

Zeit	Fahrgeschwindigkeit	Ertrag	Korndurchsatz	Motorauslastung	Abscheideverluste	Reinigungsverluste	
[h]	[km/h]	[t/ha]	[t/h]	[%]	[Impulse]	[Impulse]	
18:22:49.514	6,0	12,6	66,1	44	230	86	Ende der vorherigen Messstrecke
18:22:54.680	6,0	11,6	59,6	43	216	70	
18:22:59.819	6,0	12,0	62,6	43	203	90	
18:23:04.971	6,0	12,3	63,9	41	198	103	Wechsel der Messstrecke
18:23:10.102	6,2	11,6	60,0	43	197	103	
18:23:15.257	6,5	11,6	60,1	45	193	120	Stabilisierungsphase
18:23:20.401	6,5	12,6	70,5	45	205	152	
18:23:25.550	6,5	11,9	68,1	46	226	142	
18:23:30.742	6,5	11,3	65,4	42	243	127	
18:23:35.911	6,5	11,9	68,8	54	242	125	
18:23:41.062	6,5	12,1	70,3	48	332	131	Beginn der nächsten Messstrecke
18:23:46.206	6,5	11,6	67,1	46	374	138	
18:23:51.352	6,5	11,1	64,3	48	314	116	
18:23:56.511	6,5	12,3	70,1	43	322	109	

Neben den in Tab. 1 dargestellten Kennwerten, werden sämtliche versuchszielrelevanten Daten geloggt. Dazu gehören neben den Einstellwerten aller Aggregate auch

Motordaten. Mit Letzteren kann beispielsweise die Motorauslastung über dem Durchsatz dargestellt werden. Neben der Fahrgeschwindigkeit zur Erstellung einer Verlust-Durchsatz-Kennlinie sind alle Einstellungen des Mähdreschers variabel. Somit lassen sich auch Fragestellungen hinsichtlich veränderter Mähdreschereinstellungen auf das Verlustverhalten sowie auf die Arbeitsqualität bei konstantem Durchsatz beantworten. Dies gilt auch für die Einstellungen am Erntevorsatz [5, 7].

Für die Berechnung der Kornverluste werden die tatsächliche Arbeitsbreite und die Wurfweite der Verlustkörner in Relation gesetzt. Die tatsächliche Arbeitsbreite, die während der Messfahrt eingehalten werden muss, entspricht der im Informationssystem programmierten Arbeitsbreite. Die Wurfweite der Verlustkörner entspricht bei Schwadablage und entsprechend eingestelltem oder ausgeschaltetem Spreuverteiler der Dreschkanalbreite. Zwischen zwei Messfahrten wird die Schnitthöhe nicht verändert und somit auch nicht der NKB-Durchsatz des Mähdreschers aufgrund unterschiedlicher Stoppellänge.

Werden die Untersuchungen bei Häckslerbetrieb durchgeführt, so wird die Wurfweite der Verlustkörner durch Querablage der Verlustmessschalen neben dem Mähdrescher gemessen. Diese Vorgehensweise begründet sich aus der Erkenntnis, dass die Verlustkörner bei Häckslerbetrieb nicht auf die gesamte Arbeitsbreite verteilt werden [2]. Bei Rotor-Mähdreschern kann es je nach Erntegutbeschaffenheit und Kornverlustverteilung zwischen Rotor/en und Reinigung vorkommen, dass sich ein höherer Anteil der Kornverluste neben dem Mähdrescher befindet. Dies ist bei den Messungen unbedingt zu berücksichtigen, weil einem Landwirtschaftsbetrieb nicht abverlangt werden kann, seinen Mähdrescher für die Untersuchungen auf Schwadablage umzustellen, und anschließend die Schwaden nochmals aufzunehmen, um das Stroh zu häckseln.

3 Die Vor- und Nachteile des Messverfahrens

Die Zuordnung der Ergebnisse der Verlust- und Kornprobenanalysen zu den Kennwerten des Dataloggings vereinfacht das Messverfahren in hohem Maße. Es kann u. a. auf die sonst erforderliche Wägung des Bunkerinhaltes nach dem Absolvieren jeder Messstrecke verzichtet werden. Darüber hinaus werden Fläche und Zeit gespart,

weil der Gutfluss im Mähdrescher nicht wie bei anderen Verfahren üblich, durch Stillstand nach jeder Messstrecke unterbrochen wird, sondern bei erntendem Mähdrescher lediglich der Durchsatz oder versuchszielgemäße Einstellungen verändert werden.

Demzufolge ist für einen Kundenmähdrescher für einen Versuch (zwei Messfahrten) eine Verlustzeit von insgesamt etwa 15 Minuten zu kalkulieren. Vor Erntebeginn werden die Behälter für die Kornproben auf der Motorverkleidung fixiert. Vor Beginn jeder Messfahrt steigt der Probennehmer hinten auf den Mähdrescher, der zuvor den Bunker entleert hat, und am Ende der Messfahrt verlässt er ihn mit den Proben. Zwischen den drei Fahrten (Anmähen in der Fahrgasse, erste und zweite Messfahrt) erntet der Mähdrescher auf einem anderen Teilschlag weiter.

Bei Schwadablage wird das Stroh oberhalb der Verlustmessschalen bezüglich Dreschwerkverluste bonitiert. Bei Häckslerbetrieb erfolgt dies nicht. Die Dreschwerkverluste werden somit zwar berücksichtigt, jedoch ist deren Erfassung selbstverständlich mit einem größeren, nicht näher quantifizierten Ungenauigkeitsfaktor behaftet als bei einer Nachdreschmethode.

Bezüglich Arbeitssicherheit ist das Verfahren als problematisch zu bewerten. Der Kornprobennehmer wird gegen möglichen Absturz von der Maschine gesichert. Der Verlustprobennehmer schreitet recht nahe ans Fahrwerk. Durch die Verwendung der Schnüre an den Verlustmessschalen kann die Sicherheitsdistanz zum Mähdrescher jedoch vergrößert werden. Bei Schwadablage ragen die farbigen Schnüre seitlich aus dem Schwad heraus, so dass die Verlustmessschalen rasch gefunden werden.

Vor einem Versuch wird die Ertragsmesseinrichtung kalibriert, um den Versuchsfehler zu minimieren. Mögliche Fehler, die z. B. bei der Messung des Korn:NKB-Verhältnisses vorkommen können, werden konstant gehalten, um die Messergebnisse zwischen zwei Messfahrten nicht in unterschiedlichem Maße zu beeinflussen. Somit wird ein möglicher Gesamtfehler konstant gehalten.

4 Versuchsergebnisse – einige Beispiele

Zwei Verlust-Durchsatz-Kennlinien, gemessen bei der Ernte von Triticale, zeigt Abb. 2. Der oberen Kennlinie liegen die Standard-Einstellwerte des Hybrid-Mähreschers zugrunde. Die Messfahrt für die untere Kennlinie wurde nach der Optimierung der Mähreschereinstellung mit dem Einstellassistenten durchgeführt. Da die Untersuchungen immer vergleichend stattfinden, werden die Ergebnisse als Relativwerte dargestellt.

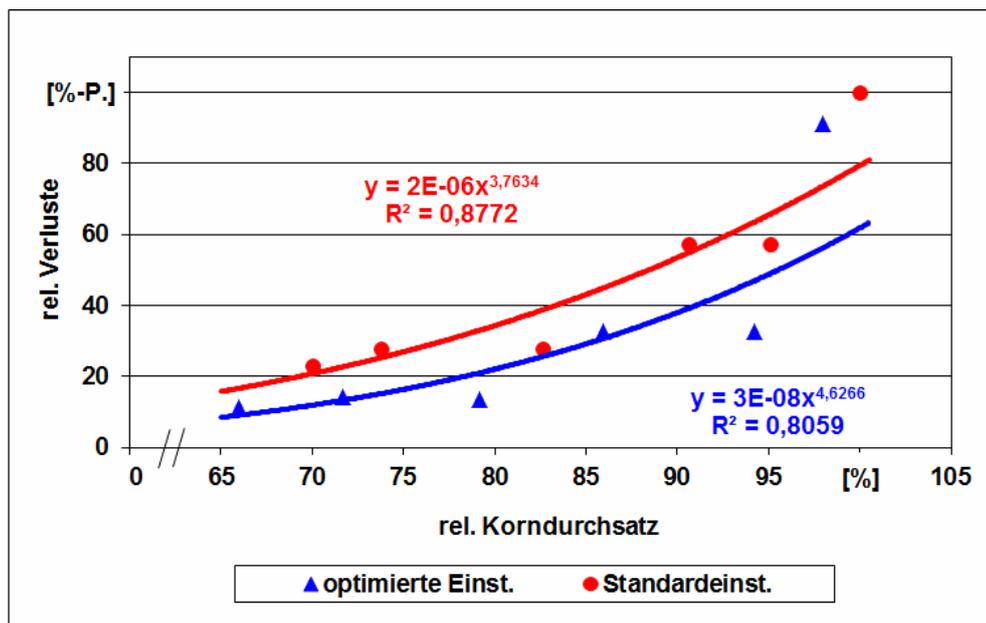


Abb. 2: Vergleichende Verlust-Durchsatz-Kennlinien mit StandardEinstellung und optimierter Einst. des Mähreschers; Druschfrucht: Triticale 2009 [nach 8, 6]

Die Bestimmtheitsmaße der Regressionsfunktionen sind mit 80 bzw. 87 % für Felduntersuchungen dieser Art vergleichsweise hoch. Hohe Bestimmtheitsmaße sind vor allem auf gleichmäßige Druschfruchtbestände sowie auf einen gleichmäßigen Gutfluss durch den Mährescher zurückzuführen. Je nach Homogenität des Druschfruchtbestandes bzw. des Gutflusses im Mährescher kann die Masse der Verlustkörner auf den Schalen um den Faktor 2 variieren. Daher ergibt eine statistische Verrechnung der Ergebnisse bei derart hohen absoluten Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert oft keine signifikanten Unterschiede der Ergebnisse zweier Messfahrten. Demzufolge wird auf eine statistische Verrechnung der Ergebnisse verzichtet, ebenso wie bei anderen Prüfverfahren von Mähreschern.

Abb. 3 zeigt die Reduktion des Bruchkornanteils, bedingt durch eine Optimierung der Mähdreschereinstellung sowie durch die Zunahme des Durchsatzes bei der Ernte von Triticale. Die Bestimmtheitsmaße der Regressionsfunktionen von 78 bzw. 76 % sind für derartige Untersuchungen als vergleichsweise hoch einzustufen.

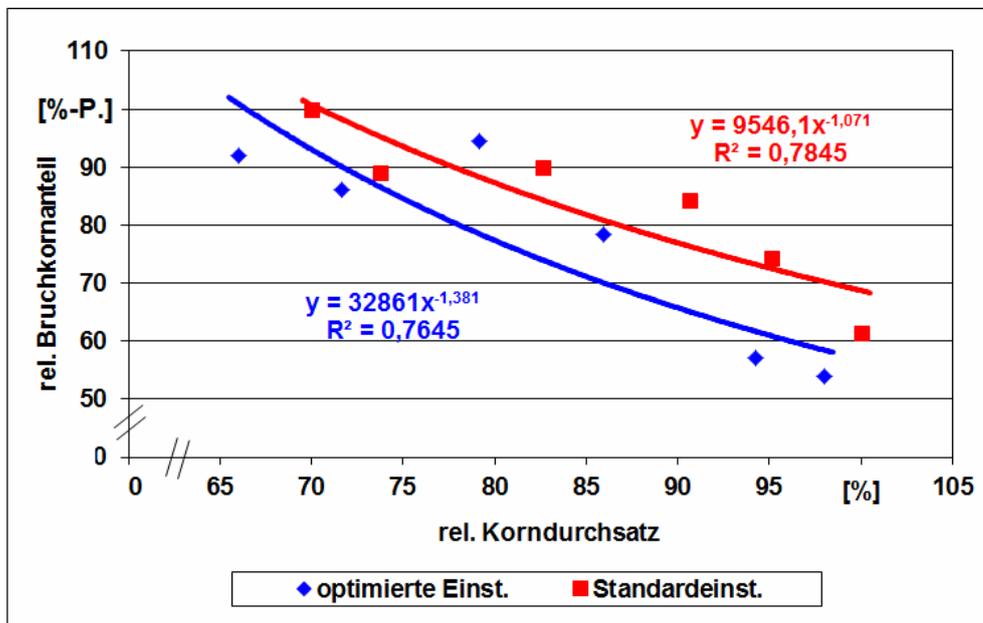


Abb. 3: Vergleichende Kennlinien des relativen Bruchkornanteils über dem relativen Korndurchsatz mit Standardeinstellung und optimierter Einstellung des Mähdreschers; Druschfrucht: Triticale 2009 [nach 8, 6]

Den relativen Anteil gebrochenen Kornes im Kornbunker sowie den relativen Gesamt-Bruchkornanteil über der relativen Druschintensität (Schlagpunktzahl / Dreschspaltweite [4, 6, 7]) zeigt Abb. 4. Der Gesamt-Bruchkornanteil besteht aus der Summe des Bruchkornanteils in der Bunker-Kornprobe und des Bruchkornanteils in den Kornverlusten. Die Kornbeschädigungen nehmen mit zunehmender Druschintensität exponentiell zu. Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktionen beträgt 78 bzw. 75 %. Diese sind als vergleichsweise hoch zu bezeichnen.

Mit zunehmender Druschintensität nimmt nicht nur der Bruchkornanteil der Kornprobe, sondern auch der Bruchkornanteil in den Kornverlusten zu. Die Differenz zwischen den beiden Bruchkornanteilwerten beträgt lediglich 2,26 %Punkte. Der absolute maximale Gesamt-Bruchkornanteil betrug bei den vorliegenden Ergebnissen einer Messung an einem Hybrid-Mähdrescher 2,25 %. Die maximale Druschintensität be-

trug absolut 220,56 Hz Schlagpunktzahl pro mm Dreschspaltweite, entsprechend einer Dreschtrommeldrehzahl von 1103 U/min bei einer Dreschspaltweite von 10 mm.

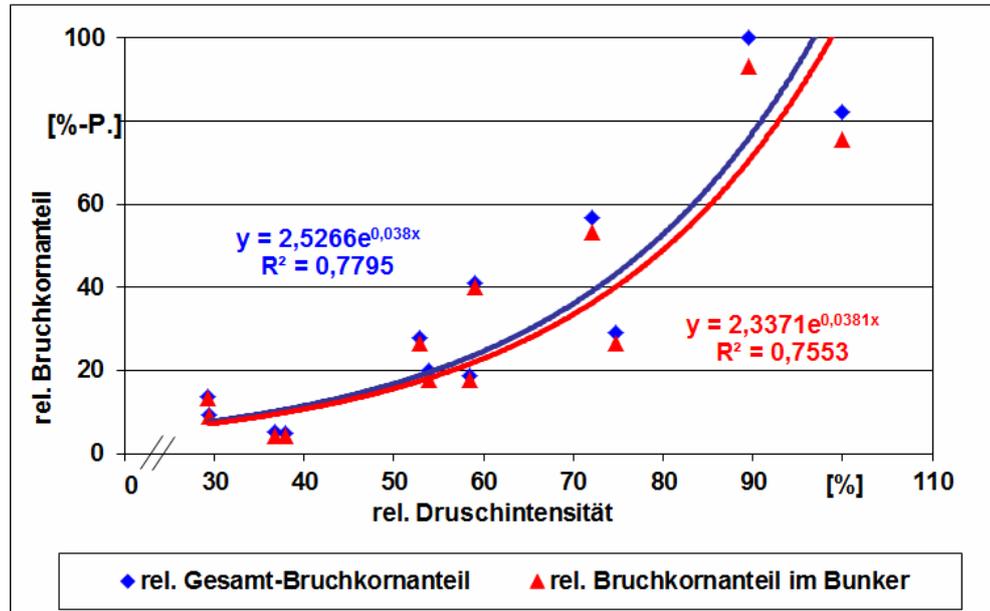


Abb. 4: Relativer Gesamt-Bruchkornanteil und relativer Bruchkornanteil im Kornbunker über der Druschintensität eines Hybrid-Mähdreschers; Druschfrucht: Weizen 2010 [nach 4, 6]

Abb. 5 zeigt das Ergebnis einer Prüfung der Durchsatz-Regeltechnik in Kombination mit der Regeltechnik des Einstellautomaten für die Restkornabscheidung und Reinigung eines Hybrid-Mähdreschers in der Weizenernte. Bei beiden Messfahrten war die Regeltechnik des GPS-geregelt gelenkten Mähdreschers aktiviert. Alle Einstellungen blieben unverändert, so dass der Fahrer lediglich die einwandfreie Funktion der Maschine kontrollierte.

Die Länge der Messfahrten betrug 900 m. Der Weizenbestand mit einer Kornfeuchte von 18 %, einer Strohfeuchte von 16 % sowie einem mittleren Korn:NKB-Verhältnis von lediglich 1:0,49 und einem mittleren Ertrag von 10,6 t/ha war durch große Inhomogenität mit Ertragsschwankungen von + 11 bis – 17 % vom Mittelwert gekennzeichnet. Entsprechend groß ist die Spannweite der Ergebnisse der Einzelmessungen gemäß Abb. 5.

Dieses Ergebnis lässt sich nur als Cluster der beiden Messfahrten sowie dem Mittelwert beider Ergebnisse darstellen, weil der Durchsatz nicht wie bei üblichen Verlust-Durchsatz-Kennlinien gestuft verändert wurde. Die Kornverluste wurden durch die Regeltechnik begrenzt und erreichten einen absoluten Maximalwert von 1,05 %. Abgesehen von einer Ausnahme ist der Korndurchsatz als vergleichsweise konstant zu bezeichnen. Im Mittel war der Korndurchsatz während der beiden Messfahrten mit absolut 55,6 t/h identisch. Ebenso ist das mittlere Kornverlustniveau mit 0,54 % bei der ersten Messfahrt bzw. 0,6 % bei der zweiten Messfahrt als nahezu identisch zu bewerten. Das Ergebnis bestätigt nicht nur die Funktionsfähigkeit der Regeltechnik des Mähdreschers, sondern auch die Genauigkeit der Kornverlustmessung.

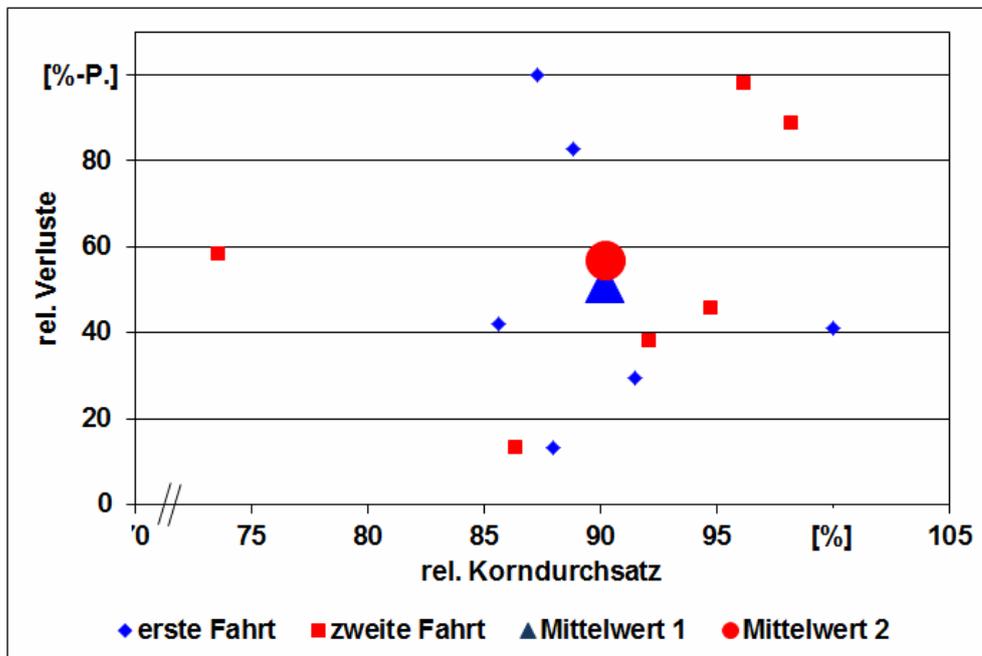


Abb. 5: Relative Kornverluste über relativem Durchsatz eines Hybrid-Mähdreschers bei aktiviertem Durchsatz- und Einstellregler für die Restkornabscheidung und Reinigung; Druschfrucht Weizen 2012 [nach 3]

Wird der Durchsatzregler des Hybrid-Mähdreschers ausgeschaltet und eine Messfahrt mit den Standardeinstellungen für Reinigung und Restkornabscheidung sowie die andere Messfahrt mit aktiviertem Einstellautomaten für Restkornabscheidung und Reinigung bei unveränderter, optimierter Dreschwerkeinstellung realisiert, so ergibt sich ein Kennlinienverlauf gemäß Abb. 6 in der Druschfrucht Raps. Für die Variante Standardeinstellung ergibt sich ein hohes Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktio-

on von 95 %. Dagegen beträgt das Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktion der Variante Automatik lediglich 48 %. Dieses geringe Bestimmtheitsmaß begründet sich aus der Regeltechnik des Einstellautomaten. Gerät ein leistungsbegrenzender Parameter an Grenzen, so wird seine Einstellung verändert, um zunehmende Kornverluste zu vermeiden, die Steigung der Verlust-Durchsatz-Kennlinie wird somit geringer. Das Verhalten des Automaten führt zwangsläufig zur Reduzierung der Bestimmtheitsmaße, wie andere Versuchsergebnisse bestätigen [7].

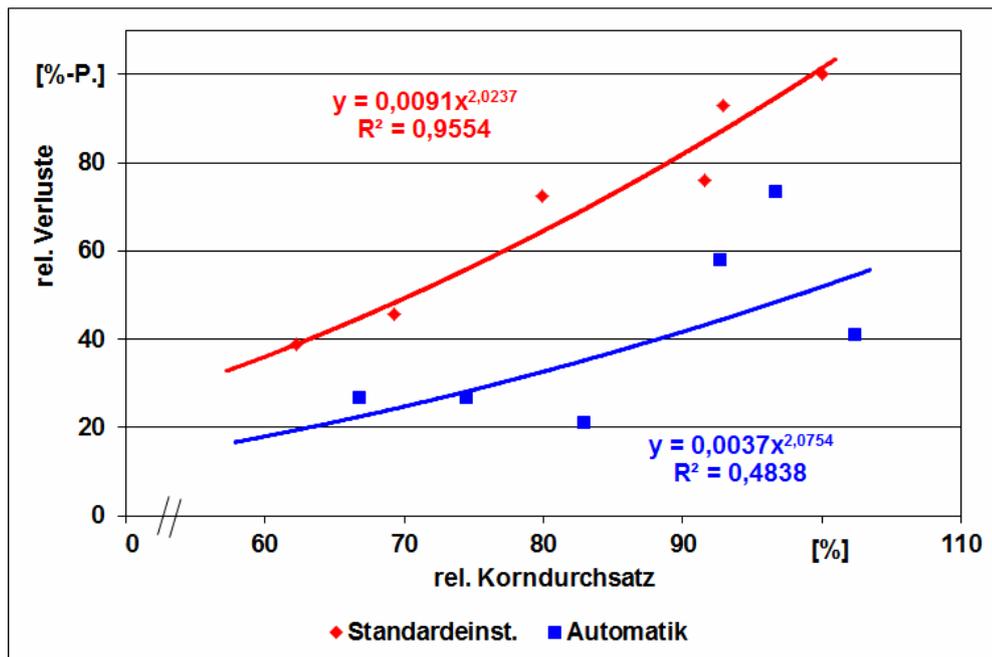


Abb. 6: Relative Kornverluste über relativem Durchsatz eines Hybrid-Mähdreschers bei aktiviertem Einstellregler für die Restkornabscheidung und Reinigung in Raps im Vergleich zur Standardeinstellung; Druschfrucht: Raps 2012 [nach 3, 7]

Die Untersuchungsergebnisse gemäß Abb. 5 und 6 zeigen, dass es aufgrund der Weiterentwicklung der Regeltechnik in Mähdreschern zukünftig fraglich sein wird, ob die klassische Verlust-Durchsatz-Kennlinie die tatsächlichen Gegebenheiten im Feld darzustellen vermag. Für Forschungs- und Entwicklungszwecke wird die klassische Verlust-Durchsatz-Kennlinie sicherlich weiterhin erstellt werden müssen. Daneben wird es jedoch weitere Formen der Prüfung von Mähdreschern gemäß der dargestellten Varianten geben müssen, um die tatsächlichen Gegebenheiten im betrieblichen Einsatz zu analysieren und entsprechend darzustellen.

5 Zusammenfassung

Zur Untersuchung der Wirkungen von verändertem Durchsatz und verschiedenen Einstellungen der leistungsbestimmenden Baugruppen eines Mähdreschers auf die Arbeitsqualität und die Gesamt-Kornverluste eines Mähdreschers bietet sich die Verlustschalenmethode sowie die Kornprobennahme an der Bunkerbefüllschnecke in Kombination mit einem Datalogging an.

Voraussetzung dafür ist eine den Ernte- und Einsatzbedingungen angepasste Versuchsanstellung mit Messstreckenlängen von mindestens 100 m bei einer Gesamtlänge von mindestens 600 m. Die Verlustprobennahme besteht aus vier Wiederholungen mit einer Aufnahmefläche der Schalen von 2,28 m² auf sechs hintereinander befindlichen Messstrecken. Eine Kornprobe besteht aus einer Mischprobe aus zwei Wiederholungen. Auf die Arbeitssicherheit ist bei diesem Verfahren zu achten.

Aus den bisherigen Ergebnissen konnten nicht nur Erkenntnisse hinsichtlich der Wirkungen veränderter Maschineneinstellungen mit für Feldversuche üblichen Bestimmtheitsmaßen von mehr als 70 %, sondern auch hinsichtlich der Wirkungen von Regeltechniken gewonnen werden. Aus aktuellen Ergebnissen resultiert, dass es zukünftig neben der klassischen Verlust-Durchsatz-Kennlinie weitere Darstellungsvarianten der Kornverluste über dem Durchsatz eines Mähdreschers geben wird.

6 Literatur

1. BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG: Richtlinien zur Durchführung der Intervention von Getreide für das Geschäftsjahr 2010/2011
2. DÖRR, M.: Die Quer- und Längsverteilung der Kornverluste eines Mähdreschers bei Häckslerbetrieb. Bachelorarbeit mit Sperrvermerk, Fachhochschule Bingen 2012
3. FEHL, J.: Der Einfluss einer teilautomatisierten Einstellung auf das Arbeitsergebnis eines Hybrid-Mähdreschers am Beispiel des CEMOS-Automatik. Bachelorarbeit mit Sperrvermerk, Fachhochschule Bingen 2013
4. MAYER, W.: Der Einfluss der Einstellung des Mähdreschers auf die Kornqualität und die Zusammensetzung der Körnerverluste bei Weizen, Gerste und Raps. Bachelorarbeit mit Sperrvermerk, Fachhochschule Bingen 2011
5. RADEMACHER, TH.: Druschfruchternte – zukünftig nur noch mit Expertensystemen? Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL), RKL-Schrift 41414, Mai 2010, S. 797 – 831
6. RADEMACHER, TH.: Bruchkorn-Verlustverhalten von Mähdreschern. Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL), RKL-Schrift 41414, August 2011, S. 833 – 859
7. RADEMACHER, TH.: Der Einfluss von Adaptionsmaßnahmen an den Druschfruchtbestand auf das Arbeitsergebnis des Mähdreschers. VDI-MEG Tagung Landtechnik für Profis. Tagungsband, VDI-Bericht 2192, S. 43 – 61, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 2013, ISSN 0083-5560
8. VOLKMAR, J.: Der Einfluss einer optimierten Einstellung auf das Arbeitsergebnis des Mähdreschers. Bachelorarbeit mit Sperrvermerk, Fachhochschule Bingen 2010

Grain Harvesting in Sweden and Related Research at JTI

M. Sc. (Agr. Eng.) Gunnar Lundin

JTI - Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering, Uppsala

1 Background

Grain harvesting in Sweden is conducted during wet conditions compared to central Europe. Kernel moisture content at harvest is normally around 20 % and straw moisture content is about 25-30 %. The harvest window is also narrow which, when put together with high moisture contents, increases the demands regarding efficient utilization of the combine harvesters. In order to improve combine harvesting performance during Swedish conditions a number of investigations have been conducted at JTI.

2 Combine harvesting with stripper header

To decrease the load on the combine harvesters caused by large amount of wet straw it is useful to just let the upper (and also drier) parts of the crop into the machine. The stripper header from the British company Shelbourne Reynolds Engineering, is a way to achieve this. The stripper header is attached to the combine harvester in the same way as a conventional header. The nucleus of the stripper header consists of a rotor with plastic fingers of polyurethane with key-hole shaped recesses, Figure 1. The plastic fingers loosen the grains from the straws, which largely remain rooted in the soil.

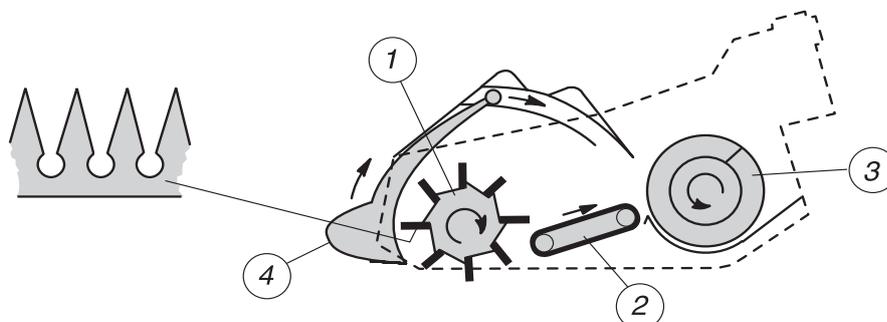


Figure 1: The stripper header consists of a rotor (1), a conveyor belt (2), a feeding auger (3) and a hood (4).

During 1989 and 1990 field trials were conducted with the stripper header in a number of crops [1]. The reduced intake of straw led to considerably higher output in cereals, often about 50 %. However, the higher capacity was achieved at the cost of more header losses which were particularly obvious in rape seed and field beans. Further baling of the stripped straw and incorporation of the high stubble was more complicated.

If both advantages and disadvantages are considered, the stripper header can be seen to be attractive in situations where high harvesting capacity is important and where the farmer at the same time also has access to a conventional header.

3 Straw chopper performance

In order to save fuel and labour, ploughless tillage has become common in Swedish grain cultivation. This increases the demands regarding straw chopper performance. Cutting lengths and distribution of the crop residues at combine harvesting have therefore been studied in a number of field trials. In one of these investigations performance differences between smooth and serrated knives with respect to chop lengths and wearing were evaluated [2, 3].

Before harvest 2001, new reciprocating knives and counter knives were mounted on a conventional combine harvester, Massey-Ferguson 36. The same knives were kept on the straw chopper for the entire harvest season. All knives as well as the straw chopper itself were manufactured by Rekordverken Sweden AB. A total of 28 smooth reciprocating knives were mounted on the left hand side of the straw chopper with the same number of serrated knives mounted on the right hand side.

During the harvest season this combine was used for the harvest of more than 200 hectares of cereals and rape seed in central Sweden. Chopped straw from each type of knife was sampled on nine occasions and analysed for chop length.

After the harvest season, each reciprocating knife was weighed. The mass loss was used as a measure of the wear on each knife.

On average over the entire harvest season, the difference in chop length was negligible. Both types of knives namely achieved average chop lengths of 31 mm, Figure 2. Correspondingly, negligible differences in knife wear were observed.

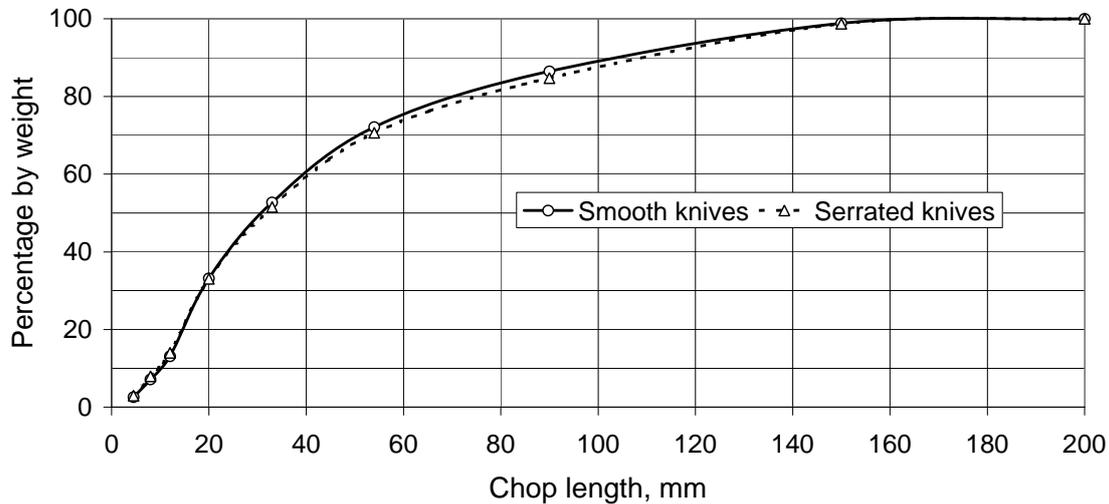


Figure 2: Cumulative length distribution by weight for straw chopped with smooth and serrated knives respectively. The mass median length (at 50 % by weight) was about 31 mm for both types of knives. Data compiled from all measurement occasions.

In parallel with the Swedish studies above, additional tests were conducted in Germany. Also in these trials performance differences between the tested system arrangements were marginal.

4 Combine harvesting of winter rape seed with extended headers

In Sweden there is great interest in methods for increasing the outcome from rapeseed cultivation. Such a development, however, is partly restrained due to problems encountered with combine harvesting, such as large header losses and frequent interruptions. Field trials during 2006 and 2007 therefore were carried out with the aim to improve combine harvester performance by using specially adapted headers [4].

The harvests were carried out with combine harvesters equipped with headers where the length, i.e. the distance between the cutterbar and the feeding auger, was adjustable (Claas Vario model). Measurements of header losses and harvesting capacity were carried out with three different header lengths: 63, 83 and 113 cm, Figure 3.

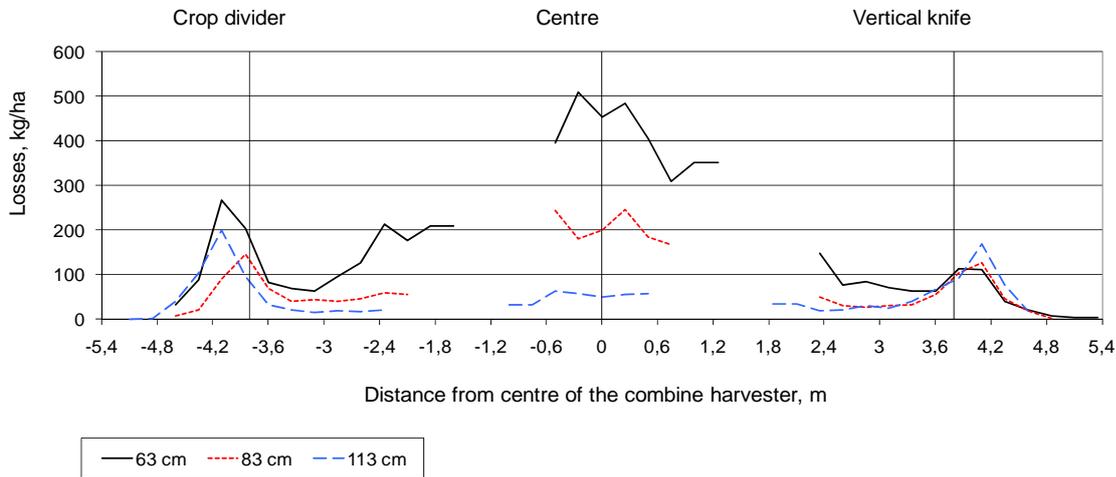


Figure 3: Results from 2007 field trials. The distribution of the header losses across the working width varied according to the length of the header (63, 83 and 113 cm). Each dataset shows an average from three combine harvester crossings. The vertical lines show the centre and the sides of the header respectively. A crop divider was used on the left hand side of the header and a vertical knife on the right hand side.

The investigation showed that headers specially adapted for rapeseed harvest can reduce the losses with about 100 kg per hectare, Table 1. Furthermore, the capacity was increased. This suggests that all combine harvesters used for winter rape to some extent should be equipped with a vertical side knife in order to reduce losses and harvest interruptions. By larger acreages of winter rape investments also in longer headers should be considered.

Table 1: Losses at different header lengths for combine harvesting during practical circumstances (uncut crop only on the right hand side of the header). Average of field trials with winter rape carried out in 2006 and 2007, with yield of about 3600 kg per hectare. Combine harvester models Claas Lexion 580 and 570 respectively, cutting width 7.6 m. In the table the losses from different sections of the headers are given. The lateral extension of these sections was defined as follows: "Header centre" = the width of the feeding conveyor. "Header right hand side" = 0.5 m on either side of the right hand crop divider/vertical knife. "Knife only" = Remaining parts of the cutting width.

Header length, cm	Header losses				
	From each header segment, kg/ha			Sum	
	Knife only	Header centre	Header right side	Kg/ha	% of yield
63 (normal)	73	69	14	156	4,4
83	25	31	14	70	2,0
113	12	13	11	36	1,0

5 Simultaneous harvesting of straw and chaff

In Sweden straw traditionally is used for bedding. In recent years some amount is also used as biofuel for heating purposes. When harvesting straw only the long fraction is currently collected. Technological developments, however, have made it possible to also harvest some of the chaff by mixing in this fraction with the straw swath at combine harvesting. In a field trial investigations were made about how simultaneous harvest of straw and chaff influenced yield, bale density, field-drying behaviour and combustion characteristics [5].

The field experiments were carried out during 2009 for long- and short-stalked winter wheat crops. Regarding straw chopping and chaff spreading the combine harvesters were equipped with the Combi System from Rekordverken Sweden AB. This enabled them to mix the chaff in the straw swath as well as distribute this fraction over the working width, Figure 4.

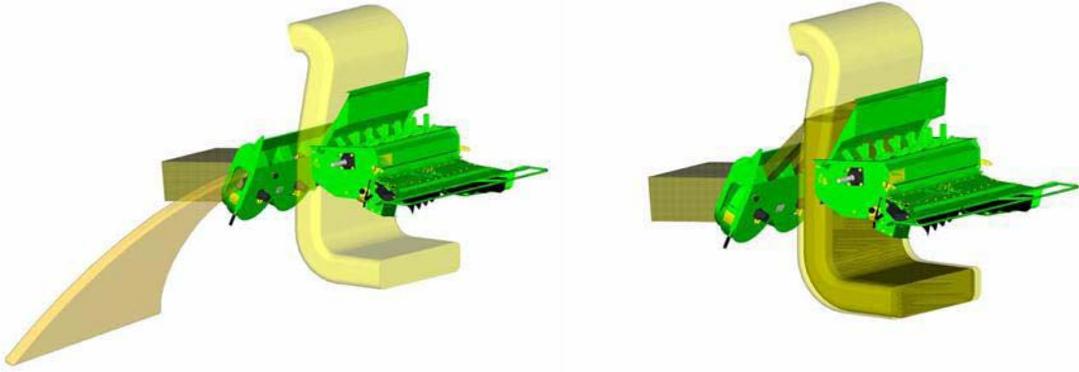


Figure 4: With the "Combi System" chaff can be distributed across the working width of the combine harvester as well as be admixed into the straw swath. Corresponding settings are also possible when the straw chopper is running. The Combi System can currently be fitted to combine harvesters from Sampo Rosenlew, New Holland (model CSX) and John Deere (models W and T). Illustration: Rekordverken Sweden AB.

As soon as the crop residues had reached safe moisture content level for storage they were harvested with a high-density baler, model Claas Quadrant 1200.

The measurements of crop residue moisture content immediately after combine harvesting showed that admixture of chaff decreased the initial moisture content in the straw swaths. However, already some days after combine harvesting the differences between the treatments were leveled out.

With respect to baling, the density and the weight of each bale were not affected by the treatments.

In Figure 5 is reported the amount of harvested crop residues for the different treatments. As shown in the diagram, mixing in chaff increased the amount of harvested crop residues by about 400 and 700 kg per hectare respectively. This meant that the crop residue harvest was increased by an average of 14 %, as well as that about half of the biologically available chaff was harvested.

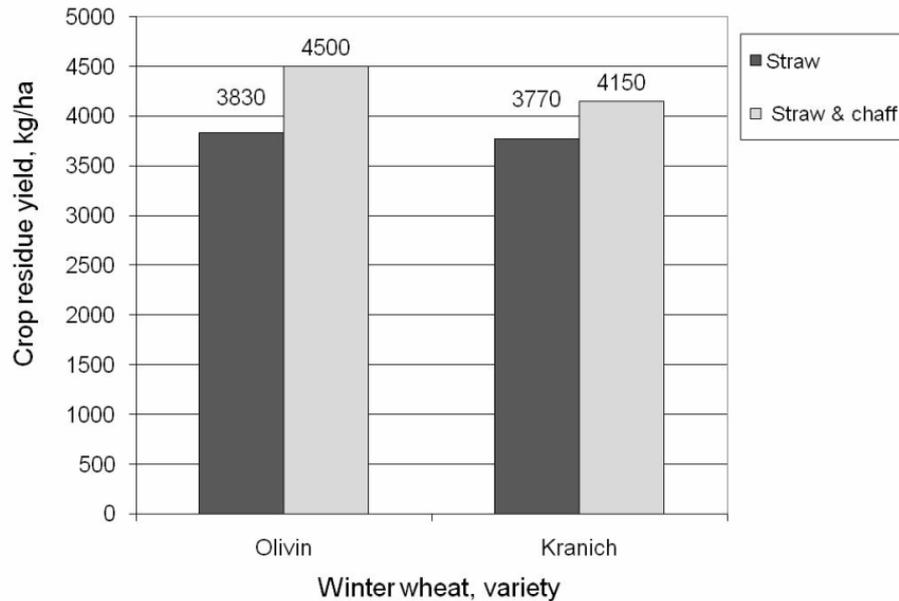


Figure 5: The amount of harvested crop residues.

Mixing in chaff increased the ash content by 1 percentage unit. This did not cause any significant change in net calorific value or ash melting behavior.

6 Reduced fuel consumption at combine harvesting by adaption of the straw cutting rate – New technique of measurement

From both an environmental and economic point of view, it is important to increase the efficiency of agricultural energy use. Unlike field works with tractors, the fuel consumption at combine harvesting over time tends to rise. This depends largely on the increasingly intensive processing that occurs in the straw choppers.

Past experience indicates that through management measures and by adaption of the straw cutting rate there is potential for substantial energy savings. In order to evaluate such measures and implement them in Swedish agriculture, it is necessary to measure the actual power demand, which, however, earlier has been difficult to realize.

In German trials, newly developed technology has provided reliable measurements of the straw choppers power demand [6]. The present, ongoing study aims to provide answer whether the new measuring device is able to detect and quantify measures

that significantly reduce the fuel consumption at combine harvesting during Swedish conditions.

Before the harvest 2013 a combine harvester is fitted with equipment to measure the torque and number of revolutions of the straw chopper. By varying the cutting intensity at harvesting of winter wheat and oats, relationships between cutting rate and power demand is obtained. Potential fuel savings at various action alternatives will be presented.

7 Literaturangaben

- [1] Lundin G., 1991. Schwedische Erfahrungen mit Ährenpflückern im Vergleich zu konventionellen Getreideernteschneidwerken. Vortrag Tagung "20 Jahre Mährescherforschung an der TU Dresden", 25.-26. September 1991.
- [2] Lundin G., 2008. Chop Length and Wear for Two Types of Straw Chopper Knives at Combine Harvesting. Presentation at "10th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture", Antalya, Turkey, 14-17 October, 2008. Journal of Agricultural Machinery Service, volume 4, No 1, page 99-103. ISSN 1306-0007.
- [3] Lundin G., 2002. Zerteilungsfähigkeit und Verschleiß für zwei Typen von Strohhackslermessern beim Mähdrusch. Feldversuche in Schweden und Deutschland. (Summary in English). Report No. 297 from JTI – Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering. ISSN 1401-4963.
- [4] Lundin G., 2011. Reduced Losses and Increased Capacity by Combine Harvesting of Winter Rape Seed. Presentation at "13th International Rapeseed Congress" 5-9 June 2011, Prague, the Czech Republic. www.irc2011.org.
- [5] Lundin G. & Rönnbäck M., 2010. Simultaneous Harvesting of Straw and Chaff for Energy Purposes – Influence on Bale Density, Yield, Field Drying Process and Combustion Characteristics. Presentation at CIGR-conference "Sustainable Biosystems through Engineering" 13-17 June, Québec, Canada. Section III: Equipment Engineering for Plant Production. www.cigr2010.ca Paper ID CSBE 101005. <http://bioeng.ca/publications/meetings-papers?catid=10>
- [6] Schwarz M., Zähl T., Dominik G. & Böttinger S., 2011. Leistungsbedarf am Mährescher. Landtechnik 66 (2011) No. 4, pp. 272-275.

Combine Harvesting in South and Southeast Asia: Current Status and Trends

Dipl.-Ing. agr. Martin Gummert (1), Dr. Phan Hieu Hien (2,3)

(1) and (2): International Rice Research Institute, Manila

(3) IRRI Consultant, formerly Director of the Center for Agricultural Mechanization and Energy, Long Nam University, Ho Chi Minh City, Vietnam.

1 Introduction

In 1969, the International Rice Research Institute (IRRI) introduced a stationary, engine-powered axial-flow thresher (AFT). The AFT addressed harvesting problems caused by crop intensification during the Green Revolution, which had led to yield increases and additional harvests often taking place in the wet season. These threshers have been introduced to all Asian rice-growing countries and are now being produced in hundreds of different configurations by close to a thousand small and medium manufacturers and metal workshops. There are light, portable threshers without cleaners, threshers on wheels with cleaners, and truck-mounted threshers, all suited to local cropping systems and infrastructure. A decade ago, most of the rice produced in Southeast (SE) and South Asia was still harvested in the traditional way, cut by hand using a sickle or a small knife, and threshed either with the AFT or using various manual tools such as threshing frames or simple pedal threshers. Before cyclone Nargis in 2008, farmers in Myanmar even still used animal trampling or hand tractors with heavy wooden rollers as attachments driving in circles on the rice crop spread on the ground to remove the grains from the plants.

In recent years continuing crop intensification has led to even shorter harvest periods and more rice being produced. At the same time, urbanization and economic development in rural areas caused a severe labor shortage during the harvest seasons, resulting in increased harvesting cost and delays in harvesting operations. In 2010, farmers in Cambodia, for example, had to pay up to US\$250/ha for manual harvesting operations. In Myanmar, farmers leave the cut crop for up to 4 weeks in piles in the field before threshing their rice crop because of a lack of harvest labor; consequently, most milled rice samples taken from Myanmar markets have yellow

grains. Ongoing research conducted by IRRI partners in Myanmar shows that physical losses from cutting to threshing are typically 10-20% and can reach 40%. It is therefore not surprising that combine harvesters are quickly entering markets in SE Asia.

Challenges in harvesting rice in South and Southeast Asia

In South Asia, conditions are often favorable for combine harvesting and rice is often grown in rotation with wheat and other crops. Farmers in the intensive systems in India and Pakistan therefore already use combine harvesting services, usually provided by contractors using large conventional combines designed for wheat but with some adaptations for rice. In Punjab, many local manufacturers make such combines. But, due to their aggressive threshing action, they are suitable only for modern, high-yielding varieties and not for Basmati rice, which has long slender grains that break easily. In SE Asia, harvesting conditions are much more difficult for the following reasons:

- In the intensive rice systems, rice is often grown as monoculture with two crops per year or even five crops in two years. Usually, one harvest takes place during the wet season characterized by heavy rainfalls that lead to a very wet crop and soft soil conditions. Combines with wheels easily bog down.
- Straw lengths of rice vary from 0.3 m for some modern, high-yielding varieties to up to 4 m for deepwater rice. After rain, tropical storms, or as a result of over-fertilization, rice lodges easily, making harvesting without high losses difficult.
- In the tropics, rice is harvested at 22-24% moisture content, but after rain the grain moisture content can be much higher. Threshing units have to be able to handle a very wet crop.
- Farm sizes are very small, typically from 1 to 4 ha. Field sizes are even smaller, often fractions of a hectare. Sometimes, land reform laws don't allow farmers to increase their area (Philippines) or farmers don't own the land (Myanmar, Cambodia) and therefore consolidation of small fields into bigger ones is difficult.

- Field access is difficult, farm roads often don't exist, and rice areas are often terraced. In the river deltas, transport is often done on waterways.
- Support services for financing, training, equipment testing, after-sales services, and repairs of machines do not usually exist or are weak.
- Rice is handled and traded in bags; bulk handling systems don't exist.

2 Evolution of rice harvesting systems in SE Asia

Mechanization of harvesting in different countries in SE Asia has followed a similar sequence: since the early 1970s, threshing was mechanized first because it was the most burdensome operation. A small stationary thresher is a very simple machine that can be easily produced by local welding workshops equipped only with cutting, bending, and welding tools. It has only one moving part and modifications made by local manufacturers do not affect the performance significantly. Mechanical reapers for cutting the crop based on a two-wheel tractor design were introduced next but often failed because laborers were still abundant. Locally produced reapers, which are more complex machines than threshers, were often of poor quality. During the first introduction attempt in the Philippines in the 1980s, landless laborers stuck bicycle spokes between the rice crops, which broke the knives of the cutter bars, to prevent the adoption of the machines by farmers. Only in the mid-1990s, when the labor shortage became severe, reapers became accepted in some intensive rice systems in Isabella in the Philippines and in Vietnam.

In the 1990s, IRRI developed a series of small-scale, walk-behind stripper harvesters (**Figure 1**). They worked well in modern short-straw varieties but had limitations in traditional varieties and in flooded fields. In collaboration with national partners, these machines were tested all over SE Asia. In particular, the SG800 stripper gatherer with a 0.8-m rotor width gained some acceptance and five manufacturers in the Philippines produced the machines. A government program that tried to promote the machines too fast in 1997 led to quality problems in mass production, which ruined the reputation of the technology. Today, only in Indonesia are stripper harvesters being used, with three manufacturers in South Sulawesi and five in South Sumatra making walk-behind strippers.



Figure 1: Harvesting team with stationary axial-flow thresher (center) and the SG800 walk-behind stripper harvester (left)

The introduction of combine harvesters in SE Asia

Thailand

The first locally made combines in SE Asia came from Thailand. The first prototype was made in 1982 by the manufacturer Ayutthaya and by 1985 thirty workshops were tinkering with combine harvester prototypes. But, commercially sound machines only started with efforts from Kaset Phattana Industry Co. Ltd., which were supported by the Agricultural Engineering Research Institute of the Department of Agriculture. In 1988, the company had mounted large-scale axial-flow threshers onto second-hand Caterpillar steel tracks with hydrostatic drives. The first combine was sold to a farmer in 1991. Five other local manufacturers produced similar combines and they helped to kick-start combine harvesting in SE Asia since their machines were the first affordable ones that could work under difficult tropical conditions. Production numbers for the years 1990, 1997, and 2003 were 500, 2,000, and 8,000, respectively [1], [2]. The cutting width of the local machines is between 2.5 and 3 m and capacity is typically 1 ha/h. In 2008, there were 48,175 combine harvesters/threshers in Thailand [3] and around 92% of the harvest in the Central Plains was combine harvested; the rest was harvested with reapers [4]. In the meantime, machines from Kubota and CLAAS have entered the Thai market and Kubota Siam is also producing in Thailand for the Greater Mekong Subregion.

Vietnam

In terms of rice production, Vietnam consists of two different areas. The Mekong River Delta (MRD) in the south, with 20% of the total population of 88 million (2011), accounts for 53% of total rice production of 42 million tons. Each household cultivates on average 1.2 ha; the plot size is about 0.4 ha. This region exports 95% of the rice from Vietnam. In contrast, the other six agricultural regions, with 80% of the population, produce only 47% of the total rice. Farms there have mostly 0.2-0.5 ha, but they are divided into 4-15 tiny plots of about 0.02 ha each. Thus, mechanization patterns are quite different for these two areas. Mechanical harvesting began with the AFT in 1975 and the reaper in 1985 based on IRRI designs, but Vietnamese mechanics quickly modified/improved them with distinct features, for example, threshing pegs made from flat bars rather than round bars [5]. By 2000, there were already 50,000 threshers and 700 reapers in Vietnam.

The development history of combine harvesters in Vietnam

The introduction of single-stage harvesting in Vietnam using combine harvesters can be divided into three phases: a piloting phase before 2000, an adaptation phase from 2000 to 2005, and an adoption phase lasting from 2006 until today.

Piloting phase (before 2000)

In 1977, five Russian combines were imported into Vietnam. They weighed 11 t, had wheels, and could not manage soft soils. Only two remain until today in two universities as a learning aid for students. Between 1980 and 1999, several combines were also developed by research institutes, provincial factories, and even farmer-mechanics.

In 1998, the Vietnamese Ministry of Agriculture and Rural Development (MARD) organized the first combine contest in Can Tho, the heart of the Mekong Delta. Seven models participated; several locally made combines that were heavier than 2.5 t, and one 5-t combine from Europe. All bogged down in soft soils, except for a second-hand Japanese head-feed combine that weighed around 1 t. About ten second-hand units of these "lightweight" combines were later sold by some trading companies, but they broke down in the first harvest season. Spare parts were not available, so these combines were scrapped. From the best locally made combine,

the manufacturer was able to sell a few units, but after one harvest season buyers returned the machines because of frequent breakdowns, each time requiring several critical days for repair.

Adaptation phase and the Mini Combine

Starting in 2000, the Vietnamese economy grew rapidly. As a consequence, labor shortage became a problem, motivating researchers and manufacturers to renew efforts in promoting combines, this time considering the experiences from the earlier efforts. About 15 local small-scale combine manufacturers had already tried their products but each was limited to making only a few units. Three problems still hindered adoption of the combine: soft soils; lodged rice crops, and poor machine reliability.

A good step forward in this period was the introduction of the Mini Combine in 2004. This was a result of collaboration among the Center for Agricultural Energy and Machinery (CAEM) of Nong Lam University (NLU) in Ho Chi Minh City, the Philippine Rice Research Institute (PhilRice), the U.S.-based gasoline engine manufacturer Briggs & Stratton Corporation (B&S), and VINAPPRO, a leading manufacturer of diesel engines and other machinery in Vietnam. The Mini Combine (**Figure 2**, left) weighed 0.6 t and was powered by a 16-hp B&S gasoline engine and later by a 12-hp diesel engine, and equipped with a 1.3-m cutter bar. It could harvest 0.9-1.3 ha/day. Fuel consumption was 15 l/ha [6]. Total harvesting losses were less than 2%. Five persons were needed for the operation: one driver, one bagger, and three haulers carrying grain bags to levees. Different wheel types could be used for different soil conditions. On dry soils, the rubber tires were most suitable in terms of traction and vibration of the machine. In soft and wet conditions, pyramid-shaped star lug wheels could be used in soils with penetrometer resistance of more than 40 kPa. Retractable lugs (**Figure 2**, right) mounted on rubber tires proved most useful; rubber tires provided flotation, and the lugs provided both traction and flotation.



Figure 2: The Mini Combine (left) and retractable lugs mounted on rubber tires (right).

In extremely soft soils where the combine occasionally bogged down, the super light weight of the machine proved to be a critical advantage; the problem was overcome within minutes by seven people, who simply lifted and pulled the combine out of the trouble spot (**Figure 3**, right). No other combines could be managed that way.



Figure 3: Changing wheels (left) and crew pulling out a bogged-down machine (right).

The Mini Combine was released by VINAPRO in 2004, and just one year afterwards 30 units were sold, whereas all the other local manufacturers together could not sell more than a dozen units. In 2009, total Mini Combine sales were around 500 units at a price of about US\$4,000¹. A total of 900 units were produced by two manufacturers

¹ Exchange rates used are the averages for 2008-2009: US\$1 = 17,000 VND; for 2011-2013: US\$1 = 20,000 VND.

but subsequently newly developed combines with rubber tracks led to reduced market demand and a phasing out of the machine.

The adoption phase and promotion through combine contests (2006 onward)

From 2006 on, the number of combines increased at an unprecedented rate. This had been catalyzed by five annual combine contests (**Figure 4**, left), which were conducted from 2006 to 2011 in five different provinces. Organized by MARD, each contest was judged by a 12-member board, consisting of multidisciplinary experts from many institutes such as universities, extension agencies, and industry. Evaluation criteria included field capacity, total losses, paddy cleanliness, reliability, harvesting cost per hectare, and other subjective indices such as machine stability and acceptability.



Figure 4: Scene of the combine contest in An Giang, 2009 (left); a 2-t combine crossing a canal on two metal frame boards (right)

In the first combine contest in 2006, eight local models and one imported Chinese model participated. These machines had been used by the manufacturers for harvesting their own rice or were otherwise extensively tried. Some manufacturers had sold a few units before entering the contest. The two top winners were a local 1.5-t combine and the Chinese machine weighing 2.3 t; the third winner was the 0.6-t Mini Combine.

Each subsequent contest involved about 12 combines, selected during a preliminary screening of about 20 applicants. These contests saw continuing progress in combine design and performance and, until 2009, an increasing participation of imported Chinese combines. Features and improvements made during this period up to the present were the following:

- All models except the Mini Combine used rubber tracks for mobility on soft soils; the tracks exert a ground pressure of 22-25 kPa at combine weights of 1.7-2.7 t. Rubber tracks are a key innovation for combine harvesting of rice in the humid tropics.
- The low combine weights allowed the easy crossing of canals (**Figure 4**, right).
- Cutting widths were mainly 1.5-2.0 m, with field capacities of 3-4 ha/day.
- The total losses were under 2% in good crop conditions (upright plants, firm fields); some combines even had less than 1% losses. The impurities were 3-5%.
- The problem of harvesting in a lodged crop was solved for all commercialized combines. Farmers-clients demand from the contractor that the combine can harvest a lodged crop before accepting it since harvesting loss in a lodged crop is up to 10%.

The combine reduced the harvesting cost for farmers. In 2008 in An Giang, with diesel consumption of 18-26 l/ha, the combine harvesting cost was US\$95-105/ha compared with US\$130-145/ha for manual operations. For the combine owner, the machine had a payback period of less than 2 years. This explained the fast increase in combines in the last 6 years (**Figure 5**).

Machine reliability became the main concern for combine operators. This explains why some imported Chinese combine models, as mass production items, were increasingly chosen over Vietnamese units from 2006 until 2009.

In 2009, the Japanese Kubota company entered the market and quickly became the market leader because of the high reliability of its machines. In 2013, it is estimated that 75% of the combines in Vietnam are from Kubota. Kubota did not join any combine contest; it just watched and improved its models, and reaped benefits from the contest's extension results with its well-known reliability. The importer set up a network of after-sales service, including a ready supply of spare parts.

Problems with local combines occurred because of non-standardized components (engines, gearbox, rubber tracks, etc.). Usually, imported second-hand components were used, and were not interchangeable. Local manufacturers began to realize these problems and some began to import new components from China, Korea, or

Japan, and some installed a CNC machine for their production. But, by 2013, only three local combine manufacturers remain and together they have about 15% of the market share; a dozen other manufacturers, including the contest winners, disappeared.

Current status

Harvesting equipment statistics [7] of Vietnam are shown in **Figure 5**. In 2013, in the Mekong Delta, with 8,900 combines and 3,500 reapers, the percentage of mechanical harvesting is 58%, with a wide range from 10% to 90% among provinces of this region. For the other six regions, the percentages are much lower, with an average of 6% and range of 1% to 25%. All machines are used under the contract system; individual farm ownership or cooperative ownership has been insignificant.

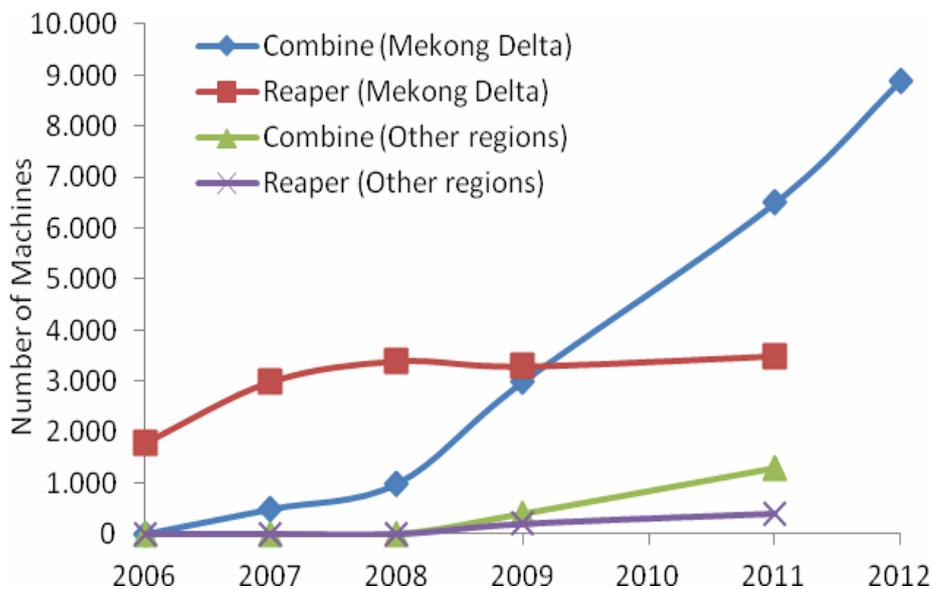


Figure 5: Rice harvesting machinery in Vietnam

It is recognized that the combine has reduced harvesting losses in Vietnam from 5-6% ten years ago to less than 2% now. A 4% loss reduction in combine-harvested fields in the Mekong Delta alone is equivalent to 200,000 t of paddy or about US\$50 million in gains per year. Compared with the investment of about US\$150 million for the total of 8,000 combines, this has been a worthwhile investment.

But, the introduction of a new technology not only provides benefits, it also creates new problems. Current problems related to combine usage follow:

- Improper use, causing high loss due to fast speed. The reason is not simply a lack of operators' skill, but the desire to finish the harvest as quickly as possible to cover more area under a contract business model. Farmers have no choice other than accepting this loss versus possible higher losses due to delays. Combines are still not available in sufficient numbers to meet the harvesting demand in the given short harvest season.
- Even with rubber tracks, combines cannot enter some fields with very soft soils.
- Operation in small fields of less than 0.1 ha (except for the Mekong Delta) leads to faster wear on parts, higher fuel consumption, less productivity, and thus increased harvesting cost. Pooling small fields into a larger field using laser-assisted land leveling has been intensively promoted in Vietnam since 2008 within different collaborative projects with IRRI. So far, 700 ha have been leveled, and farmers now recognize that, thanks to less lodged crop, a leveled field reduces shattering loss in combine harvesting.

Anticipated trends of combine development in Vietnam

The aim of the Vietnamese government for 2020 is that 80% of the rice area will be harvested by about 18,000 combines. The 20% remaining share will be done by a reaper plus mechanical thresher. Thus, we can see some trends:

- The number of combines is anticipated to double in the next 7 years. Afterwards, replacement will occur at 3,000-4,000 units per year.
- While being considered the most reliable machine, the Kubota priced at about US\$25,000 for a machine with 1.8-m cutting width can currently be considered as the ceiling. Local mechanics helped in reducing maintenance costs by fabricating local spare parts such as the concave.
- Thus, a joint venture is a logical way to reduce the investment cost for the benefit of both parties, namely, manufacturers (both abroad and local) and farmer-users.
- Technical support services are critical as a partial remedy to the reliability problem in intensive farming systems wherein the harvest time in a specific village is confined within 3 weeks or less.

- The anticipated 20% of two-stage harvesting using reapers and threshers can be reduced to perhaps 10% with the re-introduction of the Mini Combine, of course with further improvements for function and reliability.

In less than 10 years, the combine harvester made its way into Vietnamese agriculture, especially in the Mekong Delta rice bowl. It has contributed to reducing postharvest losses, and overcoming the labor shortage. Three problems have been solved: soft soil conditions, by the three-wheel Mini Combine and the rubber-track combine; lodged crop, by improved design; and reliability, by imported models and to some extent by two local premier manufacturers.

Cambodia

Cambodia has a relatively low population density and rapid intensification of rice production with ambitious government targets set to export 1 million tons of milled rice and to produce 4 million tons of paddy surplus by 2015. Both led to significant problems in harvesting and high postharvest losses. In Battambang Province, farmers also reported in 2006 that their dry, over-mature rice crop, which they could not harvest in time, caught fire from sparks coming from neighboring farmers' fields where straw was burned.

Before 2007 at IRRI, we were not aware of any combine being used in Cambodia. In 2007, IRRI imported a Mini Combine from VINAPRO to Cambodia and conducted two field events in Prey Veng and Battambang provinces, which were complemented by several round-table meetings with the objective to connect technology suppliers in Vietnam with potential end users and service providers in Cambodia. This stimulated demand and combines started coming into the country from Vietnam, China, and Thailand (**Figure 6**, right). Kubota Siam also started shipping to Cambodia and by 2012 around 3,000 machines were sold. Since 2011, consolidation has taken place because farmers started asking for the Kubota combines, which produced lower losses than the other machines when operated properly and are technically more reliable, especially than the machines from China. Cambodian farmers benefit from using a combine harvesting service by timely harvesting and by cutting their harvesting cost by around 50%.

By 2013, more than 5,000 Kubota combines were imported to Cambodia [8]. Some of them went through to Vietnam but we assume that more than 3,000 Kubota machines remained in Cambodia. One local manufacturer has started to make a copy of the Thai-made combine with steel tracks but Kubota has established itself as the market leader and other brands seem to have difficulty entering the market.



Figure 6: Thai combine in Cambodia (left); Kubota DC68 unloading into bags (right)

As in Vietnam, one problem in Cambodia is the high harvesting loss caused by the business model of combine contract service provision, in which contractors harvest too fast to maximize profit. The volunteer rice that germinates after harvesting from the lost grains is comparable to a crop with a seed rate of 120 kg/ha, meaning that at current yields farmers are losing 5-10% of their crop. Other farmers report that they harvest early because the combine contractor is already in the village and cannot promise to come back later. Both are probably intermediate problems that more competition will solve, but, in the meantime, this leads to significant income loss for farmers.

Myanmar

Myanmar's rice agriculture is less mechanized than in the other SE Asian countries and farmers are extremely poor. Nevertheless, they do experience a severe labor shortage since many laborers move to neighboring countries or to the cities. The remaining labor is struggling with harvesting operations and at the same time establishing the next crop, usually highly paid pulses, before the rains start. Rice is

considered a low-value crop and therefore farmers leave the cut rice in piles in the field for up to 4 weeks before threshing until labor is available.

In the last 2 years, therefore, a few combine harvesters have come into the country bought by private investors but also as part of foreign-funded government programs. In Bago Division alone, there are an estimated 200 units in 2013. In a survey conducted by IRRI in 12 villages in Bago Division and in the Ayeyawaddy Delta, at least one farmer had tried a combine harvesting service in each surveyed village or in a neighboring village. Combine harvesting costs from US\$60 to US\$100/ha.

- Chinese combines were the first ones in markets but all users complained about quality problems and breakdowns during the first harvesting season. Several owners of Chinese combines interviewed by the IRRI team indicated that they would not buy a second machine from China.
- Straw-walker combines on wheels with a 4-m cutting width, originally designed for wheat, were imported with Indian government funding. They are being used in the relatively dry Bago Division despite not being suitable for the small fields there.
- Korean head-feed combines entered the country with Korean funding. They are appreciated by seed farms because of their ability to harvest very small plots, but otherwise they are not so suitable for the conditions in Myanmar.
- Thai-made combines with steel tracks were purchased by several private investors with contacts in Thailand. Farmers who tried them complained about structural damage to soil that they could not fix even with two passes of their two-wheel tractors with plow attachments.
- Kubota is selling small rice combines with rubber tracks through several local distributors, who seem to compete against each other and therefore don't seem to be too interested in spending money on marketing.

Mechanization of harvesting is ongoing in Myanmar, supported by the increasing labor shortage, the need for better quality rice in the context of increasing rice exports, and the fact that many farmers have not replaced their buffaloes that died during Cyclone Nargis but are buying hand tractors instead, which has eliminated the

animal trampling threshing method. The market is at its initial stage, similar to that in Cambodia in 2007, and it is expected that the adoption of combines will happen as rapidly as in Cambodia, or even faster.

Other SE Asian countries

In the Philippines, combine harvesting is not yet popular, mostly because the land reform law limits farm size to 4 ha and makes land consolidation or even leasing land from other farmers extremely difficult. Kubota sold around 40 combines in the Philippines in 2012 [9] and CLAAS sold a few units, too. PhilRice, in collaboration with B&S, has developed the Mini Combine with 1.2-m cutting width and a capacity of around 1 ha/day and is trying to market it in the Philippines, with limited success. Around 70% of the rice crop is threshed using axial-flow threshers, and the rest still manually.

Although Indonesia has similar labor shortage problems as the neighboring countries, combine harvesters were not available until recently. For a few years, PT Rutan has been importing Chinese combine harvesters and marketing them under their Maxi and Crown brand names, with 200 machines sold in South Sulawesi alone [10]. Kubota sold around 40 combines in 2012 [9]. Five local manufacturers make small walk-behind stripper harvesters in South Sulawesi and South Sumatra. It can be expected that combines will be adopted quickly in Indonesia once they become more available.

South Asia

In 2007, India had a total combine harvester/thresher population of 477,000 units, up from 122,200 in 1991, including machines used for other crops [3]. Most of these machines were imported; the total import value reached US\$51 million in 2007. In Punjab, India, 90% of the rice fields were combine harvested in 2009; the remaining 10% were usually grown with Basmati varieties and were manually harvested or cut by a reaper because the long and slender Basmati grains break easily in conventional combines [11]. The CLAAS Crop Tiger developed a reputation for being able to harvest Basmati rice without grain damage. Punjab has many local manufacturers making combine harvesters, some of them being village workshops that make only a few units per year. Most of the local combine designs are based on

wheat combines and have a conventional threshing drum and straw walkers. Haryana is also highly mechanized but for the whole of the country the situation looks different. In 2009, only 0.56% of the area was harvested by a reaper and 0.37% by a combine harvester. About 4.4% of the paddy was threshed by a stationary thresher.

In Pakistan, with arid and subtropical climate, rice is often harvested with New Holland wheat combines that have been modified to harvest rice. Capacity is around 5 t/h and harvesting costs US\$80-90/ha.

Harvesting on the IRRI Experiment Station

IRRI has a 120-ha Experiment Station (ES) where scientific and breeding trials are conducted and for growing a “production” crop for distribution to national staff as part of their benefit package. IRRI therefore has the need for two types of combine harvesters, a plot combine for scientific trials and a combine to efficiently harvest the production crop. The ES currently has four combines:

- IRRI has been using the Thai-made combines from Kaset Phattana Industry Co. since the mid-1990s. They have the advantage that the design is extremely simple and only a few adjustments can be made. They can be serviced and repaired in IRRI’s machine workshop without reliance on spare parts from abroad and new operators can be trained quickly.
- The CLAAS Crop Tiger is relatively new and used for rice and maize. It performs very well in rice. It has just harvested its first season of maize crop and the initial results are also very promising.
- There is a need for a low-cost plot combine that can be used in the many national rice research institutes across Asia. They don’t have the resources to buy a Western plot combine that costs hundreds of thousands of dollars. A previous attempt to use Hege plot combines at IRRI failed in the late 1990s due to the complexity of the machines. As a proof of concept, IRRI therefore equipped in 2012 a Kubota head-feed combine with devices for easy cleaning using pressurized air. Seed lot purity in the initial trials was very promising.
- Another rice combine prototype of a multinational company has been available at the ES since 2012 for testing.

The combines are also used in IRRI's annual 2-week postharvest training course and in shorter training events in which trainees are exposed to different harvesting options.

3 Trends observed and support needs

Countries in SE Asia seem to undergo similar phases in the introduction of combines, which also have different support needs (**Table 1**). This can happen, however, at different speed since they can learn from the developments in neighboring countries: In Vietnam, the time from introduction until significant adoption took around 10 years, in Cambodia 6, and we expect that in Myanmar and possibly in Indonesia it will take less.

Piloting phase: Different imported combines, often developed for other crops or conditions, are tried with limited success since priority is often the low cost of the machine rather than technical feasibility. At the same time, some local manufacturers start copying and/or developing combines. Major problems are related to the identification of combines suited to the cropping systems, climate, and socioeconomic situations and support needs are in the area of identifying a suitable technology and creating awareness.

Adaptation phase: The benefit of combine harvesting is becoming more obvious and lessons are learned from the piloting phase. Users become more quality conscious. Local manufacturers increase in numbers and make modifications to overcome location-specific problems. Better suited imported machines start getting accepted despite the higher cost. After-sales service providers establish themselves and local governments promote combine harvesting. Major problems are mostly technical and support for adaptive R&D and financing is needed.

Table 1: Phases of the introduction of combine harvesters and support needs

Phase	Characteristics	Major problems	Public-sector support needs
Piloting	Import of “cheap” machines by individuals and/or government institutions; local manufacturers copy/develop combines	Identifying/matching machine for/with cropping system, field size, climatic conditions	Need assessments, baselines, field demonstrations, pilot testing, advocacy
Adaptation	Modifications addressing problems identified in piloting phase; international players discover market, bring in more suitable machines; number of local manufacturers increases	Technical problems with machine performance; economic feasibility, lack of financing, lack of after-sales services	Identification of suitable technologies, testing/performance evaluation under local conditions; promotion of combine harvesting, financing
Adoption	Demand established; market leader evolves; local manufacturers consolidate	Losses from business models, soil compaction, effect of land consolidation	Research on effect of introduction of combines and mitigation options for new problems, sustainability issues

Adoption phase: Potential users demand combine harvesting services and are aware about quality. Multinationals enter the market, a market leader emerges, and a consolidation of local manufacturers happens with only a few or none remaining serving often only farmers in the surrounding areas. Major problems are related to the improper usage of the machines, often related to business models, and to sustainability.

4 Outlook

Combine harvesting is rapidly being adopted in South and SE Asia. The pressure to mechanize harvesting will continue due to crop intensification and alternative job opportunities in the rapidly growing economies.

Some government programs in Myanmar (specialized rice companies), Vietnam (small farmers, large fields), and Cambodia (contract farming) and the establishment of rice estates in Indonesia support the consolidation of small rice fields into bigger

ones without the farmers losing ownership and thus further help create better conditions for combine harvesting. However, as with the introduction of any new technology, new problems such as increased harvesting losses caused partly by unsuitable machines but also by poor operator skills, soil disturbance and compaction, lack of after-sales services and social issues such as potential increased inequity among landless laborers and land-owning farmers appear side by side with the increased use of combine harvesters. Some specific R&D areas that need attention from the public and private sector follow:

- Research on the effect of the introduction of combines on soil structure and fertility and possible mitigating measures.
- Operators' training and awareness creation at the end-users' level about the potential and benefits of combine harvesting and acceptable loss levels.
- Equipment testing at the national level and dissemination of results to enable potential users to make informed decisions on combine harvester usage.
- Establishment of after-sales services.
- Lobbying for consolidation of fields and construction of farm roads.
- Pilot/demonstrate business models that provide incentives for reduction of losses rather than for area harvested.
- Research on energy consumption and greenhouse gas emissions comparing combine harvesting with other harvesting methods in a rice value chain context taking losses avoided and grain quality issues into account.

IRRI is committed to continuing to promote combine harvesting in collaboration with its public and private sector partners. For this, IRRI is seeking partners from the public and private sector for collaboration in and funding of harvesting-related research. This could include, among others, the evaluation of harvesting equipment under different climatic conditions and cropping systems, adaptive research on harvesting technology, and research on the effects of the introduction of combine harvesting on cropping systems, soils, social issues, and sustainability, in particular with respect to reductions in energy use and greenhouse gas emissions.

5 References

- [1] Suraweth K., P. Thongsawatwong, K. Kiatiwat, and T. Natgoue: Rice combine harvester technology development and dissemination in Thailand. Proceedings of the 14th ASEAN Seminar on grain post-harvest technology, Manila, Philippines, 5-8 November 1994.
- [2] Chainuvati C. and W. Athipanan: Crop diversification in Thailand. 2000. www.fao.org/DOCREP/003/X6906E/x6906e0c.htm
- [3] FAOSTAT: Food and Agriculture Organization of the United Nations, www.fao.org.
- [4] Wiengweera A. and M. Gummert: Establishing sustainable, resource-efficient agri-food chains. Sub-study 2: Postharvest Efficiency. 2010. IRRI – UNEP study, Los Baños, 29 p.
- [5] Phan Hieu Hien. Development of the axial-flow thresher in Southern Viet Nam. AMA. 1991. Vol. 22, No. 4, pp.42-46.
- [6] Tran Van Khanh, Phan Hieu Hien, E. Bautista, A. Schmidley, K. Lee, M.D. Ban. Testing and promotion of a rice mini combine in Viet Nam. Proceedings of the Mekong Rice Conference, Ho Chi Minh City, Viet Nam, 15-17 October 2004.
- [7] NECVN, National Extension Center of Viet Nam: Mechanization of rice production. Proceedings of a forum, organized in Long An, 31 May 2013.
- [8] Meas Pyseth: Reducing postharvest losses of rice in Cambodia, Vietnam and the Philippines. Presentation at the International Seminar on the Reduction of Postharvest Losses, IRRI-ADB project Seminar, 19 June 2013, Battambang, Cambodia.
- [9] Iida S., Kubota: Personal communication during visit to IRRI, April 19, 2013.
- [10] Handaka: Personal communication. IRRI Trip Report, M. Gummert, INO 2013-I, June 2013.
- [11] Gummert M.: India Trip Report, 8-14 November 2009, IRRI document.

Verändert der Klimawandel Erntezeitspannen und verfügbare Mähdruschstunden in Brandenburg?

Prof. Dr. Annette Prochnow^{a,b}, Dr. rer. agr. Dipl.-Ing. Thomas Hoffmann^a, Prof. Dr. rer. nat. habil. Frank Chmielewski^c, Dr. rer. agr. Hilke Risius^a

a. Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, aprochnow@atb-potsdam.de, thoffmann@atb-potsdam.de, hrisius@atb-potsdam.de

b. Humboldt-Universität zu Berlin; Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Professur für Nutzungsstrategien für Bioressourcen; Philippstr.13, 10115 Berlin

c. Humboldt-Universität zu Berlin; Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Professur für Agrarklimatologie, Albrecht-Thaer-Weg 5, 14915 Berlin, chmielew@agrar.hu-berlin.de

1 Einleitung

Auswahl und Einsatz landwirtschaftlicher Maschinen werden erheblich durch die Witterung beeinflusst. Insbesondere die Getreideernte ist außerordentlich witterungsabhängig. Die Kornfeuchte ist entscheidend für Maschineneinsatz und -kosten und bestimmt die notwendige Mähdrusch- und Konservierungskapazität landwirtschaftlicher Betriebe [1,2,3]. Mit Kenntnis der verfügbaren Mähdruschstunden mit bestimmten Kornfeuchten kann die Mähdrusch- und Konservierungskapazität geplant werden. Während Unterkapazitäten zu Masse- und Qualitätsverlusten und somit zu geringeren Erlösen sowohl im Bestand als auch während der Lagerung führen, verursachen Überkapazitäten hohe fixe Maschinenkosten aufgrund einer zu geringen Auslastung. Aus diesem Grund ist eine Anpassung der Maschinenkapazitäten an die stochastischen Witterungsbedingungen notwendig.

Erste Kalkulationen zur Abschätzung der witterungsabhängigen verfügbaren Feldarbeitszeiten wurden mit dem Aufkommen des Mähdreschers in den 1950er Jahren vorgenommen [4]. Seitdem sind einige Modelle entwickelt worden, um das Verhältnis von meteorologischen Daten zu Kornfeuchtegehalten zu quantifizieren [2,5]. Die Modelle haben das Ziel, anhand langjähriger meteorologischer Aufzeichnungen verfügbare Mähdruschstunden abzuschätzen [z.B. 2,6]. In Deutschland liegen Planungsdaten für bestimmte Kornfeuchteklassen mit einer Eintreffenswahrscheinlichkeit von 80% für zwölf klimatische Regionen vor [7].

Seit der Einführung des Mähdreschers in den 1950er Jahren sind signifikante Klimaänderungen in Brandenburg und dabei insbesondere ein Anstieg der Temperatur zu verzeichnen.

Es soll gezeigt werden, ob sich klimatische Veränderungen auf die verfügbaren Mähdruschstunden von Winterweizen in Brandenburg auswirken. Sowohl der Erntebeginn als auch die verfügbaren Mähdruschstunden mit bestimmten Kornfeuchten werden anhand von Wetterdaten der Jahre 1951 bis 2012 berechnet. Im Ergebnis sollen sich Aussagen ableiten lassen, inwieweit sich Erntebeginn und Anzahl verfügbarer Mähdruschstunden für Winterweizen seit Einführung des Mähdreschers Anfang der 1950er Jahre verändert haben.

2 Material und Methoden

2.1 Meteorologische Daten

Zur Berechnung der verfügbaren Mähdruschstunden mit bestimmten Kornfeuchten werden stündliche Beobachtungen der Station des Deutschen Wetterdienstes Potsdam zu Lufttemperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und Sonnenscheindauer genutzt. Wetterdaten mit der erforderlichen zeitlichen Auflösung sind für Brandenburg ausschließlich an dieser Klimastation verfügbar.

2.2 Berechnung der Ernteperioden anhand phänologischer Daten

Es werden phänologische Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes zu Winterweizen, Winterroggen, Winter- und Sommergerste zwischen 1961 und 2010 zur Analyse des Erntebeginns genutzt. Die meisten phänologischen Daten sind für die Jahre von 1960 bis 1970 verfügbar und reichen von 30 bis zu 200 einzelnen Beobachtungen. Die günstige Verteilung der Stationen ermöglicht die Kalkulation des durchschnittlichen Erntebeginns auch für die wenigen Jahre, in denen lediglich 30 phänologische Beobachtungen verfügbar sind [8].

2.3 Abschätzung der verfügbaren Mähdruschstunden anhand von Modellen und historischen Wetterdaten

Die Modellierung der Mähdruschstunden erfolgt mit Regressionsfunktionen [2], welche Stunden mit einer bestimmten Kornfeuchte-Obergrenze im Bestand und Stunden mit einer bestimmten Kornfeuchte-Obergrenze nach dem Mähdrusch anhand von Stunden mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von $\leq 60\%$, $\leq 70\%$ und $\leq 80\%$, der Son-

nenscheindauer in Stunden und des täglichen Niederschlags berechnen. Mähdruschstunden mit Kornfeuchten von $\leq 14\%$, $\leq 16\%$, $\leq 18\%$, $\leq 20\%$, $\leq 22\%$ und $\leq 26\%$ für Winterweizen werden für jeden Tag innerhalb der Ernteperiode berechnet. Zusätzlich werden die Stunden mit bestimmten Kornfeuchten des Vortages in die Berechnung integriert. Für jede Kornfeuchteklasse werden eine Anfangs- und eine Hauptfunktion genutzt. Die Anfangsfunktion wird benötigt, um die jeweiligen Kornfeuchteklassen für den ersten Tag der Ernteperiode zu berechnen, während die Hauptfunktion zur Kalkulation der verfügbaren Mähdruschstunden für die Folgetage verwendet wird. Die beschriebenen Funktionen werden verwendet, um die verfügbaren Mähdruschstunden für vier Getreidearten anhand historischer Wetterdaten der Station des Deutschen Wetterdienstes Potsdam aus den Jahren 1951 – 2012 zu berechnen. Für Winterweizen, Winterroggen, Winter- und Sommergerste werden separate Regressionsfunktionen genutzt. Im Folgenden werden beispielhaft Ergebnisse zu Winterweizen gezeigt.

Mähdruschstunden mit Kornfeuchten von $\leq 14\%$, $\leq 16\%$, $\leq 18\%$, $\leq 20\%$, $\leq 22\%$, und $\leq 26\%$ für Winterweizen werden in 30 -Jahres-Normalperioden berechnet [9] (1951-1980, 1952-1981, ..., 1983-2012). Die Erntezeitspanne von Winterweizen liegt nach KTBL für das Klimagebiet 8 [7] zwischen dem 30.07. und 17.08. Ein Mähdruschtag innerhalb der Erntezeitspanne dauert von 10.00 bis 20.00 Uhr. Die Anzahl der Mähdruschstunden mit den jeweiligen Kornfeuchte-Obergrenzen wird für eine Eintreffenswahrscheinlichkeit von 80 % berechnet, d.h. dass acht von zehn Jahren mindestens so viele Mähdruschstunden aufweisen, wie berechnet wurden, und in zwei von zehn Jahren dieser Wert nicht erreicht wird.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Klimatische Entwicklung in Brandenburg

Die Aufzeichnungen der zentral in Brandenburg gelegenen Station des Deutschen Wetterdienstes Potsdam zeigen einen Anstieg der Sonnenscheindauer von 4611 h (1951 – 1960) auf 5068 h im Zeitraum von 1983 – 2012. Die Niederschlagssumme steigt von 1301 mm im ersten 30-Jahres-Zeitraum 1951 – 1960 auf 1382 mm im Zeitraum von 1983 – 2012. Die Stunden mit einer relativen Luftfeuchtigkeit $\square_L < 60\%$ nehmen um 11 % zu, während die Stunden mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von $\square_L < 70\%$ um 5 % und lediglich 2 % bei $\square_L < 80\%$ ansteigen. Die mittlere Tagestem-

peratur steigt von 17,6 °C in der ersten Normalperiode auf 18,7 °C im Zeitraum von 1983 – 2013.

3.2 Erntebeginn für Winterweizen in Brandenburg

Der durchschnittliche Beginn der Winterweizenernte in Brandenburg im betrachteten Zeitraum von 1961 – 2010 ist der 07.08. mit einer Standardabweichung von 7,7 Tagen. Der früheste Erntetermin im untersuchten Zeitraum ist der 20.07., der späteste Termin der 22.08. mit einer Differenz von 33 Tagen. Die Auswertung zeigt eine signifikante Verschiebung des Erntebeginns von Winterweizen um – 13 Tage ($p \leq 0,05$). Als mögliche Ursachen sind neben dem Anstieg der Temperaturen vor und während der Abreife, einem früheren Vegetationsbeginn und der dadurch bedingten früheren Abreife des Getreides sowohl züchterische Einflüsse und eine damit verbundene Reifestaffelung als auch agronomische Einflüsse wie frühere Aussattermine zu nennen.

3.3 Verfügbare Mähdruschstunden in 30-Jahres-Normalperioden

Im Vergleich zur ersten 30-Jahres-Normalperiode ist die Anzahl verfügbarer Mähdruschstunden in Brandenburg mit Kornfeuchtegehalten im Bestand von $\leq 14\%$ für Winterweizen in der Periode 1983 – 2012 gestiegen (Tabelle 1).

Tabelle 1 Anzahl der verfügbaren Mähdruschstunden (h a^{-1}) im Winterweizenbestand mit einer Eintreffenswahrscheinlichkeit von 80%

30-Jahres-Normalperiode	Kornfeuchte					
	$\leq 14\%$	$\leq 16\%$	$\leq 18\%$	$\leq 20\%$	$\leq 22\%$	$\leq 26\%$
	verfügbare Mähdruschstunden (h a^{-1})					
1951-1980	19	69	105	136	149	155
1952-1981	20	68	105	136	148	155
1953-1982	22	76	118	155	172	183
1961-1990	27	79	119	153	172	183
1962-1991	28	80	120	153	172	183
1963-1992	29	81	120	154	172	183
1971-2000	32	82	121	153	172	185
1972-2001	30	81	120	153	172	185
1973-2002	30	80	119	152	171	183
1981-2010	27	76	117	151	170	183
1982-2011	26	73	114	149	169	182
1983-2012	24	71	113	148	169	182

Zu Beginn der untersuchten 30-Jahres-Normalperioden im Zeitraum von 1951 -1980 stehen die wenigsten Mähdruschstunden für Winterweizen zur Verfügung. Maxima werden in den Perioden zwischen 1970 – 1999 erreicht. In den folgenden Perioden sinkt die Anzahl der verfügbaren Mähdruschstunden sukzessiv, ist jedoch höher als zu Beginn der betrachteten 30-Jahres-Normalperioden. Die verfügbaren Mähdruschstunden sind in allen Kornfeuchteklassen höher als in der ersten betrachteten Periode.

Die Gruppierung der Erntejahre im Zeitraum von 1951 – 2012 anhand des Anteils von Kornfeuchten mit ≤ 16 % in feuchte ($< 80 \text{ h a}^{-1}$), mittlere ($81 - 120 \text{ h a}^{-1}$) und trockene Jahre ($> 121 \text{ h a}^{-1}$) ergibt einen Anteil von 26 % trockenen und 21 % feuchten Jahren. In trockenen Ernteperioden liegt in 60 % der Stunden der Kornfeuchtegehalt $\square_K < 16$ %, während der Anteil in feuchten Ernteperioden bei 32 % liegt (Tabelle 2). Eine Änderung der Anteile des Kornfeuchtegehalts von $\square_K < 16$ % in der ersten und letzten 30-Jahres-Normalperiode kann aus den Kornfeuchteverteilungen nicht abgeleitet werden.

Tabelle 2 Anteil der Mähdruschstunden mit bestimmten Kornfeuchte-Obergrenzen ¹⁾ im Bestand in feuchten und trockenen Ernteperioden

		Kornfeuchte-Obergrenze (%)					
		≤ 14	≤ 16	≤ 18	≤ 20	≤ 22	≤ 26
sämtliche Ernteperioden							
1951 - 1980	$\Sigma\%$	30	52	70	82	88	92
1983 - 2012	$\Sigma\%$	35	53	73	81	87	91
1951 - 2012	$\Sigma\%$	32	53	72	82	87	92
trockene Ernteperioden (26 % aller Ernteperioden)							
1951 - 1980	$\Sigma\%$	40	61	81	89	93	96
1983 - 2012	$\Sigma\%$	41	60	80	88	92	95
1951 - 2012	$\Sigma\%$	44	59	79	85	89	93
feuchte Ernteperioden (21 % aller Ernteperioden)							
1951 - 1980	$\Sigma\%$	12	33	46	60	69	79
1983 - 2012	$\Sigma\%$	11	32	46	62	73	82
1951 - 2012	$\Sigma\%$	9	31	45	65	78	85

¹⁾ DWD Station Potsdam, Winterweizen, 1951 – 2012; 30.07.-17.8, 10:00 bis 20:00 Uhr; 100 % = 190 h, 80 % Eintreffenswahrscheinlichkeit

4 Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Daten zeigen für Winterweizen in Brandenburg einen früheren Erntebeginn und eine Zunahme der verfügbaren Mähdruschstunden. Berechnungen für die anderen Getreidearten und für weitere Klimagebiete in Deutschland sind erforderlich, um den bisherigen Einfluss des Klimawandels auf Erntezeitspannen und verfügbare Mähdruschstunden besser beurteilen zu können.

5 Literaturangaben

- [1] Edwards, W. und Boehlje, M. (1980): Machinery selection considering timeliness losses. , Transactions of the ASAE (Band 23), Nr. 4, Seite 810-815,821
- [2] Hoffmann, T. (1998): Gestaltung von Technik und Verfahren für die Ernte und Konservierung von Getreide auf der Grundlage witterungsbedingter Kornfeuchten, Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, Forschungsbericht Agrartechnik 339, 190 Seiten
- [3] Philips, P. R. und O'Callaghan, J. R. (1974): Cereal harvesting — A mathematical model, Journal of Agricultural Engineering Research (Band 19), Nr. 4, Seite 415-433
- [4] Arnold, R.E. (1955): Cereal moisture contents in the field, Fm Mech. (Band 75), Seite 269
- [5] Heger, K. (1974): A model for determining the moisture content of wheat grain at harvest time, Agrometeorology of the wheat crop, WMO No. 396, Offenbach, 210-222
- [6] Augter, G. (1992): Verfügbare Mähdruschstunden, Landtechnik (Band 47), Nr. 7/8, Seite 392-395
- [7] KTBL (2012): KTBL-Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2012/13, 23. Auflage, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt
- [8] Chmielewski, F. M. und Köhn, W. (1999): The long-term agrometeorological field experiment at Berlin-Dahlem, Germany, Agricultural and Forest Meteorology (Band 96), Nr. 1–3, Seite 39-48
- [9] Arguez, Anthony und Vose, Russell S. (2010): The Definition of the Standard WMO Climate Normal: The Key to Deriving Alternative Climate Normals, Bulletin of the American Meteorological Society (Band 92), Nr. 6, Seite 699-704

Dynamisch adaptive Systemarchitektur zur Optimierung der Prozesssteuerung am Beispiel der Getreideernte

Dipl.-Ing. agr. Thilo Steckel und Prof. Dr. Hans W. Griepentrog
Claas Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH, Harsewinkel
Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim, Stuttgart

1 Einleitung

Im Gegensatz zur industriellen Fertigung sind wertschöpfende Prozesse in der Landwirtschaft durch systembedingte Umwelteinflüsse als gering deterministisch zu bezeichnen. Daraus folgt, dass auszuführende Aktivitäten nicht vollständig spezifizierbar sind. Um solche Prozesse dennoch optimal im Sinne von Qualität, Kosten und Zeit auszuführen, ist es erforderlich, den betroffenen Akteuren informationstechnische Lösungen an die Hand zu geben, die Planung, Durchführung und Dokumentation unter solchen Randbedingungen bestmöglich unterstützen. In diesem Beitrag werden die speziellen Merkmale und Herausforderungen des landwirtschaftlichen Arbeitsumfeldes skizziert, daraus Lösungsbausteine abgeleitet und zu einer Systemarchitektur zusammen geführt. Im Vordergrund stehen dabei ackerbauliche Prozesse. Als konkreter Anwendungsfall wird der Ernteprozess Getreide heran gezogen.

2 Merkmale des landwirtschaftlichen Arbeitsumfeldes und resultierende Anforderungen

Die Landwirtschaft wird durch 2 Merkmale mit weitreichenden Auswirkungen auf die Produktionsprozesse geprägt. Dies ist einerseits die weitreichende Umweltexposition und andererseits eine familiär geprägte Betriebsverfassung.

Die Umweltexposition führt zu einer ausgeprägten Saisonalität, in der sich die Randbedingungen für auszuführende Prozesse nur ansatzweise beschreiben lassen. Optimale Zeitpunkte zur Ausführung von Prozessen sind aufgrund der eingeschränkten Vorhersagbarkeit der Witterung nicht präzise planbar. Weiterhin sind maßgebliche Merkmale des Arbeitsumfeldes wie Befahrbarkeit von Flächen, Zustand von ackerbaulichen Kulturen nur begrenzt vorhersagbar und beschreibbar und darüber hinaus überwiegend sehr heterogen. In diesem komplexen Umfeld führen wenige Menschen

familiär organisiert Prozesse mit ebenfalls komplexen Maschinen aus. Die im Gegensatz zu industriellen Prozessen geringe Arbeitsteilung erfordert umfassende Erfahrung und Problemlösungskompetenz von den Beteiligten. Durch die ausgeprägte Saisonalität werden zum Brechen von Arbeitsspitzen Saisonarbeitskräfte und Dienstleister hinzu gezogen, die über geringere Ortskenntnisse und teilweise einen niedrigeren Erfahrungsschatz zur Lösung gestellter Aufgaben verfügen.

Zur Unterstützung einer optimalen Planung, Steuerung und Dokumentation von Prozessen ist es erforderlich Werkzeuge und Methoden zur Entscheidungsunterstützung und Automatisierung verfügbar zu machen. Ziel ist die umfassende informationstechnische Abbildung von Geschäftsprozessen. Im Wesentlichen ergeben sich folgende Anforderungen:

- Ressourcen sind mit ihren Merkmalen und Fähigkeiten für die prozessspezifische Konfiguration strukturiert zu beschreiben. Ressourcen können im informationstechnischen Sinne aktiv (Maschinen, Anlagen, Anbau- und Vorsatzgeräte, IT-Systeme) oder passiv (Felder, Wege, bauliche Einrichtungen, Betriebsstoffe, Betriebshilfsmittel und landwirtschaftliche Erzeugnisse) sein.
- Die Beziehung von Ressourcen im Prozesskontext muss für eine zielbestimmte Vernetzung, Koordination und Dokumentation darstellbar sein.
- Relevante Geoobjekte (Felder, Wege und damit verbundene Restriktionen) müssen so beschrieben werden, dass die untereinander und mit anderen Ressourcen zur räumlich korrekten Steuerung und Dokumentation in Beziehung gesetzt werden können.
- Ressourcenzustände müssen eindeutig erfassbar sein, um darauf aufbauend, relevante informationstechnische Prozesse (Steuerung, Dokumentation) selektieren zu können.
- Es ist ein funktional abstrahiertes Abbild der eingesetzten Ressourcen erforderlich, das die 4 zuvor genannten Anforderungen realisiert.

Nachfolgend werden Komponenten aufgeführt und beschrieben, die die 5 genannten Anforderungen realisieren.

3 Komponenten zur Unterstützung dynamisch adaptiven Verhaltens in gering deterministischer Umgebung

Merkmale und Fähigkeiten eingesetzter Ressourcen – Leistungskonfigurator

Für die Ausführung von Prozessen ist die strukturierte Beschreibung von Ressourcen hinsichtlich ihrer Merkmale und Fähigkeiten unverzichtbar. Die Fähigkeit von Ressourcen, d.h. das ausführbare Verfahren, ergibt sich bis auf wenige Ausnahmen aus der Kombination von angetriebenen Maschinen mit Vorsatz bzw. Anbaugeräten. Mit Hilfe des Konfigurators werden Prozesse und Leistungen basierend auf Ressourcen spezifiziert. Die Identität von Ressourcen und ihren Merkmalen ist erforderlich, um in der Ausführung von Prozessen die erforderlichen Kontextinformationen bereit zu stellen, ein angepasstes Verhalten zu ermöglichen und erbrachte Leistungen korrekt zu dokumentieren. Die für die Konfiguration erforderliche Typologisierung und der Konfigurationsablauf sind in Bild 1 dargestellt. Die Konfiguration erfolgt unter Anwendung eines hinterlegten Regelwerkes, um beispielsweise die Verbindung von Schneidwerk und Traktor zu verhindern.

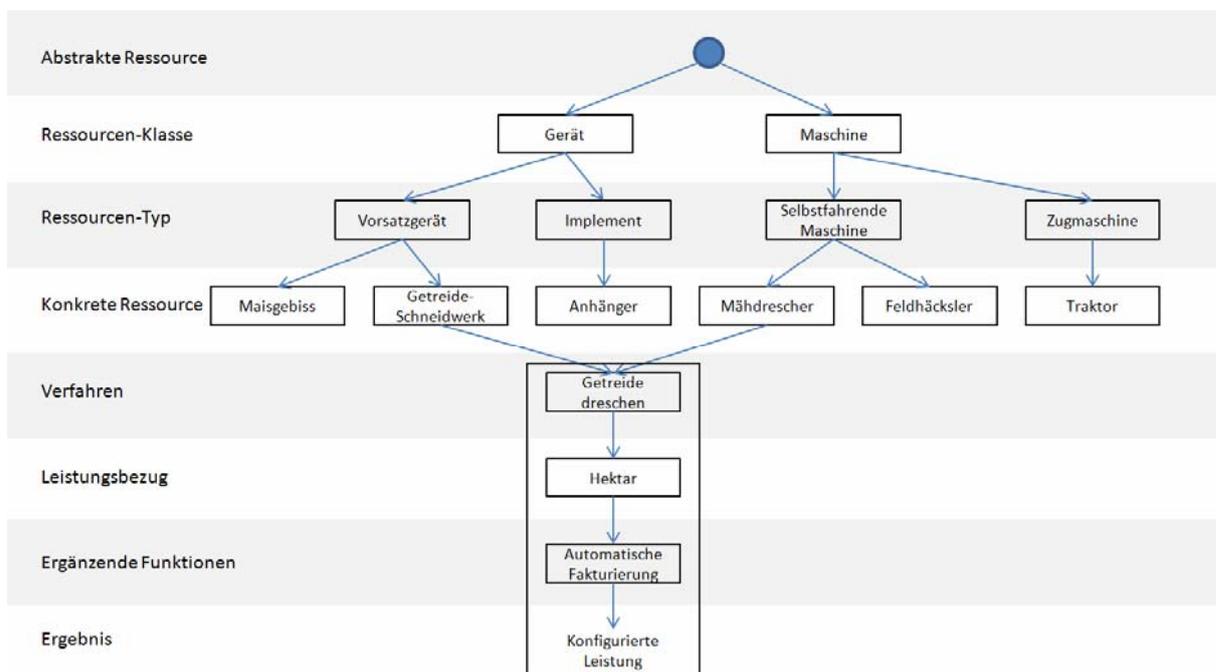


Bild 1: Konfiguration von Leistungen am Beispiel eines Mähreschers

Ermittlung kooperierender Ressourcen – Gruppenidentifikation

Bis auf wenige Ausnahmen erfolgt die Leistungserstellung durch voneinander abhängige und daher auf Kooperation angewiesene Ressourcen. Aufgrund unsicherer Umgebungsbedingungen ist die a priori Bildung von Arbeitsgruppen schwierig bzw.

nicht sinnvoll. Mit Hilfe der Gruppenidentifikation erfolgt eine formale Abbildung von implizit vorhandenen Kooperationen. Die Gruppenidentifikation ist, wie in Bild 2 dargestellt, als 3-stufiges Verfahren zu verstehen. Es werden Indikatoren ermittelt, die die Wahrscheinlichkeit für eine bestehende Kooperationsbeziehung ausdrücken.

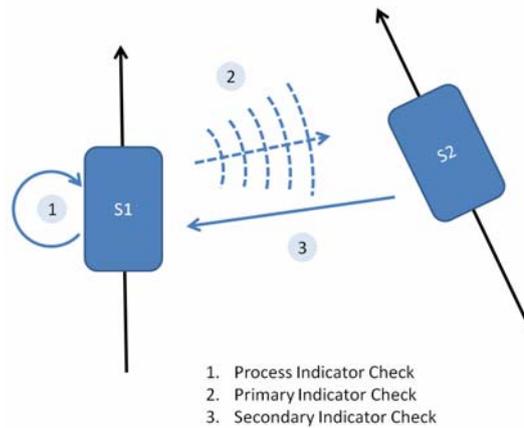


Bild 2: Identifikation potenzieller Kooperationspartner

Im ersten Schritt ermittelt eine Ressource ihr eigenes Prozesswissen. Dieses wird aus der konfigurierten Leistung und ggf. vorliegenden Aufträgen ermittelt. Es besteht Klarheit über die eigene Identität, Merkmale und Fähigkeiten.

Im zweiten Schritt wird mit Hilfe geeigneter Sensoren und Nutzung von Geoobjektinformationen das eigene Umfeld untersucht. Wird beispielsweise eine komplementäre Ressource – für den Mähdrescher ist das bspw. ein Transportfahrzeug – auf demselben Feld (= Geoobjekt) erkannt, wird der dritte Schritt eingeleitet.

Im dritten Schritt wird versucht, zu der in Schritt 2 erkannten Ressource eine Kommunikation aufzubauen. Konnte das jeweils interne Prozess- und Auftragswissen erfolgreich ausgetauscht werden und liegt eine Kooperation vor, tragen sich die Ressourcen in eine Gruppenliste ein, die solange besteht, wie nicht Indikationen (z.B. Ressource ist einer anderen Gruppe beigetreten) zum Abbau der Beziehung ermittelt werden. Eine festgestellte Kooperation kann für eine gezielte (vertrauenswürdige Kommunikation) oder gruppenbezogene Fakturierung genutzt werden.

Beschreibung von Geoobjekten und ihren Beziehungen – Geoobjektmanager

Ressourcen bewegen sich als mobile Arbeitsmaschinen selbstredend im geografischen Raum. Dabei treten sie zu bestimmten Objekten im Raum (Geoobjekte) in eine sachlogische Beziehung. Beispiele sind „Ressource befindet sich im Feld“, „Ressource fährt auf Feldweg“, „Ressource wartet auf Hofstelle“. Die Kenntnisse von

Geoobjekten und ihren Eigenschaften hat Einfluss auf die Steuerung und Dokumentation von Prozessen. Wird der Mähdrusch nach Zeitverbrauch auf dem Feld berechnet, so darf die Zeitermittlung auch nur dann erfolgen, also nachdem erkannt wurde, dass sich die Ressource auch tatsächlich auf dem Feld befindet. Ist ein definiertes Feld zur Abernte vorgegeben, kann auf diese Weise verhindert werden, dass ein benachbartes Feld bearbeitet wird. Für die Nutzung von Geoobjekten ist eine Typologisierung der Objekte selbst sowie ihrer Beziehungen erforderlich. Für die Strukturierung von Objekten lässt sich die Systematik von STREIT [1] mit den Dimensionen Thematik, Dynamik, Thema, Geometrie und Topologie heran ziehen. Topologische Beziehungen lassen sich durch die Systematik nach EGENHOFER [2] hinreichend darstellen (siehe Bild 3).

	poly-poly	line-line	point-point	poly-line	poly-point	line-point
Disjoint						
Meet						
Overlap						

Bild 3: Topologische Beziehungen zwischen Geoobjekten nach EGENHOFER (Ausschnitt)

Neben den oben beschriebenen Anwendungsbeispielen ist auf diesem Wege und auf Basis der Ressourcenbeschreibung beispielsweise eine umfassende Hinderniswarnung implementierbar.

Zuordnung von Maschinenzuständen auf Arbeitszeitelemente – Zeit-Prozessschema

Für eine präzise Steuerung und Dokumentation von Prozessen ist es erforderlich, die Zustände von Ressourcen zu beschreiben und erfassbar zu machen. Auch hier ist eine Typologisierung hilfreich. Bild 4 zeigt eine hierarchische Gliederung ausgehend von der Gesamtnutzungszeit einer Ressource hinunter auf 9 mögliche Elemente. Informationstechnisch erfassbare Ressourcenzustände lassen sich auf diese Elemente referenzieren. Somit kann eine automatisierte Ermittlung der Elemente erfolgen. Das

abgebildete Schema ist für mobile Arbeitsmaschinen definiert und hat seine Grenzen bei multifunktionalen Anbaugeräten (z.B. Pflanzenschutzspritze) oder der Verrichtung manueller Tätigkeiten (z.B. Instandhaltung).

		Gesamtnutzungszeit								
		Abwesenheitszeit							Hofzeit	
		Feldzeit					Straßenzeit			
		Feldbetriebszeit (FBZ)					Sonst. Feldzeit	Anfahrt	Sonst. Straßenzeit	
		1. Prozesszeit	2. Wenden	3. Leerfahrt	4. Standzeit	5. Sonst. Feldbetriebszeit				
Motor	EIN/AUS	x	x	x	x	x	0	x		
GPS	Pos. Feld	x	x	x	x	x	x	0	0	
	Pos. Hof							0	0	x
	Geschw. > 0	x	x	x	0			x	0	
Hauptantr.	EIN/AUS	x	x	0		FBZ-(1bis4)		0		
Arbeitsstell.	EIN/AUS	x	0	0				0		

Bild 4: Zeit-Prozess-Schema für Maschinen mit angetriebenen Anbau- bzw. Voratzgeräten

Auf der Grundlage eines identifizierten Elementes werden geeignete informationstechnische Prozesse selektiert und ausgeführt. Aufbauend auf dem im voran genannten Abschnitt genannten Beispiel kann die zeitbasierte Verrechnung des Mähdrusches dahin gehend verfeinert werden, dass Leerfahrten und Wartezeiten nicht in die Preisermittlung eingehen dürfen. Die Anwendung dieses Schemas liefert ferner einen grundlegenden Beitrag zur Produktivitätsanalyse mit Hilfe telematischer Systeme.

Funktionale Abbildung von Ressourcen – Modellierter Agent

In den vorangegangenen Abschnitten wurden im funktionalen Sinne 4 wesentliche Komponenten für die ereignisgesteuerte Ausführung mobiler Arbeitsprozesse kurz skizziert. Zur Integration dieser Komponenten ist eine aktive, verbindende Instanz erforderlich. Diese Instanz, ebenfalls dargestellt als Komponente, muss ein hinreichend genaues Abbild einer konkreten Ressource im informationstechnischen Sinne schaffen. Dabei ist unter Ressource die Gesamtheit des technischen Systems einschließlich ihres Bedieners zu verstehen. Anwendung finden diese Komponenten in einem Agenten, der das informationstechnische Abbild – reduziert auf die zu lösenden Aufgaben – darstellt. Das Paradigma der Agenten erscheint hierfür in besonderer Weise geeignet, weil es eine ereignisgesteuerte, nachrichtenbasierte Kommunikation kooperierender Einheiten unterstützt und dabei sogar unterschiedliche Interessenslagen - wie aus dem Zusammenspiel zwischen Landwirten und Lohnunterneh-

mern bekannt – nachbilden kann. Agenten sind nach WOOLDRIDGE [3], wie in Bild 5 dargestellt, durch die 3 Schichten *perception*, *decision* und *action* gekennzeichnet.

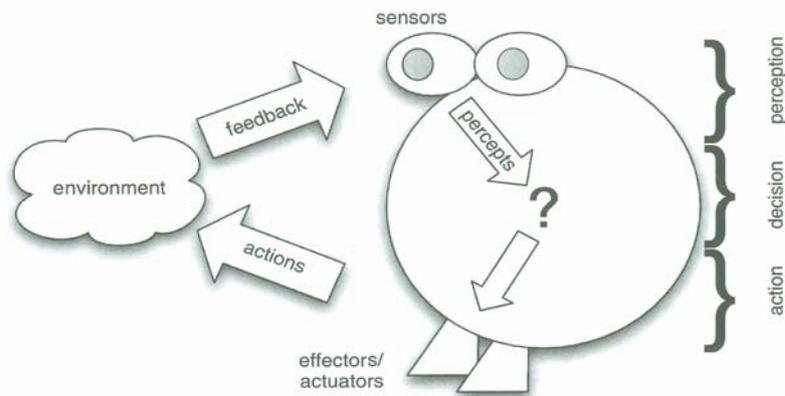


Bild 5: Prinzipieller Aufbau eines Agenten (WOOLDRIDGE)

Die Entscheidungsebene („*decision*“) ist im Sinne intelligenten Verhaltens weiter zu präzisieren. Ein hilfreiches Muster ist das aus den Kognitionswissenschaften stammende von STRUBE [4] beschriebene *three-level framework for action control*, das von FRANK et al. [5] für die Selbstoptimierung mechatronischer Systeme adaptiert wurde (siehe Bild 6). Auf unterster Ebene (*Nicht kognitive Regulierung*) werden Prozesse nach fest vorgegebenen Regeln ausgeführt (z.B. Abfahren eines geplanten Pfades). Ausnahmebehandlungen (z.B. Reaktion auf ein erkanntes Hindernis) und Rekonfiguration wirken von der mittleren Schicht (*Assoziative Regulierung*) auf die unterste Schicht. Dabei werden Prozessziele nicht verändert. Auf der obersten Schicht (*Kognitive Regulierung*) werden Prozesse geplant und ausgewählt. Hier können Ziele verändert werden (z.B. Auftragsreihenfolge).

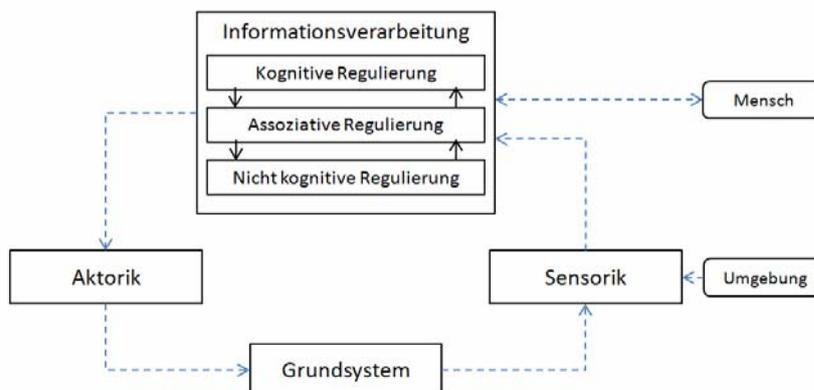


Bild 6: Three-level framework im Regelkreis (verändert nach [5])

4 Zusammenführung der Komponenten zu einer universell einsetzbaren Systemarchitektur

In Geschäftsprozessen mit mehreren beteiligten Ressourcen kann nun jede Einheit als Agent dargestellt werden. Mit Hilfe von Sensoren sind die Ressourcen in der Lage, ihre eigene Situation wahrzunehmen. Für eine detaillierte Analyse des Prozesskontextes greifen sie dabei auf die beschriebenen Komponenten (K1 bis K5) zurück und können sich situationsgerecht verhalten. Situationsgerecht bedeutet, dass sie sich mit den relevanten Partnern vernetzen und kooperieren, sich Planungsinformationen beschaffen, ihre Situation den beteiligten Systemen (Ressourcen, fachliche Anwendungen) verfügbar machen und ihr eigenes Verhalten den aktuellen Zielen gemäß anpassen.

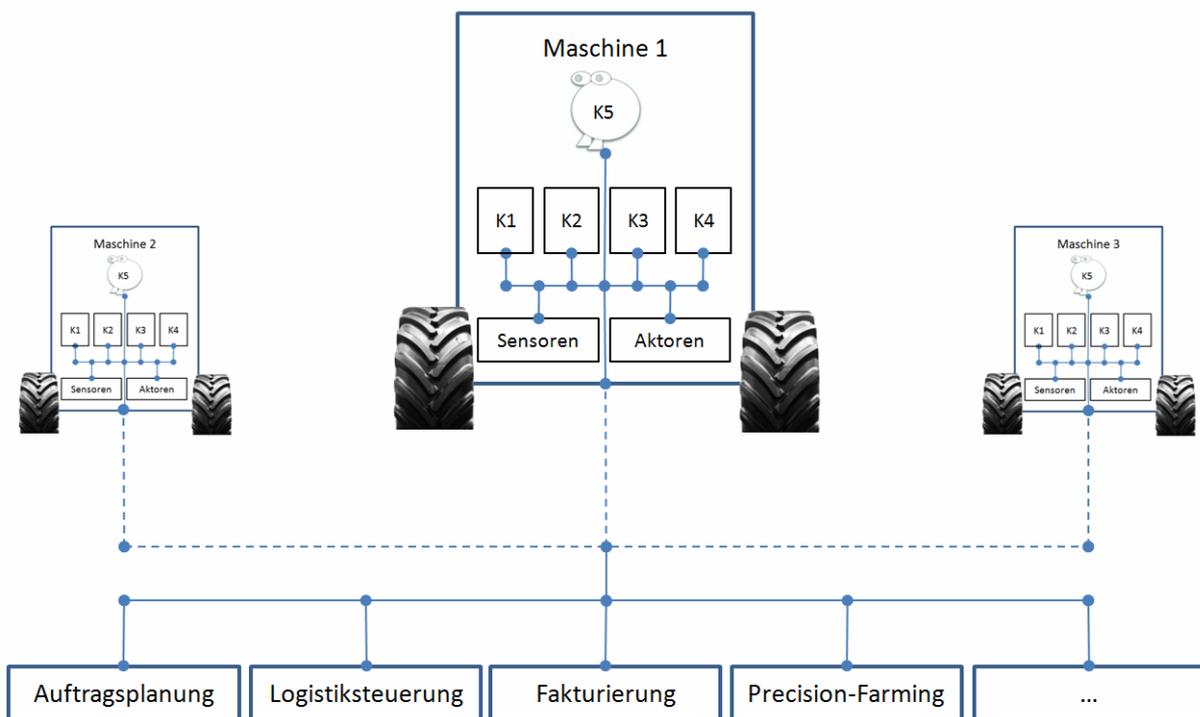


Bild 7: Zusammenwirken von Agenten, Komponenten und fachlichen Anwendungen

Mit Hilfe der in Bild 7 dargestellten Systemarchitektur lassen sich variantenreiche, komplexe Geschäftsprozesse unter den eingangs genannten Randbedingungen jederzeit überblicken, steuern und dokumentieren.

5 Anwendungsfall – Steuerung einer Logistikkette für die Getreideernte

Durch die Anwendung der Systemarchitektur erzielbare Effekte werden nachfolgend am Beispiel einer Logistikkette für die Getreideernte aufgeführt.

- Durch die Kopplung von Mähdrescher mit Schneidwerk sowie Traktor mit Überladewagen bzw. Anhänger sind die auszuführenden Verfahren und Datenerfassungsvorschriften bekannt.
- Durch Erreichen des Feldes ist bekannt, wer Auftraggeber (Rechnungsempfänger) für den Prozess ist. Ferner ist die Abrechnungsgrundlage bekannt, und die Erfassungsvorschriften werden entsprechend präzisiert.
- Bekannte Hindernisse des identifizierten Feldes werden bekannt gemacht. Die Maschinen prüfen die verfahrensspezifische Relevanz der Hindernisse. Maschinen planen optimale Pfade zum Ausweichen von Hindernissen.
- Beim Eintreten des Zustandes *Prozesszeit* werden definierte Zähler gestartet.
- Beim Überladen wird die Gruppenzugehörigkeit festgestellt, die für Gruppenkommunikation und Fakturierung genutzt wird.
- Maschinen tauschen auf Basis erkannter Gruppenzugehörigkeit und unterstützter Verfahren ihre Fahrspuren für eine optimierte Abarbeitung aus.
- Durch die Kenntnis der Korntankfüllstände der MD kann das ÜLF optimiert gesteuert werden (keine Wartezeiten, energiesparende, vorausschauende Fahrweise)
- Durch Verwiegung an der Getreideannahme kann die Ertragmesseinrichtung am MD automatisch kalibriert werden.
- Durch die Gruppenzugehörigkeit lassen sich Ertragsdaten der MD automatisiert zuordnen.
- Durch die bekannte Auslastung der Getreideannahme kann der Prozess Dreschen und Transportieren in Grenzen optimiert werden.
- Auf Basis von Referenzinformationen (Benchmark) in der identifizierten Gruppe kann die Prozessleistung umfassend dargestellt und bewertet werden. Durch Anwendung von Simulationsverfahren (agentenbasierte Simulation) können Optimierungsvorschläge erarbeitet werden, entstehende Konfliktsituationen frühzeitig erkannt werden.

- Weil nahezu alle Informationen für Steuerung und Dokumentation automatisiert erfassbar sind, können Planungsvorgänge vereinfacht werden.
- Aufgrund von in nahezu Echtzeit vorliegenden Prozessinformationen ist vorausschauendes Handeln bzgl. Folgeaufträgen bzw. Abbruch (ansteigende Kornfeuchte) möglich.

6 Zusammenfassung

Dieser Beitrag beschreibt eine Systemarchitektur, die im mobilen landwirtschaftlichen Arbeitsumfeld ein angepasstes Verhalten an nicht präzise vorhersagbare Umgebungsbedingungen und dadurch nicht vollständig spezifizierbare Prozesse ermöglicht. Grundlegendes Prinzip ist dabei die Ermittlung der Kontexte einzelner Beteiligter einschließlich ihrer Beziehungen zueinander, sowie die darauf aufbauende Möglichkeit zur Konfiguration und Rekonfiguration von Prozessen.

Daraus ergibt sich die Möglichkeit, das in den Maschinen implementierte Potenzial in höherem Maße auszuschöpfen und auf diese Weise die Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Prozesse zu verbessern.

7 Literaturangaben

- [1] Streit, U.: Einführung in die Geoinformatik. Universität Münster, Institut für Geoinformatik. Münster. Online verfügbar unter <http://ifgivor.uni-muenster.de/vorlesungen/Geoinformatik/frames/fsteuer.htm>, zuletzt geprüft am 29.08.2013.
- [2] Egenhofer, M. J.: GIS and Spatio-Temporal Databases for Environmental Information (2005). Part 2: Spatial Data Models. University of Maine, Maine. Online verfügbar unter <http://www.spatial.maine.edu/~max>, zuletzt geprüft am 29.08.2013.
- [3] Wooldridge, M.: An introduction to multiagent systems (2009). 2. Edition. Chichester: Wiley, S. 22.
- [4] Strube, G.: Modelling Motivation and Action Control in Cognitive Systems. In: Mind Modelling: A Cognitive Science Approach to Reasoning, Learning and Discovery (1998), Pabst Science Publishers, Berlin, Germany, S. 111-130.
- [5] Frank, U., H. Giese, F. Klein, O. Oberschelp, A. Schmidt, B. Schulz et al. (2004): Selbstoptimierende Systeme des Maschinenbaus. Definitionen und Konzepte. Paderborn: Heinz-Nixdorf-Institut (HNI-Verlagsschriftenreihe, 155).

Experimentelle Untersuchung zur Optimierung der Korn-Stroh-Trennung am Hordenschüttler unter Verwendung elliptischer Bahnkurven mit einer großen Achse in vertikaler Richtung

Dipl.-Ing. Jörg Bernhardt, Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Herlitzius
 Technische Universität Dresden, IVMA, Professur für Agrarsystemtechnik;
 Dipl.-Ing. Robert Bühlmeier, Dr.-Ing. Hubert Korte
 CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH, Harsewinkel

1 Einleitung

Die Abscheideleistung eines Tangentialmähdreschers mit Hordenschüttler liegt wesentlich unter der Abscheideleistung von Mähdreschern mit Rotationsabscheidern. Der Hordenschüttler stellt damit die leistungsbegrenzende Funktionsbaugruppe dar. Die Kornabscheidung kann wie folgt beeinflusst werden:

- Durch Optimierung der Konstruktions- und Betriebsparameter des Schüttlers.
- Durch zusätzliche Baugruppen zur Auflockerung des Haufwerks.
- Durch Änderung der Anregung des Haufwerks durch den Schüttler.

Für die Erhöhung der Kornabscheidung ist eine verbesserte Entmischung notwendig. Der Entmischungsvorgang wird durch die Kenngrößen des Haufwerks bestimmt, die von Maschinen- und Gutparametern abhängen (**Bild 1**).

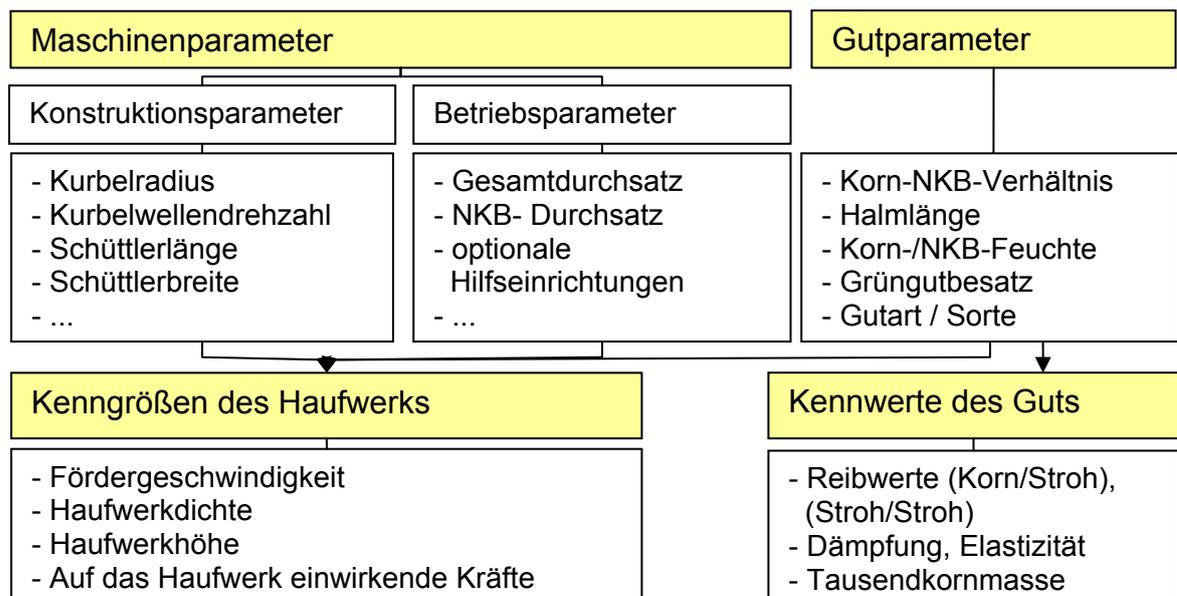


Bild 1: Einflussparameter auf die Kenngrößen des Haufwerks [1]

Aus der Literaturanalyse [1, 2, 3] zu den Konstruktionsparametern wird geschlussfolgert, dass eine wesentliche Steigerung der Kornabscheidung für die auf dem Markt befindlichen Mähdrescher nur durch eine Vergrößerung der Schüttlerbreite erreicht werden kann. Die Verbreiterung ist nur begrenzt möglich, da bereits heute die gesetzlich vorgeschriebenen Maschinenabmessungen erreicht werden. Aufgrund des limitierten Bauraumes kommt auch Hübner [3] zu dem Entschluss, dass keine bedeutende Durchsatzsteigerung, durch Erhöhung der Schüttlerlänge, mehr erzielbar ist. Unterschiedliche Kombinationen aus Kurbelwellenradius und Kurbelwellendrehzahl beeinflussen die Haufwerkskenngrößen und damit die Kornabscheidung und wurden untersucht [2]. Somit kann durch die Veränderung der Kombination aus Kurbelwellendrehzahl und Kurbelwellenradius keine wesentliche Verbesserung der Kornabscheidung mehr erreicht werden. Aus dem Kurbelwellenradius und der Kurbelwellendrehzahl wird nach Gleichung 1 die Beschleunigungskennziffer K berechnet, anhand der eine Aussage über die vorliegende Wurfart ermöglicht wird.

$$K = \frac{r \cdot \omega^2}{g} \quad (1)$$

Die auf dem Markt befindlichen Mähdrescher sind mit Schüttlerhilfen ausgestattet. Diese lockern das Korn- NKB- Haufwerk zusätzlich auf, ohne die Fördergeschwindigkeit des Haufwerks über die gesamte Länge signifikant zu beeinflussen. Dadurch kann in Abhängigkeit der vorhandenen Bedingungen die Kornabscheidung des Schüttlers gesteigert werden. Die Optimierung der Parameter sowie die Wirkung zusätzlicher Baugruppen zur Auflockerung des Haufwerks wurden in der Literatur untersucht und optimiert. Alternativ kann die Verbesserung der Kornabscheidung am Hordenschüttler demnach nur noch durch die Optimierung der Anregung des Schüttlers erfolgen. Um existierende Schüttlerhilfen ersetzen zu können muss eine Leistungssteigerung von mindestens 10% erreicht werden.

2 Theoretische Betrachtung

Bei Kreisbahnen werden die Fördergeschwindigkeit und die max. Beschleunigungen durch den Kurbelwellenradius und die Kurbelwellendrehzahl bestimmt. Damit ist die Untersuchung des Einflusses der Fördergeschwindigkeit bei konstanter Beschleunigung bzw. die Untersuchung der Beschleunigung bei konstanter Fördergeschwindigkeit nur mit erheblichem Aufwand, durch eine Veränderung des Kurbelwellenradius, möglich (**Bild 2**). Bedingung für eine optimale Kornabscheidung ist, dass

Einfachwürfe vorliegen. Aufgrund dessen ist die Vergrößerung der Fördergeschwindigkeit durch eine Erhöhung der Kurbelwellendrehzahl nur begrenzt möglich.

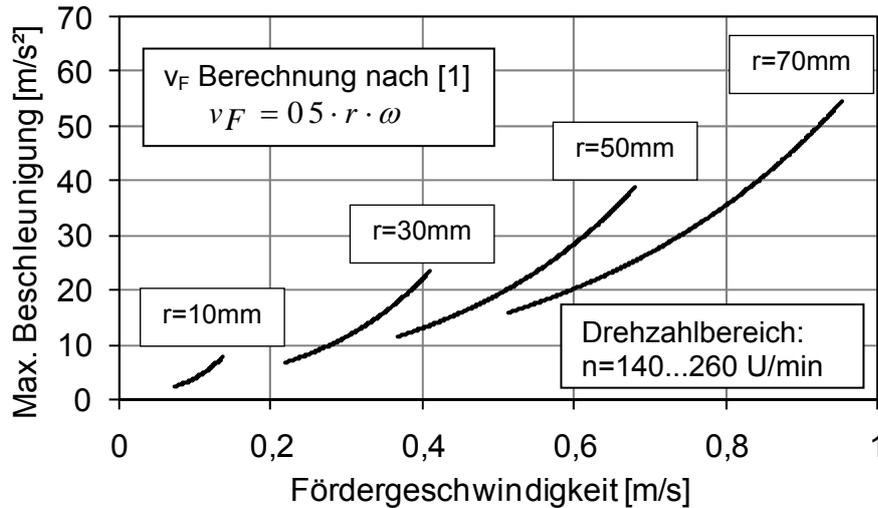


Bild 2: Max. Beschleunigung als Funktion der Fördergeschwindigkeit für verschiedene Kurbelwellenradien und Kurbelwellendrehzahlen

Die Untersuchung des Einflusses von unterschiedlichen Beschleunigungen in x- und y-Richtung, die in das Haufwerk eingeleitet werden, ist mit Kreisbahnen nicht möglich. Aufgrund der genannten Punkte scheint die Untersuchung elliptischer Bahnkurven am Hordenschüttler sinnvoll. Es ergeben sich folgende Kombinationen (**Bild 3**) bestehend aus der max. Beschleunigung und der Fördergeschwindigkeit. Bisher wurden nur wenige der Kombinationsmöglichkeiten untersucht. Die Untersuchungen an Kreisbahnen entsprechen der hervorgehobenen Kombinationsmöglichkeit (Bild 3).

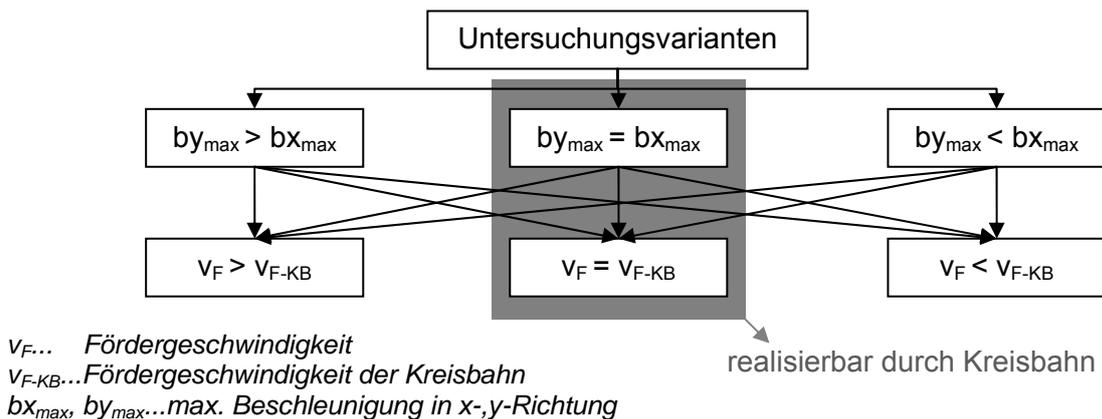


Bild 3: Schematische Darstellung der möglichen Untersuchungsvarianten aus Beschleunigung und Fördergeschwindigkeit

Ziel der Untersuchung ist die Ermittlung des Einflusses unterschiedlicher Bahnkurven und der daraus resultierenden maximalen Beschleunigung in x- und y-Richtung, sowie der Impulsanzahl auf die Kornabscheidung, unter Berücksichtigung der anderen Haufwerkskenngrößen.

3 Versuchsstand und Versuchsdurchführung

Das **Bild 4** zeigt den Aufbau des Versuchsstandes bestehend aus Schneidwerk, Schrägförderschacht, Dreschwerk, Hordenschüttler und Klassierung. Die Zuführeinrichtung, die sich vor dem Versuchsstand befindet, ist nicht mit dargestellt. Sie besteht aus einem Auflegetisch und einer Tuchtrommel, in der das Versuchsgut aufgewickelt ist. Im **Bild 5** ist das 5-gliedrige Koppelgetriebe, mit dem unterschiedliche elliptische Bahnkurven erzeugt werden können, zu sehen.

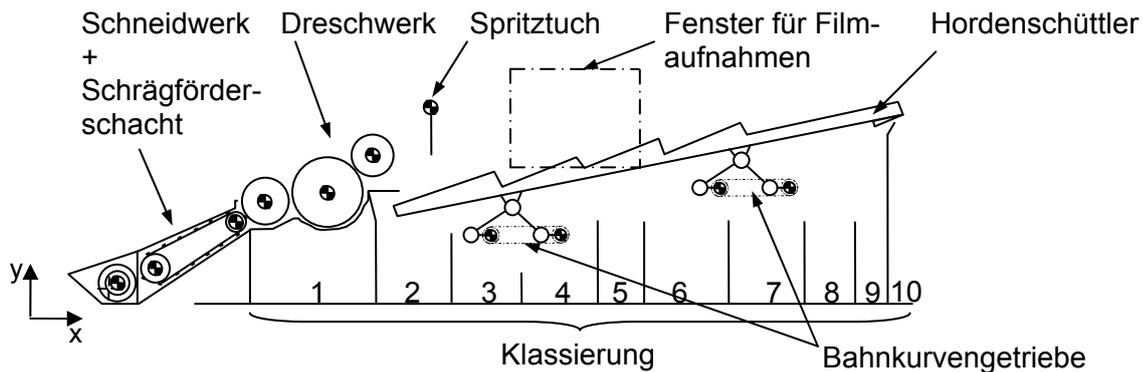


Bild 4: Aufbau des Versuchsstandes

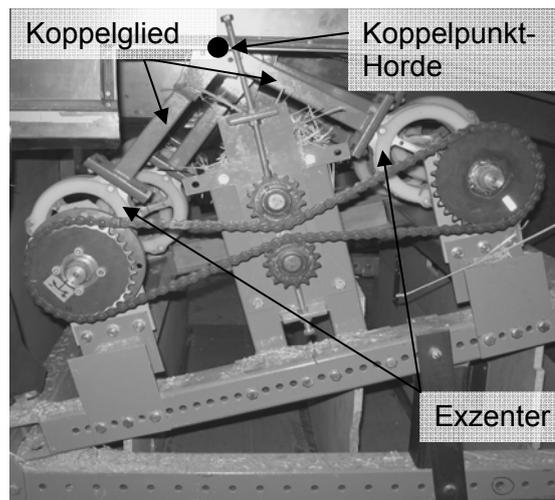


Bild 5: Bahnkurvengetriebe

Der Prüfstand aus Bild 4 entspricht der realen Maschine hinsichtlich Aufbau und Anordnung der Baugruppen. Das Getriebe zur Realisierung der Bahnkurve ist an der vorderen und hinteren Lagerstelle des Hordenschüttlers konstruktiv identisch aufgebaut. Verschiedene Bahnkurven werden durch ein Verdrehen der hinteren Welle in Bezug zur vorderen Welle, des jeweiligen Bahnkurvengetriebes, eingestellt. Die Einstellung eines definierten Wellenverdrehwinkels erfolgt bei Stillstand des Versuchsstandes mit einer Einstelleinrichtung. Während des Betriebes des Hordenschüttlers wird der Wellenverdrehwinkel zwischen der vorderen und der hinteren Welle durch das Kettengetriebe aus Bild 5 konstant gehalten. Entsprechend dem zu realisieren-

den Durchsatz wird eine abgewogene Menge an Versuchsgut (Weizen) auf die Zuführeinrichtung aufgelegt. Die aufgelegte theoretische Wegstrecke bei den Versuchen beträgt 48 m. Die Bandgeschwindigkeit der Zuführeinrichtung wird auf 2,8 m/s eingestellt. Die Einstellungen der Komponenten von Dreschwerk und Zuführeinrichtung sind bei allen Versuchen gleich. Am Schüttler werden die Bahnkurvenabmessungen, die Antriebsdrehzahlen und der Anstellwinkel, nach der Tabelle 1 variiert. Die Bewertungsgröße beim Vergleich der Bahnkurven ist der Kornverlust. Für dessen Ermittlung wird die Gesamtmasse von Korn- und Nichtkornbestandteilen sowie die Kornmasse für jede einzelne Klasse 1 bis 10 mit einer elektronischen Waage gemessen und dokumentiert. Als Referenzbahnkurve dient die Kreisbahn mit einer Kurbelwellenkröpfung von 50 mm und einer Kurbelwellendrehzahl von 240 min^{-1} .

Tabelle 1: Untersuchte Bahnkurven mit Achsabmessung, Anstellwinkel und maximaler Beschleunigung

Bahnkurve	Große Achse [mm]	Kleine Achse [mm]	Anstellwinkel [°]	Drehzahlbereich [min^{-1}]	Max. Beschleunigung in x-Richtung [m/s^2]	y-Richtung [m/s^2]
EB-I	120	85	85	200...260	18,5...31,4	26,5...44,7
EB-II			75	220...260	23,5...32,8	31,5...44
EB-III			80	200...240	19,9...28,6	25,7...37
EB-IV	137	67	75	220...260	20,9...29,2	36,1...50,4
EB-V	149	47	75	240...280	22,9...31,1	47,7...64,9

4 Ergebnisse und Diskussion

Im **Bild 6** ist der auf einen NKB-Durchsatz von 25 t/h normierte Kornverlust in Abhängigkeit der ermittelten Fördergeschwindigkeiten zu sehen. Die Normierung des Kornverlusts erfolgt anhand der Durchsatz-Verlust-Kennlinie der Kreisbahn.

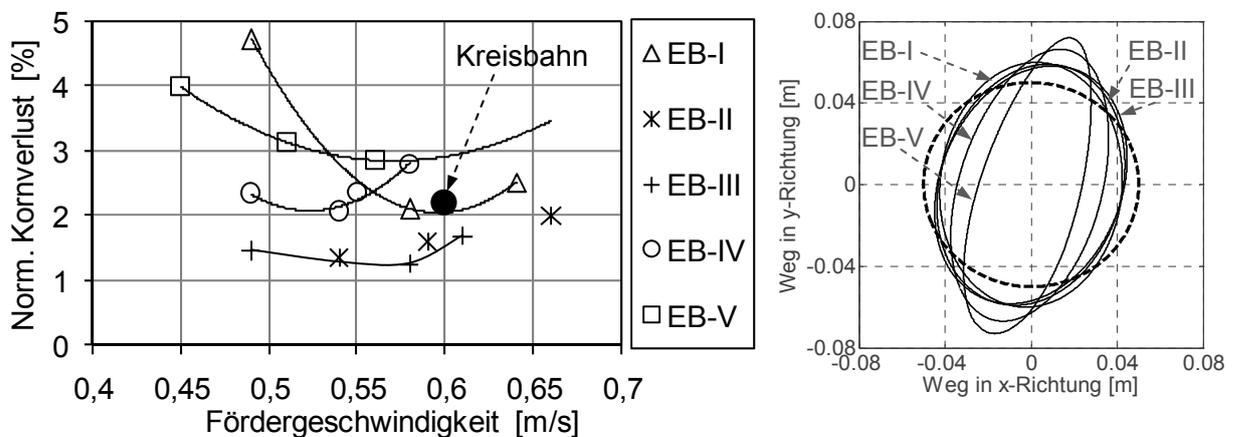


Bild 6: Normierter Kornverlust in Abhängigkeit der Fördergeschwindigkeit für verschiedene elliptische Bahnkurven

Die optimalen Fördergeschwindigkeiten der untersuchten Bahnkurven liegen zwischen 0,5 m/s und 0,6 m/s. Für die Bahnkurven EB-II und EB-III ist der Kornverlust bei optimaler Drehzahl geringer als bei der Kreisbahn. Um den Einfluss der Haufwerkkenngößen zu ermitteln, sind im **Bild 7** die Haufwerkkenngößen und der Kornverlust für ausgewählte Bahnkurven dargestellt.

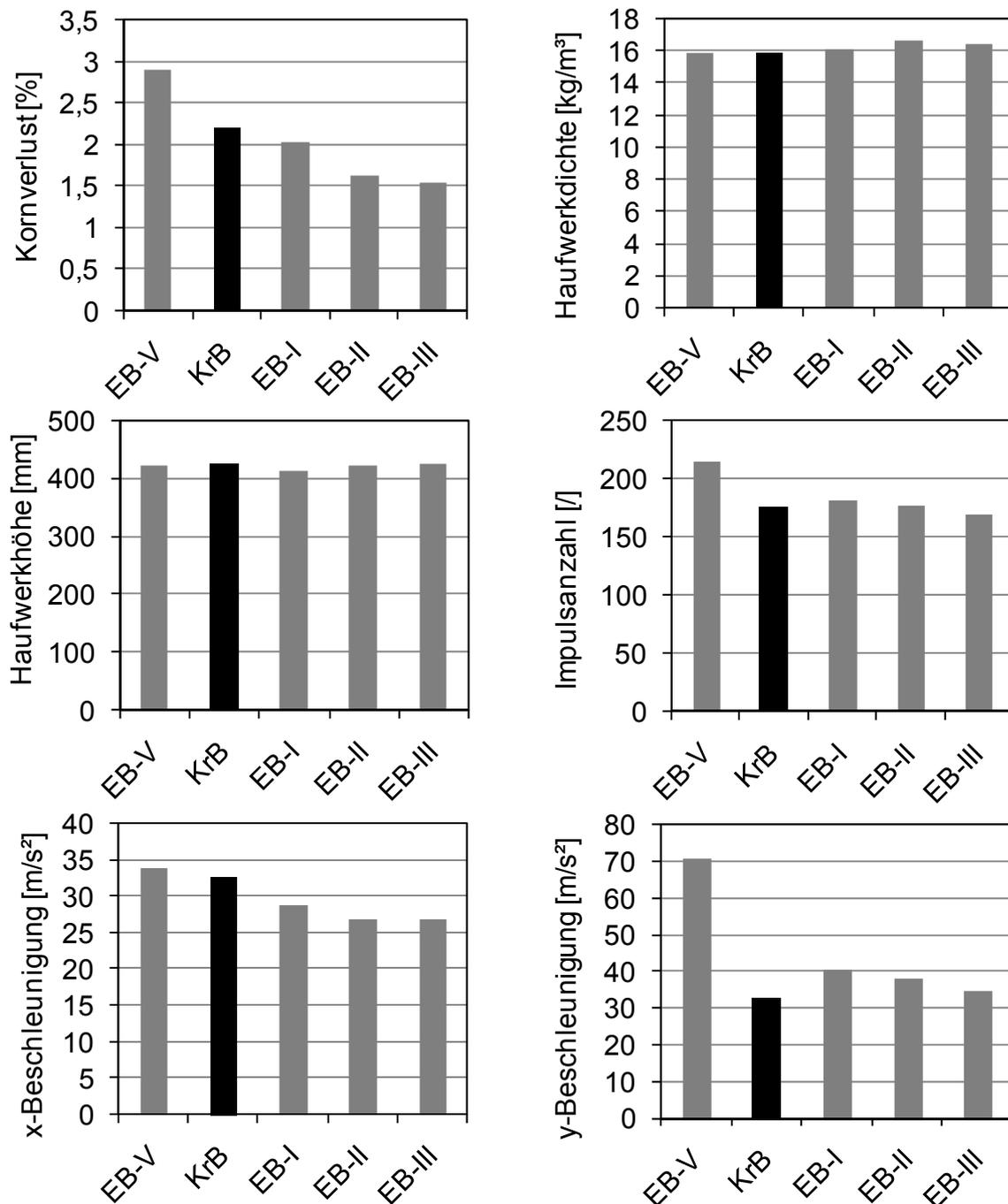


Bild 7: Haufwerkkenngößen ausgewählter Bahnkurven bei einer Fördergeschwindigkeit von 0,6 m/s

Trotz einer geringfügig höheren mittleren Haufwerkdichte weisen die Bahnkurven EB-II und EB-III einen geringeren Kornverlust als die Kreisbahn auf. Aus dem Bild 6 werden folgende Schlussfolgerungen gezogen:

- Das Zusammenspiel aller dargestellten Haufwerkkenngößen und die Auflockerung des Haufwerks durch die Hordenbewegung beeinflussen die Kornabscheidung.
- Eine geringere maximale Beschleunigung in x-Richtung ist vorteilhaft für die Kornabscheidung.
- Das Produkt aus Wegdifferenz in x- und y-Richtung zweier benachbarter Horden korreliert mit dem Kornverlust. Es wird interpretiert, dass die Hordenbewegung das Haufwerk im Übergangsbereich zwischen zwei benachbarten Horden auflockert.

Um die Leistungssteigerung der Bahnkurve EB-II gegenüber der Kreisbahn, bei verschiedenen NKB-Durchsätzen, zu bestätigen, sind die Durchsatz-Verlustkennlinien der Bahnkurve EB-II und der Referenzbahnkurve (Kreisbahn) im **Bild 8** dargestellt.

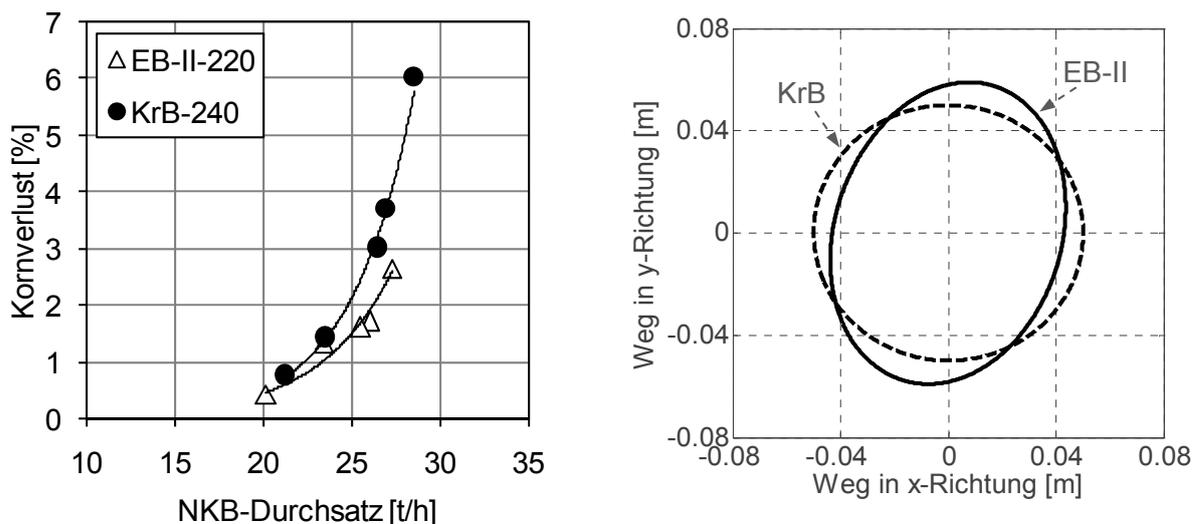


Bild 8: Kornverlust und Fördergeschwindigkeit in Abhängigkeit vom NKB-Durchsatz der Bahnkurve EB-II und der Kreisbahn

Die Bahnkurve EB-II scheidet gegenüber der Kreisbahn bei verschiedenen Durchsätzen mehr Körner ab. Der Vergleich der Bahnkurve EB-II und der Kreisbahn ergibt wiederholbar eine Leistungssteigerung von 4,4 % bei einem Kornverlust von 1 %. Aufgrund der Versuchsdurchführung im Labor kann die ermittelte Mehrleistung nur eingeschränkt nachgewiesen werden, da nur begrenzt Einfluss auf die Gutparameter genommen werden kann.

5 Zusammenfassung

Es wurden fünf verschiedene Bahnkurven im Labor untersucht. Die dabei auftretenden Haufwerkkenngößen sowie der Kornverlust wurden ermittelt und mit den sich einstellenden Kennwerten der Kreisbahn verglichen. Mit den untersuchten elliptischen Bahnkurven wurde eine Leistungssteigerung kleiner als 5 % gegenüber der Kreisbahn nachgewiesen. In Anbetracht der geringen Leistungssteigerung und der dazu sehr aufwendigen Kinematik zur Realisierung der Bahnkurven sind weitere Untersuchungen notwendig, um die erreichbare Mehrleistung weiter zu steigern. Weiterhin muss die Antriebskinematik für Bahnkurven vereinfacht werden, um diese in bestehende Mährescher integrier- und „bezahlbar“ zu bekommen.

Aus den Versuchen können folgende Aussagen getroffen werden:

- Das Zusammenspiel aller dargestellten Haufwerkkenngößen und die Auflockerung des Haufwerks durch die Hordenbewegung beeinflussen die Kornabscheidung.
- Wie bei Kreisbahnen existiert auch bei elliptischen Bahnkurven eine Drehzahl bei der die Kornverluste minimal werden.
- Die Vergrößerung der Impulsanzahl bringt keinen Vorteil. Eine Reduzierung der Impulsanzahl ist von Vorteil, um die Migration der Körner zu verbessern.
- Tendenziell ist zu erkennen, dass bei gleicher mittlerer Haufwerkdichte eine geringere Beschleunigung in y- Richtung für eine hohe Kornabscheidung günstiger ist. Damit werden die Widerstands- und Trennkräfte im Haufwerk verringert. Offenbar wirken sich geringere Widerstandskräfte günstiger auf die Kornabscheidung aus, als höhere Trennkräfte.

6 Literatur

- [1] Schneider, G.: Beitrag zur weiteren Optimierung der Korn-Stroh-Trennung des Hordenschüttlers, TU Dresden, Dissertation 1983 (unveröffentlicht)
- [2] Sonnenberg, H.: Korn-Stroh-Trennung mit Doppelkurbel-Hordenschüttlern. Grundlagen der Landtechnik 20 (1970) H.6, S.161-192
- [3] Hübner, R.: Theoretische Betrachtungen zum Einfluss von Schüttlerlänge und Fördergeschwindigkeit auf die Schüttlerverluste. Tagungsband VDI-MEG Kolloquium Landtechnik Heft 39, 2007, S. 60-67

Design and rollout of a hillside feederhouse for modern combines

Dipl.-Ing. (BA) Andreas Brand
CLAAS SE, Harsewinkel, Germany
Dipl.-Ing. Ludger Kortenjann
CLAAS SE, Harsewinkel, Germany

1 Motivation

The customer requirements of a modern combine harvester are subjected to an increasing performance of the machine. Efficient harvesting under economic and environmental considerations also presents new challenges to the individual components of the complete system "harvester".

Only if all components meet this requirement, this optimum can be achieved on customer benefits.

By revising the Montana-feederhouse for the Lexion combine, CLAAS has been successful to reduce the weight and increase the capacity for wider headers in hillside conditions.

2 Introduction - Technical environment

Special harvesters like the Lexion Montana combine are used to reach hillside agricultural areas. In order to operate the machine within the header in optimal conditions the feederhouse must be able to realize a maximum of mobility.

As a result of the increasing attachment a new concept was required.

3 Requirements profile

For the Montana reengineering project, following demands had to be considered:

- Fast and low-loss harvesting on hillside
- Smooth cropflow under dump conditions
- Capacity for headers up to 9m width and 8 row corn-head
- Multicrop capability
- Low weight on field and road
- Low costs for Montana system which mainly contains front axle, feederhouse and the required electronical system control
- Compability of the interface to older headers
- Modular conception – Usage of mounting parts of other feederhouse types
- Transfer of interface to combine

4 Montana technology

Designed for harvesting in hillside conditions, the LEXION Montana has a variable front axle, which allows to keep the combine horizontal during operation. For guiding the header very close to the ground, a special feederhouse that balances the different level between combine and header is needed.

The Montana feederhouse has a hill-balancing system on two levels (**Fig.1, Fig.2**)



Fig. 1: Animation of Pivot-Frame

When driving cross the hill, pivot-leveling is active, which means a movement around the direct axis. In this level, the Montana combine can balance gradients up to 17%.



Fig. 2: Animation of Tilt-Frame

The second balance-level is needed when the machine is driving up or down the hill. The feederhouse moves the header at right angle to direct axis to keep the same angle between cutterbar and ground up to acclivity of 6%.

5 Design new generation of LEXION feederhouse

Focus of the reengineering project of Montana was on the feederhouse main function header bottom guidance, second main function, crop conveying and combine feeding should be identical to other feederhouse types because of modularity requirement.

First step in this project was the accumulation of all requirements in a specification and to determine the degree of fulfillment of existing concept (**Fig.3**).

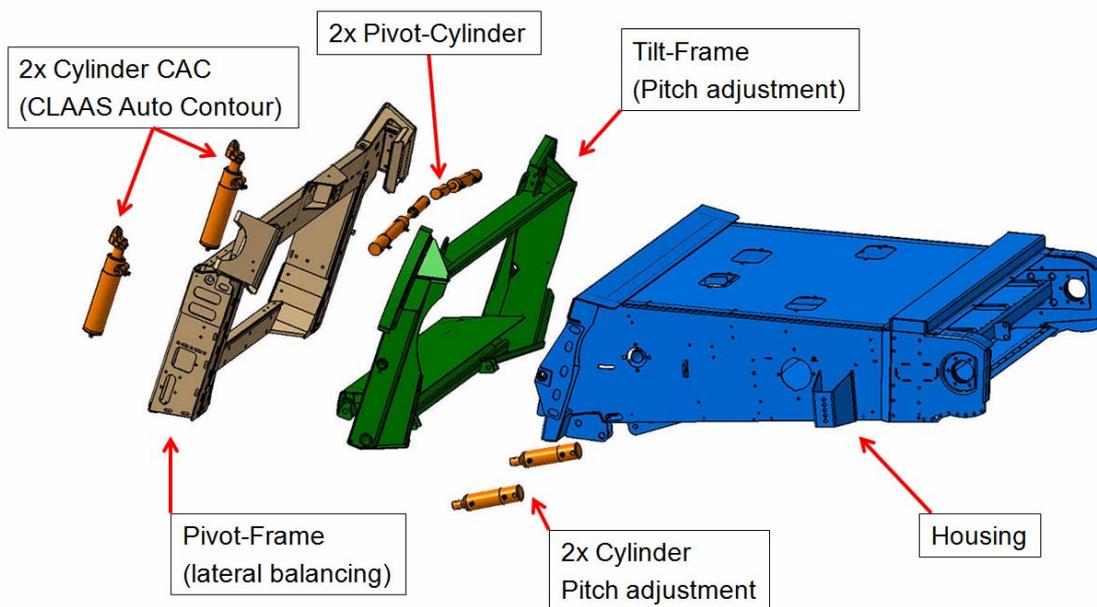


Fig. 3: Existing concept Montana feederhouse – main components

The existing feederhouse has following main parts:

- Housing: assembled in front of the threshing system, contains all important parts for conveying crop
- Tilt-frame : linked with the housing in a turning axle, initiates the pitch adjustment with two cylinders
- Pivot-Frame : assembled in front of Tilt-Frame, moved by two Pivot cylinders, initiates lateral balancing. Contains two CAC-cylinders which moves the header relative to pivot-frame.

Result of determination the degree of fulfillment was that the existing concept is not able to achieve all requirements of specification. This led to this new concept.

As noted before, focus of improvement was on bottom guidance, so this part function was reviewed systematically to find other solutions and achieve maximum of specification fulfillment. Result of this review was a simplified concept with much potential of weight and cost saving.

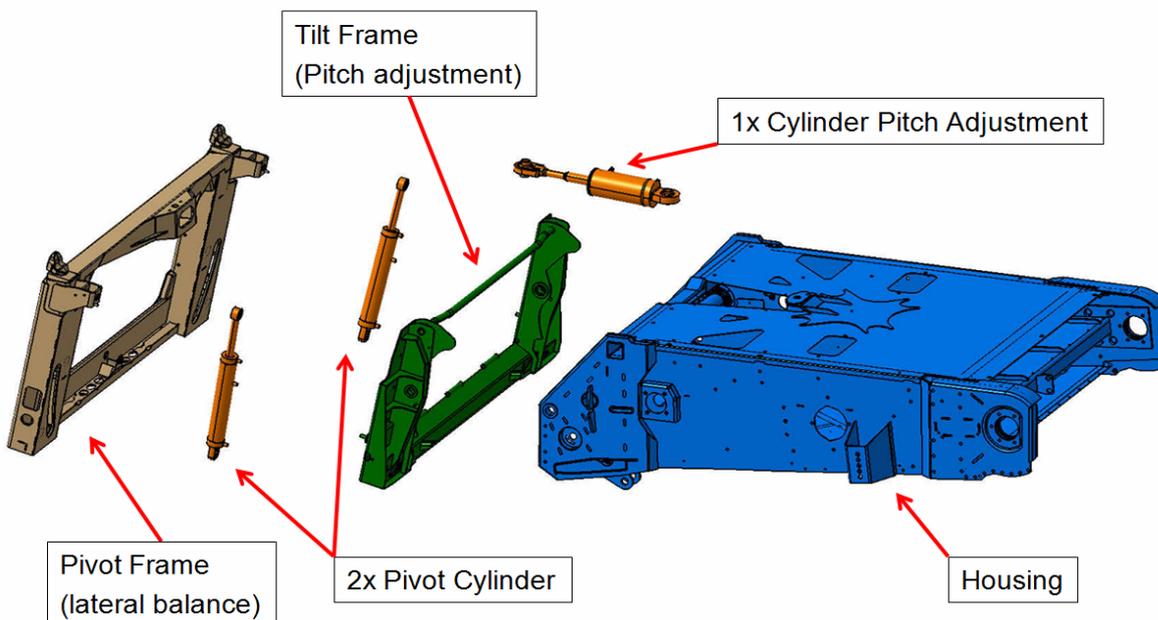


Fig. 4: Concept Montana feederhouse new LEXION generation

Main differences of the new feederhouse concept (**Fig. 4**):

- One cylinder for pitch adjustment, cylinder connects housing directly with pivot frame
- Two cylinders for lateral balance between tilt and pivotframe
- 3 cylinders instead of 6 at previous concept.

Potential of this concept are capacity increase of 30% at weight decrease of 15%, cost savings of 15% and easier software control because of simplified hydraulic.

To ensure this concept next step was to build up prototypes for validation, which is split into three parts (**Fig. 5**).

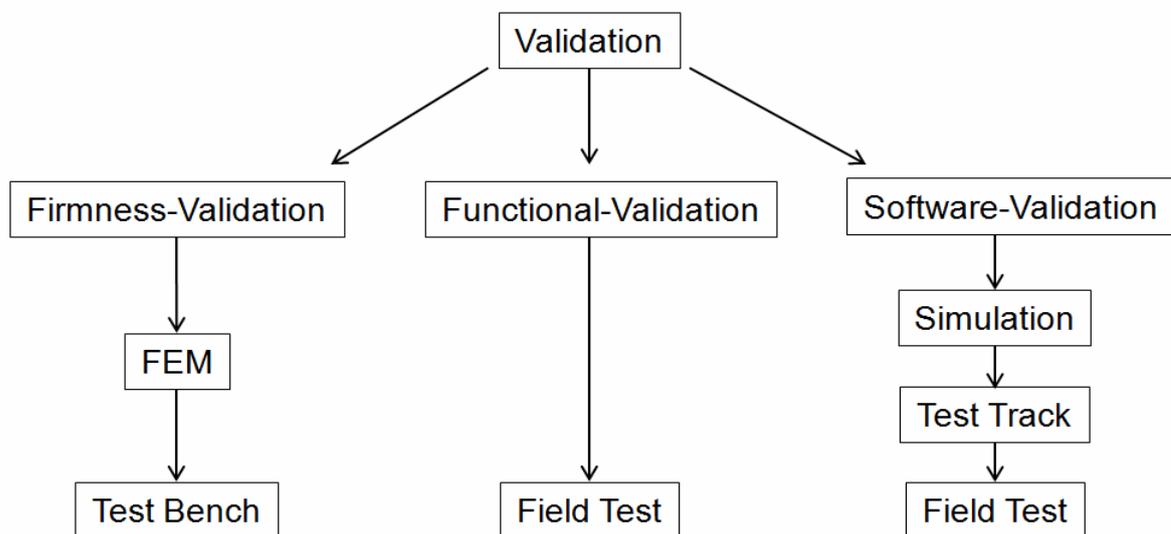


Fig. 5: Overview feederhouse validation

Before functional and software validation starts, structure firmness has to be verified. After calculating different load cases in a FE-Analysis a feederhouse prototype is stressed on a test bench. If this test is successfully completed, field tests are following, where all topics, that have to do with crop flow are monitored, for example crop transfer from header to feederhouse and feeding of threshing system. Field tests were arranged in different crops and regions, to get a maximum of awareness in harvest season. Parallel to functional tests the software was validated by simulation and test run on a test area. Finally, the Montana software was also tested in field operations.

Assuring the new concept was the last step before release for rollout. In a pre-series the serial production processes are executed and monitored. Fixtures and assembling aids are fabricated and tested to optimize welding and assembling operation. When design and production process are finally ensured, the Montana feederhouse was released for SOP.

6 Conclusion

Due to increased requirements on the LEXION Montana hillside combine, a new concept for the feederhouse was needed. For improving bottom guidance, this function was reviewed under systematically engineering aspects. With the new concept, 30% increased capacity, 15% lower weight and 15% lower costs were achieved, the requirements of specification are fulfilled, power density and energy efficiency are enhanced.

After successful completement of validation with different simulations and field tests the feederhouse was released to series production. SOP was together with new LEXION generation, so all LEXION Montana are equipped with the new feederhouse from beginning of 2013.