

Mähdrescher

Stefan Böttinger

Kurzfassung

Nach einem starken Rückgang haben sich die Märkte in 2018 leicht erholt. Viele Hersteller haben ihre Maschinen weiterentwickelt und bieten häufig automatisierte Einstellsysteme und Raupenlaufwerke an. Ein völlig neu entwickelter Mähdrescher wurde vorgestellt und in den Markt eingeführt. Zum besseren Verständnis der Prozesse in den Maschinen und für zielgerichtete Weiterentwicklungen werden vermehrt Simulationen eingesetzt.

Schlüsselwörter

Mähdrescher, Marktentwicklung, Automatisierung, Simulation, Stoffeigenschaften

Combine Harvester

Stefan Böttinger

Abstract

After a sharp decline, markets recovered slightly in 2018. Many manufacturers have further developed their machines and often offer automated adjustment systems and rubber tracks. A completely new developed combine harvester was presented and launched. For a better understanding of the processes in the machines and for further developments simulations are increasingly used.

Keywords

Combine harvester, market development, automation, simulation, physical properties

Markt

Die Märkte für Mähdrescher haben sich in den letzten Jahren stark rückläufig entwickelt. Nun hat sich in Deutschland der Markt nach einer Stagnation auf einem Tief von ca. 1530 Maschinen in den Saisons 2015/16 und 2016/17 in 2017/18 schwach erholt auf 1578 Einheiten. In West-Europa ging der Absatz in den Vorjahren dagegen etwas zurück und erholte sich nun ebenfalls leicht in 2017/18 auf ca. 5000 Einheiten. Für Nordamerika hatte sich der Markt innerhalb von zwei Jahren halbiert, um sich nun in 2018 auf 6963 Einheiten leicht zu erholen, **Bild 1**. Auch in Russland hat sich der Markt leicht erholt, durch eine zu geringe Anzahl an Maschinen geht aber immer noch ein Teil der Getreideernte verloren [1 bis 3].

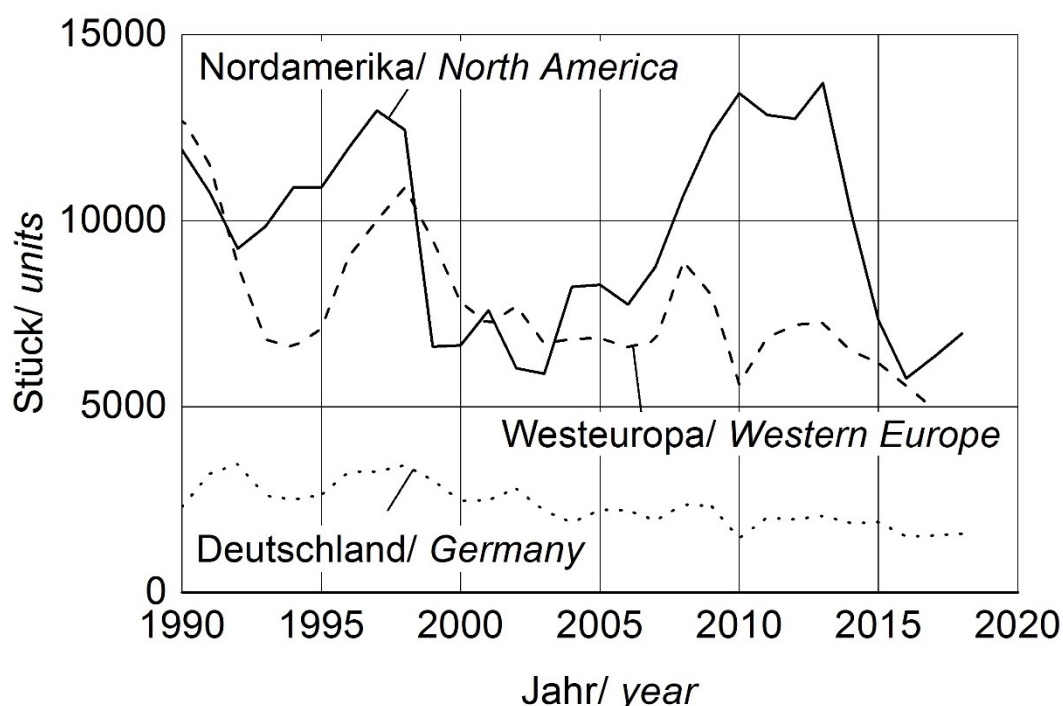


Bild 1: Entwicklung wichtiger Mähdrescher-Märkte [1 bis 3]

Figure 1: Development of important combine markets [1 to 3]

Alle Hersteller haben ihre Modelle im Detail überarbeitet, gemäß den Abgasvorschriften mit neuen, meist stärkeren Motoren und häufig mit Assistenzsystemen ausgestattet, durch die die Bedienung der Maschinen erleichtert werden soll. Auch die Ergonomie in den Kabinen ist stärker im Fokus der Hersteller [4; 5]. Neben dem Größenwachstum der Mähdrescher gibt es weiterhin in Deutschland und Westeuropa einen Markt für kleinere Modelle, der nach Meinung mancher Hersteller an Bedeutung gewinnen wird [6].

Neuvorstellungen

Vor allem in den Modellen der großen Hersteller stellen sich immer häufiger die Arbeitselemente auf die jeweiligen Erntebedingungen automatisch ein [7]. Eine gute Zusammenfassung

der Neuheiten und Trends findet sich in [8] und in vielen Einzelbeiträgen [9 bis 15]. Viele Hersteller bieten nun optional ab Werk zur Bodenschonung Raupenlaufwerke an [15; 16]. Auch Deutz-Fahr hat seine bewusst einfacher gehaltenen Maschinen überarbeitet [17; 18].

Von Agco wurde die neu entwickelte Mähdrescher-Baureihe Ideal vorgestellt. Die drei Modelle mit maximaler Motorleistung von 336 bis 483 kW (ECE R 120) werden durch die Marken Fendt und Massey Ferguson vertrieben. Eine Zuführtrommel beschickt den einen bzw. bei den beiden größeren Modellen die beiden parallelen Dresch- und Trennrotoren von je 4,84 m Länge, **Bild 2**. Die Rücklaufböden für die Dresch- und Trennbereiche sind so angepasst, dass die Gutströme mit ihren unterschiedlichen Zusammensetzungen (K/NKB-Verhältnis) mittig bzw. seitlich auf den Vorbereitungsboden der Reinigungsanlage geleitet werden. Dieses Dual Return Pan genannte System soll einen höheren Durchsatz der Reinigungsanlage ermöglichen. Die Kornabscheidung über die Länge der Rotoren und des Obersiebs wird durch mehrere Prallplattensensoren erfasst [19; 20].

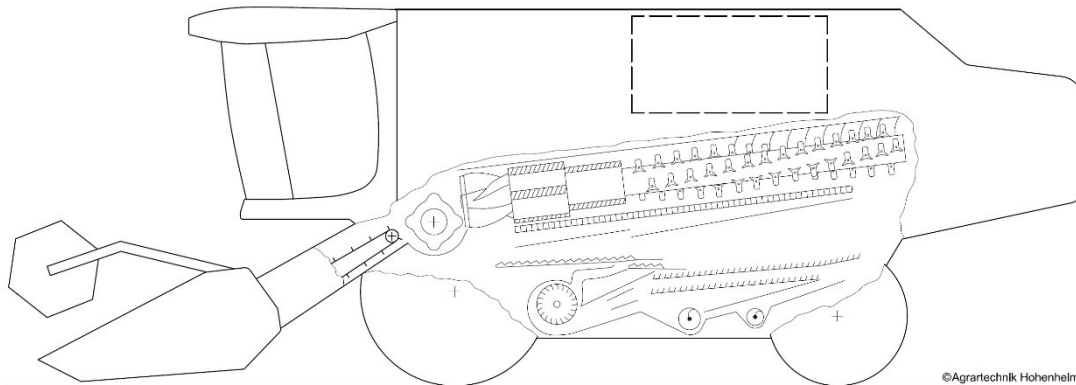


Bild 2: Schnittbild Agco Ideal Mähdrescher

Figure 2: Cutt-away view Agco Ideal combine harvester

Die Grenzen des Größenwachstums von Mähdreschern werden weiterhin diskutiert. In einer Diskussion mit Experten eines Herstellers wurden die Grenzen wie beispielsweise das Gewicht, die Fahrspuren im Feld und die Fahrwerke sowie die Breitverteilung des Strohhäcksels diskutiert [21]. Der Tribine Harvester könnte für manche Regionen ein Weg für noch größere und leistungsstärkere Mähdrescher sein. Durch Knicklenkung mit seitlich ausschwenkendem Gelenk und lenkbarer Hinterachse rollen die vier angetriebenen und gleichgroßen Reifen mit einer Breite von 1,1 m in eigenen Spuren. Im vorderen Modul des Knicklenkers mit Kabine erfolgt das Dreschen, Trennen und Reinigen, im hinteren Modul befindet sich ein Korntank mit 35.000 l Kapazität [22].

Dreschen, Trennen, Reinigen

Am Ideal-Mähdrescher sind Ein- und Ausgang der Dreschkörbe der Rotoren getrennt verstellbar. Es werden die Entwicklungsschritte auf dem Weg zu dieser Lösung für einen hohen Gut-

durchsatz bei geringer Korn- und Strohbeschädigung sowie geringem Leistungsbedarf geschildert [13]. Für die Laborversuche mit der neuen Reinigungsanlage in diesem Mähdrescher wurde ein neuer Prüfstand mit Rezirkulation des Gutes für lange Versuchsdauern entwickelt [23]. Für einen Reismähdrescher wurde das Gebläse der Reinigungsanlage optimiert und mit CFD simuliert [24].

Für Strohschüttler wurde ein Modell entwickelt, bei dem die Reibungseigenschaft der Strohschicht, das Auseinanderziehen der Schicht bei der Förderung und die Kornabscheidung durch die Schicht hindurch berücksichtigt wird. Betont werden die kinematischen Parameter der Schüttler, neben der Winkelgeschwindigkeit und dem Hub der Kurbelwelle auch die Phasenverschiebung zwischen den einzelnen Schüttlerhorden [25].

Der Einfluss der Stoffeigenschaften auf das Förderverhalten wird in zwei Publikationen betont. Für Weizen, Gerste, Roggen, Triticale und Hafer ist der Einfluss der Orientierung der Körner auf die Haft- und Gleitreibung auf Stahlblech untersucht worden [26]. Es konnten dabei Unterschiede von bis zu ca. $\pm 10\%$ um den Mittelwert festgestellt werden. Der Einfluss der Gutfeuchte von Triticale auf die Reibung auf Stahl wurde ermittelt aus der nötigen Kraft um ein Stahlblech aus einer Gutschüttung herauszuziehen. Mit zunehmender Feuchte von 8 bis 16 % nimmt der Gleitreibbeiwert von 0,17 auf 0,22 zu [27].

Simulation

Für eine Vielzahl von Untersuchungen wurden die Partikelsimulation DEM (Diskrete Elemente Methode) und die Strömungssimulation CFD (Continuous Fluid Dynamics) verwendet. Insbesondere für DEM ist die Parametrierung der Guteigenschaften für die Interaktion der Partikel zueinander und zu den Oberflächen einer Anlage von hoher Bedeutung. Für die Kalibrierung der DEM-Simulation einer Körnerschnecke mit Mais wurde der Schüttwinkel der Maiskörner verwendet und verschiedene Modellierungen von Maiskörnern untersucht [28]. Der Einfluss der unterschiedlichen DEM-Parameter auf den Schüttwinkel wird von Ucgul et al. verdeutlicht [29]. Die Stoßzahl von Bohnen, Soja und Raps bei verschiedenen Gutfeuchten und Geschwindigkeiten ermittelte Horabik et al. für die DEM-Simulation [30].

Ma et al. untersuchten mit Hilfe von DEM den Einfluss der Siebapertur und des Anstellwinkels auf die Kornabscheidung eines Schwingsiebes [31]. Alternative Formen der Siebbewegung werden in Hohenheim an einem Versuchsstand experimentell und mit Hilfe der DEM- und CFD-Simulation untersucht. Die elliptische Siebbewegung kann die Trennprozesse in der Reinigungsanlage verbessern [32]. In Dresden werden DEM-CFD-Simulationen für die Nachbildung der Trennprozesse in einer Mähdrescher-Reinigungsanlage verwendet. Die Autoren dieser sehr guten und umfassenden Untersuchungen betonen aber selber, dass weitere Verbesserungen in der Simulation nötig sind [22; 34]. Für die Validierung von DEM-Simulationen zur Entmischung von Körnern aus einem vertikal schwingenden und luftdurchströmten Kurzstrohhauwerk wurde das Entmischungsverhalten eines Miniaturprüfstandes mit Röntgenstrahlen dreidimensional sichtbar gemacht [35]. Für die Optimierung des Gebläses einer neu entwickelten Reinigungsanlage in einem Reismähdrescher wurde ebenfalls CFD für die Strömungssimulation eingesetzt [24].

Die Modellierung von Strohhalmen für die DEM-Simulation ist anspruchsvoll. Leblicq et al. modellieren Strohhalme und berücksichtigen dabei besonders deren Kompressibilität sowie deren Biagsamkeit [36; 37]. Die Modellierung einer Maispflanze von der Bewurzelung über Stängel, die Kolben und deren Anbindung an den Stängel beschreibt Kovács et al. Es fehlt noch die detaillierte Modellierung des Kolbens mit den Körnern [38].

Automatische Einstellung

Die automatischen Einstellungen an Mähdreschern findet zunehmend Anwendung bei den größeren Herstellern. Bereits zur agritechnica 2015 fand eine Umfrage unter den Besuchern statt. Nur 52 % der Befragten kannten damals diese Systeme, aber es wurde allgemein ein hohes Potenzial in ihnen gesehen. Insbesondere von älteren Mähdrescherfahrern und Lohnunternehmern wurde die Zuverlässigkeit dieser Technik angezweifelt. Ein Indiz, dass kontinuierliche Anstrengungen der Marketingabteilungen der Hersteller nötig sind [39].

Am Beispiel der S-Serie von John Deere kann gezeigt werden, dass die Weiterentwicklungen an Mähdreschern zunehmend im Bereich der Maschinenbedienung, der Software und der automatischen Einstellungen zu finden sind. Durch die gesteigerte Intelligenz in den Maschinen werden die Fahrer weiter entlastet. Fahrgeschwindigkeit, Verlustniveau, Bruchkornanteil und Verunreinigung werden zu Beginn durch die Einstellungen des Fahrers vorgegeben. Bei sich ändernden Erntebedingungen werden die Einstellungen automatisch angepasst, um die vorgewählten Zielwerte einzuhalten. Dazu wird mit Hilfe von Kameras Körnerbruch und Reinheit beurteilt. Es wird von einer bis zu 20 % besseren Ausnutzung der installierten Leistung berichtet [11; 12; 40 bis 43]. Auch im Ideal-Mähdrescher von Agco erfolgt eine automatische Einstellung. Die Rotordrehzahl wird in Abhängigkeit der Kornabscheidung über der Rotorlänge, der Körnerverluste und der Information eines optischen Sensors am Ende des Körnerrelevators für Bruchkorn und Reinheit [10] angepasst. Bei Claas werden ähnliche Systeme eingesetzt. Hier kann der Fahrer die Optimierungskriterien aus Durchsatz, Verlusten und Kornqualität vorgeben, nach denen die Maschine sich einstellt. Dabei werden neben Rotoren und Reinigungsanlage zusätzlich das Tangentialdreschwerk der Hybrid-Mähdrescher separat optimal eingestellt. Der Durchsatzregler passt nicht nur die Fahrgeschwindigkeit an, sondern stoppt auch bei plötzlicher Überlast das Schneidwerk und den Einzugskanal, um Blockaden in der Maschine zu vermeiden. Am Seitenhang werden Klappen an den Abscheiderotoren auch genutzt, um das abgeschiedene Gut hangaufwärts auf den Vorbereitungsboden zu leiten. So wird eine gleichmäßigere Gutverteilung auf der Reinigungsanlage am Seitenhang erreicht [22].

Neben den von den Herstellern angebotenen Systemen können auch Apps für Smartphones helfen, die Einstellungen der Mähdrescher zu verbessern [41]. Neu vorgestellte Sensoren für Kornabscheidung und Luftgeschwindigkeit unter dem Obersieb können künftig unterstützen, die Einstellungen an der Reinigungsanlage besser an die Erntebedingungen anzupassen [44].

Neue Verfahren

An neuen Mähdrescherkonzepten wird an verschiedenen Stellen gearbeitet. Neben dem bereits angeführten Tribine könnte das Kompakternteverfahren eine Lösung für höhere Durchsatzleistung und bessere Nutzung von Stroh und Spreu darstellen. Dazu wird ein Mähdrescher

derart angepasst, dass er die Körner als Gemisch mit 25 % der gehäckselten Nichtkorn-Bestandteile (NKB) z.B. in einem gezogenen Häckselwagen bunkert. Die Reinigung der Körner erfolgt dann auf dem Hof, Spreu und Kurzstroh können z.B. zu Pellets weiterverarbeitet werden [45].

In Hohenheim wird weiter an der Optimierung der Siebbewegung der RA gearbeitet. Nach der kreisförmigen Anregung des Siebkastens ist nun die elliptische Anregung in einem entsprechenden Prüfstand realisiert. Mit ihm kann unabhängig voneinander die Verstellung der horizontalen und der vertikalen Siebbewegung erfolgen. Damit ist es möglich, neben linearer und kreisförmiger auch elliptische Siebbewegungen zu realisieren. Untersuchungen zeigen eine geringere Empfindlichkeit der Kornverluste in Abhängigkeit vom Durchsatz bei einer kreisförmigen Bewegung. Die Kornverlust-Durchsatz-Kennlinie einer elliptischen Siebbewegung mit ähnlichen mechanischen Anregungsparametern liegt zwischen der einer linearen und kreisförmigen Siebbewegung. Parallel durchgeführte DEM- und CFD-Simulationen ermöglichen eine ausreichend genaue Abbildung der Ergebnisse und können somit zur vertieften Untersuchung des Prozessverhaltens herangezogen werden [32; 46]. Für den Hordenschüttler wurden in Dresden alternative Bewegungsformen untersucht [47]. Auch hier ergab sich eine bessere Kornabscheidung bei elliptischen Bahnkurven der Schüttler. Um 10 bis 15 % höhere Durchsätze sind im Labor möglich. Eine Überprüfung im Feld und unter Längsneigung wird als nächster Schritt empfohlen. Auch für die neuartige Gestaltung der Rücklaufböden des Dresch- und des Abscheidebereichs der Rotoren im Ideal-Mähdrescher kann man auf die Feldergebnisse gespannt sein [19].

Der Impuls einer Luftströmung wird für eine neue Dreschmethode für Maiskolben verwendet. Die Kolben werden durch rotierende Walzen längs ausgerichtet und axial gefördert. Die Drehbewegung der Walzen löst die ersten Körner von der Spindel. Die Luftströmung trennt die restlichen Körner ab. Die Kombination aus mechanischen und pneumatischen Beanspruchungen reduziert den Körnerbruch [48].

Zur Reduktion von Vibrationen wurde eine Reinigungsanlage für Raps ohne Schwingbewegung entwickelt. Eine Vorreinigung erfolgt in einem Zyklon, die Hauptreinigung in einer konischen Siebtrommel. Es wurden für das verwendete Gut die optimalen Abmessungen und Einstellungen gefunden [49]. Offen bleibt, wie die Anpassung der Einstellungen an sich ändernde Guteigenschaften erfolgen kann.

Schneidwerk und Strohmanagement

Bei Schneidwerken für Mähdrescher gibt es weiterhin Marktanteile für Spezialanbieter. Insbesondere für die Mais- und die Rapserte gibt es regionale, aber auch internationale Spezialisten für diese Gutarten [50]. Die großen Mähdrescherhersteller nutzen diese Kompetenzen und übernehmen manchmal die Vorsätze von diesen Anbietern in ihr Produktangebot. So werden beispielsweise die Maispflückvorsätze von Geringhoff künftig die entsprechende Baureihe von John Deere in Europa ersetzen [51].

Das Hochschnittverfahren für die Getreideernte wird immer wieder zur Leistungssteigerung von Mähdreschern diskutiert. New Holland hat mit seinem Dual Stream Getreideschneidwerk

eine Lösung vorgestellt, bei der ein Messerbalken für den Hochschnitt und ein zweiter Messerbalken direkt hinter dem Schneidtisch für den Schnitt der Halme auf üblicher Stoppelhöhe sorgt, **Bild 3**. Der zweite Messerbalken ist gelenkig an der Rückwand des Schneidwerks angebracht. Über eine nachlaufende Stabwalze wird er über den Boden geführt. Die von ihm geschnittenen Halmstücke werden durch die Stabwalze in die Stoppeln eingearbeitet. Die Vorteile des Hochschnitts (höherer Korndurchsatz, geringerer spezifischer Kraftstoffverbrauch, längeres Erntefenster) werden ohne die bisherigen Nachteile genutzt, denn ein zweiter Arbeitsgang für die Bearbeitung der Hochstoppel entfällt und das Stroh ist gleichmäßig über der Arbeitsbreite verteilt [42].



Bild 3: New Holland Dual Stream Schneidwerk für Hochschnitt

Figure 3: New Holland Dual Stream cutterbar for high cut

Mit dem Kombi-Mulcher wird von der TU Braunschweig ein Verfahren vorgeschlagen, dass nach dem Hochschnitt in einem zweiten Arbeitsgang das Strohmanagement vornimmt: Mit einem Messerbalken können in gewünschter, variabler Höhe die stehenden Halme geschnitten und seitlich im Schwad für die spätere Abfuhr abgelegt werden. Mit dem Mulcher werden die restlichen Stoppeln bearbeitet und das Kurzstroh gleichmäßig über der Arbeitsbreite abgelegt. Somit ist der Anteil des auf dem Feld verbleibenden Strohs flexibel anpassbar [52].

Der Messerbalken am Getreideschneidwerk kommt bei höheren Fahrgeschwindigkeiten an seine Grenzen. Zur Beurteilung der Schnittqualität wurde die Stoppelhöhe anhand von Fotoaufnahmen ermittelt. Es zeigte sich, dass die Stoppellängenunterschiede bei zunehmender Fahrgeschwindigkeit anwachsen und sie deshalb nicht ohne weitere Maßnahmen gesteigert werden kann [53].

Draper-Schneidwerke fördern das geschnittene Gut mit einem Querförderband statt mit einer Schnecke zur Mitte des Schneidtisches. Die Vor- und Nachteile dieser Bauart werden diskutiert und die Unterschiede bei den einzelnen Herstellern aufgeführt. Insbesondere für die Sojaernte wird diese Bauart zunehmend eingesetzt [54]. Die hierbei zusätzliche Flexibilität des Messerbalkens ermöglicht das bodennahe und konturangepasste Schneiden der Sojapflanzen. Durch ein weiterentwickeltes Bodenführungssystem konnte eine deutliche Bedienungs-erleichterung für ein Flex-Draper-Schneidwerk erreicht werden [55].

Zhang et al. erstellten eine Übersicht über die unterschiedlichsten Ansätze und Geräte für das Strohmanagement bei der Getreideernte [56]. Für sie sind die Häckselqualität und die Gleichmäßigkeit der Verteilung die beiden Schlüsselfaktoren. Die Gestaltung und Anordnung der Häckselmesser sowie der Leistungsbedarf werden diskutiert. Vorschläge für zusätzliche Gebläse und verbesserte Messerwalzen für eine gleichmäßigere Gutverteilung werden gemacht und künftige Entwicklungsmöglichkeiten aufgezeigt. Eine verbesserte Verteilung von Stroh und Spreu mit Hilfe einer zusätzlichen Luftströmung wurde von New Holland vorgestellt [43]. Claas erhöht für eine verbesserte Verteilung die Beschleunigung des Strohhäckfels [15].

Körnermaisstroh kann für die Energieproduktion eingesetzt werden. Für die Ernte von Maisstroh wurden acht Verfahren untersucht. Die Abfuhraten waren immer geringer als 50 %. Zudem betrug der Rohaschegehalt durchschnittlich 7 % [57]. Zur Vorhersage der Erntemenge und der Gutfeuchte von Maisstroh wurde für die USA ein Modell erstellt [58].

Unkräuter auf dem Feld werden bei der Ernte mit durch den Mähdrescher gefördert. Bei manchen Arten sind die Samen noch nicht ausgefallen. Sie werden mit ausgedroschen und gelangen zum größten Teil mit der Spreu wieder auf das Feld. Ein nicht zu vernachlässigender Anteil an Unkrautsamen verbleibt als Verunreinigung z.B. in der Steinfangmulde und kann beim nächsten Einsatz auf das Feld gelangen. Zur Vermeidung dieser Verschleppungen ist die Reinigung des Mähdreschers nicht nur bei Saatgutvermehrung sinnvoll [59]. Zur Vernichtung von herbizidresistenten Unkrautsamen wird beispielsweise eine Hammermühle am Mähdrescher für die gesamte Spreufraktion zur Nachrüstung angeboten [22]. Der Antrieb erfolgt über den Mähdrescher, dessen Gutdurchsatz reduziert sein kann. Eine vorherige Absiebung des Siebübergangs reduziert die zu bearbeitende Spreumenge und den Leistungsbedarf der Mühle um 33 % [60]. Zur Abtrennung von Unkrautsamen im Mähdrescher wurden im Labor zwei Verfahren untersucht. Mit einem luftdurchströmten Schwingsieb konnten bis zu 95 %, unter Ausnutzung unterschiedlicher Reflektionseigenschaften bis zu 65 % der Unkrautsamen aus dem Siebübergang entfernt werden [61].

Antriebe und Fahrwerk

Beim Kettenförderer im Einzugskanal können der Geräuschpegel reduziert und die Lebensdauer durch den Wechsel von Förderketten auf Zahnriemenantrieb erhöht werden [62]. Optional kann die Fördergeschwindigkeit an die aktuellen Erntebedingungen und die Guteigenschaften angepasst werden [42].

In Zusammenarbeit mit einem Zulieferer bietet New Holland nun auch für die CX und CR Bau-reihen über Hydraulikzylinder verdrehbare Endantriebe für die Vorderachse an um die Ma-schine am Seitenhang horizontal auszurichten. Sind die Maschinen mit „SmartTrax“ Raupen-laufwerken ausgestattet, ist eine kostengünstige Federung der Stützrollen über Gummipuffer anstatt Hydropneumatik möglich [22]. Für größere Kanalbreiten bei gleichzeitigem Einhalten der maximalen Breite für die Straßenfahrt wird eine teleskopierbare Vorderachse mit Raupen-fahrwerk vorgeschlagen. Der Einzugskanal kann nur bei teleskopierter Achse abgesenkt wer-den [63].

Lastkollektive von Mähdrescherfahrantrieben können nur in den kurzen Perioden des Feldein-satzes aufgezeichnet werden. Deshalb wurde am Institut für Agrartechnik der Universität Ho-henheim eine Methode zur Lastprädiktion entwickelt, um die vorhandenen Messdaten mög-lichst effizient nutzen zu können. Die Daten werden mit Hilfe eines Modells auf spezifische Einsätze, Bedingungen und Maschinenklassen übertragen. Zudem besteht die Möglichkeit, im Modell vorhandene Komponenten des Fahrantriebs zu substituieren oder anzupassen, um die Auswirkung auf die Kraftstoffeffizienz und Lebensdauer zu beurteilen [64; 65].

Fahrdynamische Eigenschaften sind auch bei Mähdreschern ein relevantes Untersuchungs-gebiet. Am Beispiel des doppelten Spurwechsels konnte die Modellgüte einer Simulation mit Praxisversuchen verglichen werden. Die Modellierung und Parametrierung der besonders großvolumigen Reifen stellt bei der Simulation eine große Herausforderung dar [66].

Zur Berechnung zeitbezogener Kraftstoffverbräuche für Mähdrescher unterschiedlicher Bauart und Leistungsklassen wurde ein Simulationsmodell entwickelt, um mit ihm Kraftstoffeinspar-potentiale zukünftiger Technologien zu untersuchen. Die Parametrierung erfolgt exemplarisch am Beispiel eines Hybridmähdreschers der Leistungsklasse 300 kW. Die Validierung zeigt für den untersuchten Einsatzfall eine gute Übereinstimmung von Kraftstoffverbrauch und Motor-leistung zwischen Messung und Simulation [67].

Erntelogistik

Bei der Getreideernte muss zwischen einer höheren Kampagnenleistung oder geringeren Kör-nerverlusten abgewogen werden. Dabei dürfen allerdings die Folgekosten durch das Ausfall-getreide nicht unberücksichtigt bleiben [68]. Zur Berechnung der Effizienz des Mähdrescher-einsatzes wird eine Methode zur Erfassung der Nebenzeiten und der Ausnutzung der Schneid-werksbreite vorgestellt. Sie basiert auf den Daten von GPS und der Ertragsmessung [69].

Für die Bewertung unterschiedlicher Maschinenkonzepte für die Getreideernte wird eine mo-dulare Struktur vorgestellt, mit der unterschiedliche Maschinenketten konfiguriert werden kön-nen [70]. Vielfältige Einflüsse auf die optimale Wegplanung im Feld müssen für die Ernte be-rücksichtigt werden. Neben festen Hindernissen beeinflussen sich auch mehrere Maschinen im Feld gegenseitig [71]. Die Analyse unterschiedlicher Prozessketten bei der Getreideernte in unterschiedlichen Betrieben in Bayern, Ostdeutschland und in Kanada zeigt wieder, dass rechteckige Felder vorteilhaft sind und durch Abtanken im Stand bis zu 15 % der Druschzeit verloren gehen [72]. Bei der Planung der Reisernte inklusive Transport konnte gezeigt werden,

dass eine Minimierung der Wartezeiten der Fahrer am Feldrand für den Abtransport von 12 bis 30 % möglich ist [73].

Automatisierung

Neben den im Markt eingeführten automatisierten Maschineneinstellungen werden vielfältige Untersuchungen zu autonomen Systemen und zu Sensoren durchgeführt. Für die Reisernte wurden zwei autonome und kooperierende Mähdrescher in einem Feld in Japan eingesetzt. Sicherheitseinrichtungen vermeiden Kollisionen und stellen sicher, dass das gesamte Feld abgeerntet wurde. Allerdings müssen die ersten Bahnen zur Vorbereitung des Einsatzes von einem Fahrer gefahren werden [74].

Viele Regelstrategien basieren auf den gesammelten Erfahrungen von geübten Fahrern und Experten. Mit den Möglichkeiten der Data-Mining-Techniken ist es möglich, weitergehendes Wissen aus aufgezeichneten Daten zu extrahieren. Dies wird am Beispiel eines Fuzzy-Reglers für die Fahrgeschwindigkeit eines Mähdreschers vorgestellt. Basierend auf den aufgezeichneten Daten zu den Drehzahlen von Einzugsschnecke, Schrägförderer und Dreschwerk sowie der dazugehörigen Fahrgeschwindigkeit und den Körnerverlusten wird mit Data-Mining Techniken der bestmögliche Kompromiss zwischen maximalem Durchsatz und geringen Verlusten ermittelt [75].

Zur Qualitätsbestimmung der geernteten Körner kann im Mähdrescher ein NIR-Sensor (Nahinfrarot) eingesetzt werden. Yang et al. beschäftigen sich mit der optimalen Probenpräsentation am Messkopf des Sensors [76]. Genauigkeitsuntersuchungen an einem Feuchtesensor im Mähdrescher zeigen auf, dass die Gutfeuchte mit einer Abweichung von 2 Prozent-Punkten bestimmt werden kann. In Kombination mit einer Fuzzy-Klassifikation der Messwerte seien diese ausreichend genau für eine Prozess-Regelung und eine Kapazitätsplanung für die Getreideernte [77]. Fallen Getreidekörner auf eine Stahlplatte, so kann anhand des akustischen Spektrums auf die Gutfeuchte geschlossen werden. Eingebaut in einen Reis-Mähdrescher konnte die sehr gute Korrelation des Frequenzspektrums mit der Gutfeuchte nachgewiesen werden [78]. Um die Auflösung und damit die Detektionsrate von Körnerverlustsensoren zu verbessern, wurde eine Prallplatte weiterentwickelt und optimiert. Bei einer Fläche von 60 cm² konnten 120 Körner/s mit einem Fehler von 2 % detektiert werden [79]. Ebenfalls wurde der Einfluss von Kornform, Kurzstrohlänge und Aufprallwinkel auf das Sensorsignal mit DEM-Simulation und im Experiment untersucht [80]. Zur Erfassung der Abscheidung über der Länge der Rotoren und des Siebes des Ideal-Mähdreschers werden mehrere kleine Prallplattensensoren eingesetzt [20]. Herlitzius et al. stellen die Kombination eines optischen Sensors für die Kornabscheidung und eines Heißfilmsensors für die Strömungsgeschwindigkeit unter dem Sieb der Reinigungsanlage vor [81].

Die Ertragsmessung ist relevant für die Ertragskartierung und auch für die Regelung der Mähdreschereinstellung. Der Einfluss unterschiedlicher Elevatorpaddel und der Seiten- und Längsneigung der Maschine auf zwei nachrüstbare Sensorsysteme, ein volumetrischer und ein Prallplatten-Sensor, wurde untersucht. Beide Systeme haben ihre jeweiligen Stärken und Schwächen. Bei guter Kalibrierung können sie mit einem Fehler von $\pm 5\%$ den Durchsatz mes-

sen [82]. Die Vorhersage des Ertrages auf 1 t/ha ist mit NIR-Messungen während der Vegetationsphase möglich [83; 84]. Die Messungen können auch drohnenbasiert durchgeführt werden [85]. Für die Verbesserung der Kalibrierung eines volumetrischen Durchsatzsensors wird ein Laborverfahren auf den Einsatz im Mähdrescher übertragen. Dabei wird das Hohlraumvolumen in einer Körnerschüttung bestimmt. Unter der Annahme, dass die Reindichte der Körner unabhängig von z.B. der Feuchte ist, kann dadurch die Genauigkeit verbessert werden [86]. Zur Anpassung von Ertragsmesssystemen an unterschiedliche Bedürfnisse und Maschinen wird eine Software für das Display vorgeschlagen, die speziell an die Bedürfnisse für koreanische Anwender angepasst sei [87].

Zusammenfassung

Auf dem Weg zur vollständigen Automatisierung des Mähdreschers werden von den Herstellern weiterentwickelte Einstellsysteme präsentiert. Auch in der Forschung wird an diesem Themenbereich gearbeitet. Die Institute präsentieren Arbeiten zu neuen Sensoren bis hin zu Big Data basierten Regelsystemen. Zum besseren Verständnis der Prozesse in den Dresch-, Trenn- und Reinigungseinrichtungen und zu deren schnelleren Entwicklung werden Simulationen auf Basis der Diskreten Element Methode DEM und der Strömungssimulation CFD eingesetzt.

Literatur

- [1] Kishida, Y. (H.): Special Issue: Agricultural Mechanization and Industry in Asia. AMA Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America 48 (2017) H. 2.
- [2] VDMA: Markdaten Deutschland, West-Europa, mündlich.
- [3] N.N.: US, Canada and Russia Ag Tractor and Combine Reports. URL - <https://www.aem.org/market-data/statistics/us-ag-tractor-and-combine-reports/>.
- [4] Rickatson, M.: Agricultural Language. iVT International 24 (2016) H. 3, S. 76–82.
- [5] Potthast, A. und Jeppe, E.: Iterative Entwicklungsschritte am Beispiel einer innovativen Bedienarmlehne. Land.Technik 2018 Leinfelden. In: Land.Technik 2018. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2018, S. 167–172.
- [6] N.N.: Deutz-Fahr: Bauerdrescher mit fünf Schüttlern. eilbote (2018) H. 43, S. 18.
- [7] Rademacher, T.: Immer mehr läuft automatisch. eilbote (2018) H. 10, S. 12–14.
- [8] Rademacher, T.: Trends zur Verfahrenstechnik der Druschfruchternte. URL - https://www.agritechnica.com/ru/presse-service/#!/news/trends-zur-verfahrenstechnik-der-druschfruchternte_59c9faf0 - Zugriff am: 04.02.2018.
- [9] Vöcking, H.; Heitmann, C. und Wilken, A.: Automatic Adjustments of Combine Harvesters. Land.Technik AgEng 2017, 11./11.11.2017 Hannover. In: Land.Technik AgEng 2017. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2017, S. 99–104.
- [10] Hermann, D.; Scholer, F.; Bilde, M. L.; Andersen, N. A. und Ravn, O.: Computer based Control of the Separation Process in a Combine Harvester. Land.Technik AgEng 2017, 11./11.11.2017 Hannover. In: Land.Technik AgEng 2017. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2017, S. 599–604.

- [11] N.N.: Der Fahrer wird weiter entlastet. DLG Mitteilungen (2017) H. 7, S. 62.
- [12] N.N.: John Deere: Neue Mähdrescher-Baureihe S700 vorgestellt. eilbote 65 (2017) H. 27.
- [13] Broholm, B. und Morrison, A.: Combine Harvester Concave Adjustment System. Independent adjustment of the concave inlet and outlet clearance. Land.Technik AgEng 2017, 11./11.11.2017 Hannover. In: Land.Technik AgEng 2017. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2017, S. 111–116.
- [14] N.N.: Neuer Tucano 560 Business mit APS Hybrid System. eilbote (2016) H. 32, S. 18.
- [15] N.N.: Intensive Modellpflege: Neue Lexion 600 Baureihe mit mehr Fahrerkomfort. eilbote (2016) H. 34, S. 18.
- [16] N.N.: John Deere: Neue Raupen und noch mehr Leistung. eilbote (2018) H. 29, S. 14–15.
- [17] N.N.: Deutz-Fahr: Gründliche Modellpflege. eilbote (2018) H. 17, S. 18–19.
- [18] Wilmer, H.: Deutz-Fahr C7206 TSB: Einfach, oder einfach gut? Profi (2019) H. 2, S. 30–35.
- [19] Bilde, M. L. und Revsbeck, T. T.: Optimized material flow and cleaning capacity with new return pan system in a combine harvester. Land.Technik AgEng 2017, 11./11.11.2017 Hannover. In: Land.Technik AgEng 2017. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2017, S. 105–110.
- [20] Butts, N.; Schleusner, B. und Bremer, M.: Material and Distribution Sensor (MAS) for Combine Material Flow. How to design and build a low-cost material sensor. Land.Technik AgEng 2017, 11./11.11.2017 Hannover. In: Land.Technik AgEng 2017. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2017, S. 591–598.
- [21] Preuße, T.: Größe ist nicht alles. DLG-Mitteilungen (2016) 18-21.
- [22] N.N.: AE 50 Awards 2017. Resource 24 (2017) H. 1, S. 4–16.
- [23] Hermann, D.; Scholer, F.; Bilde, M. L.; Andersen, N. A. und Ravn, O.: Design of Laboratory Environment for Development of Cleaning System Automation. Land.Technik AgEng 2017, 11./11.11.2017 Hannover. In: Land.Technik AgEng 2017. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2017, S. 485–490.
- [24] Xu, L. Z.; Hansen, A. C.; Li, Y. M.; Liang, Z. W. und Yu, L. J.: Numerical and Experimental Analysis of Airflow in a Multi-Duct Cleaning System for a Rice Combine Harvester. Transactions of the ASABE 59 (2016) H. 5, S. 1101–1110.
- [25] Myhan, R. und Jachimczyk, E.: Grain separation in a straw walker unit of a combine harvester: Process model. Biosystems Engineering 145 (2016), S. 93–107.
- [26] Kaliniewicz, Z.; Anders, A.; Markowski, P.; Jadwisieńczyk, K. und Rawa, T.: Influence of Cereal Seed Orientation on External Friction Coefficients. Transactions of the ASABE 59 (2016) H. 3, S. 1073–1081.
- [27] Chiputula, J. P.; Bucklin, R. A. und Blount, A. R.: Effect of Moisture Content on Coefficients of Friction between Triticale and Galvanized Steel. Applied Engineering in Agriculture 34 (2018) H. 3, S. 599–602.
-

- [28] Mouseviraad, M.; Tekeste, M. und Rosentrater, K.: Discrete Element Method (DEM) simulation of corn grain flow in commercial screw auger. 2016 ASABE International Meeting, July 17-20, 2016 Orlando, USA. In: 2016 ASABE International Meeting: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2016.
- [29] Ucgul, M.; Saunders, C. und Fielke, J.: The Effect of Discrete Element Particle Parameters on Angle of Repose and Soil-Tool Force Simulation Results. 2016 ASABE International Meeting, July 17-20, 2016 Orlando, USA. In: 2016 ASABE International Meeting: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2016.
- [30] Horabik, J.; Beczek, M.; Mazur, R.; Parafiniuk, P.; Ryżak, M. und Molenda, M.: Determination of the restitution coefficient of seeds and coefficients of visco-elastic Hertz contact models for DEM simulations. *Biosystems Engineering* 161 (2017), S. 106–119.
- [31] Ma, Z.; Li, Y.; Xu, L.; Chen, J.; Zhao, Z. und Tang, Z.: Dispersion and migration of agricultural particles in a variable-amplitude screen box based on the discrete element method. *Computers and Electronics in Agriculture* 142 (2017), S. 173–180.
- [32] Beckmann, K.; Pfürtner, J. und Böttinger, S.: Einfluss elliptischer Siebbewegungen auf die Arbeitsweise der Mähdrescherreinigungsanlage. *LANDTECHNIK – Agricultural Engineering* 72 (2017) H. 6, S. 266–279.
- [33] Korn, C. und Herlitzius, T.: Gekoppelte CFD-DEM-Simulation des Trennprozesses in Mähdrescherreinigungsanlagen. *LANDTECHNIK – Agricultural Engineering* 72 (2017) H. 5, S. 247–262.
- [34] Korn, C. und Herlitzius, T.: Coupled CFD-DEM simulation of separation process in combine harvester cleaning devices. *Land.Technik AgEng 2017*, 11./11.11.2017 Hannover. In: *Land.Technik AgEng 2017*. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2017.
- [35] Pfürtner, J.; Böttinger, S.; Schwarz, M. und Schürmann, L.: Simulation des Entmischungsprozesses von Korn und Kurzstroh, 22./23.11.2016 Köln. In: 74. Internationale Tagung Land.Technik 2016. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2016, S. 361–368.
- [36] Leblicq, T.; Smeets, B.; Ramon, H. und Saeys, W.: A discrete element approach for modelling the compression of crop stems. *Computers and Electronics in Agriculture* 123 (2016), S. 80–88.
- [37] Leblicq, T.; Smeets, B.; Vanmaercke, S.; Ramon, H. und Saeys, W.: A discrete element approach for modelling bendable crop stems. *Computers and Electronics in Agriculture* 124 (2016), S. 141–149.
- [38] Kovács, Á.; Jóri, I. J. und Kerényi, G.: A new discrete element model (DEM) for maize. *Land.Technik AgEng 2017*, 11./11.11.2017 Hannover. In: *Land.Technik AgEng 2017*. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2017, S. 211–218.
- [39] Sauer, A.: Assistenz und Regeltechniken: Welche Vor- und Nachteile sehen die Nutzer? *eilbote* (2016) H. 24, S. 8–11.
- [40] Göggerle, T.: Dreschen 4.0. *dlz agrarmagazin* (2017) H. 6, S. 72–75.
- [41] N.N.: Mähdrescher einstellen und mehr: 10 Apps für die Getreideernte. URL - <https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/maehdrescher-einstellen-mehr-10-apps-fuer-getreideernte-524656> - Zugriff am: 01.03.2019.
-

- [42] N.N.: AE 50 Awards 2016. Resource 23 (2016) H. 1, S. 4–18.
- [43] N.N.: AE 50 Awards 2018. Resource 25 (2018) H. 1, S. 4–17.
- [44] Rudolph, W.: Live-Report aus der Reinigung. eilbote (2018) H. 10, S. 10–11.
- [45] Rudolph, W.: Kompakternte: Gemeinsam ernten - getrennt nutzen. eilbote (2016) H. 10, S. 13–16.
- [46] Beckmann, K.; Pförtner, J. und Böttinger, S.: Untersuchung mechanischer Siebanregungen auf die Korn-Stroh-Trennung in der Mähdrescherreinigung, 22./23.11.2016 Köln. In: 74. Internationale Tagung Land.Technik 2016. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2016, S. 429–436.
- [47] Bernhard, J.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Optimierung der Korn-Stroh-Trennung am Hordenschüttler unter Verwendung alternativer Bahnkurven. Dissertation Universität Dresden. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 14, Nr. 144. Düsseldorf: VDI-Verlag 2015.
- [48] Du, Z.; Li, X.; Ma, L. und Hu, Y.: Design of air-stream impulse threshing device based on the law of grain arrangement. 2017 ASABE International Meeting, Spokane, July 16 - July 19, 2017 Spokane, USA. In: 2017 ASABE International Meeting Spokane. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2017.
- [49] Wan, X.; Liao, Q.; Xu, Y.; Yuan, J. und Li, H.: Design and Evaluation of Cyclone Separation Cleaning Devices Using a Conical Sieve for Rape Combine Harvesters. Applied Engineering in Agriculture 34 (2018) H. 4, S. 677–686.
- [50] N.N.: Ziegler-Harvesting: Raps- und Maiskompetenz. eilbote (2016) H. 11, S. 26–27.
- [51] N.N.: John-Deere-Mähdrescher bekommen Geringhoff-Vorsatz. URL - <https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/john-deere-maehdrescher-bekommen-geringhoff-vorsatz-524458> - Zugriff am: 11.02.2018.
- [52] Hanke, S.; Kemper, S.; Sümeling, F.; Thielke, L. und Frerichs, L.: Flexibel mit dem Kombi-Mulcher. eilbote (2015) H. 42, S. 8–10.
- [53] Karer, J.; Herter, F. und Lutz, W.: Beurteilung der Schnittqualität am Getreideschneidwerk, 22./23.11.2016 Köln. In: 74. Internationale Tagung Land.Technik 2016. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2016, S. 415–422.
- [54] Mumme, M.: Mähdrusch: Vor- und Nachteile des Draper-Schneidwerkes. URL - <https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/maehdrusch-nachteile-draper-schneidwerkes-528515> - Zugriff am: 04.02.2018.
- [55] Füchtling, C.; Wielenberg, A. und Beschorn, U.: Automatisierung und funktionelle Erweiterung des Bodenführungssystems eines Flex-Draper-Schneidwerkes. Land.Technik 2018 Leinfelden. In: Land.Technik 2018. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2018, S. 387–394.
- [56] Zhang, Z.; McHugh, A. D.; Li, H.; Ma, S.; Wang, Q.; He, J. und Zheng, K.: Global Overview of Research and Development of Crop Residue Management Machinery. Applied Engineering in Agriculture 33 (2017) H. 3, S. 329–344.
-

- [57] Fleschhut, M.; Hülsbergen, K.-J.; Thurner, S. und Eder, J.: Analyse verschiedener Ernteverfahren zur Maisstrohbergung. *LANDTECHNIK – Agricultural Engineering* 71 (2016) H. 6, S. 252–270.
- [58] Oyedeji, O. A.; Sokhansanj, S. und Webb, E.: Spatial Analysis of Stover Moisture Content During Harvest Season in the U.S. *Transactions of the ASABE* 60 (2017) H. 4, S. 1015–1023.
- [59] Lang, J. und Rademacher, T.: Kehrwoche auf dem Acker. *DLG Mitteilungen* (2017) H. 7, S. 58–59.
- [60] Guzzomi, A. L.; Ryan, M.; Saunders, C. und Walsh, M. J.: Reducing the Integrated Harrington Seed Destructor Power Requirements through Chaff Fraction Optimization. *Applied Engineering in Agriculture* 33 (2017) H. 5, S. 695–701.
- [61] Pantke, S.; Korn, C.; Herlitzius, T.; Leonhard, T. und Zürn, R.: Concept for Weed Seed Separation in Combine Harvesters. *Land.Technik AgEng 2017*, 11./11.11.2017 Hannover. In: *Land.Technik AgEng 2017*. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2017, S. 117–126.
- [62] Burbank, M.; Kortenjann, L. und Bühlmeier, R.: Entwicklung eines neuartigen Förder-systems im Einzugskanal für Hochleistungsmähdrescher, 22./23.11.2016 Köln. In: 74. Internationale Tagung *Land.Technik 2016*. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2016, S. 423–429.
- [63] Schmid, W.: Selbstfahrende Erntemaschine. Patentschrift WO 2016/023774 A1, 18.02.2016.
- [64] Häberle, S.; Böttinger, S. und Mutschler, S.: Komponentenlastkollektive im hydrostatischen Fahrtrieb von Mähdreschern. *ATZ Offhighway* 10 (2017) H. 2, S. 56–61.
- [65] Häberle, S.; Böttinger, S. und Mutschler, S.: Lastprädiktion für Mähdrescherfahr-triebe. Methode und Grenzen, 22./23.11.2016 Köln. In: 74. Internationale Tagung *Land.Technik 2016*. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2016, S. 317–324.
- [66] Bollwerk, L.: Herausforderungen bei der virtuellen Untersuchung der Fahrdynamikei-genschaften selbstfahrender Erntemaschinen, 22./23.11.2016 Köln. In: 74. Internatio-nale Tagung *Land.Technik 2016*. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2016, S. 275–282.
- [67] Meiners, A. und Böttinger, S.: Leistungsbedarf und Leistungsverteilung im Mähdre-scher. *Land.Technik 2018 Leinfelden*. In: *Land.Technik 2018*. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2018, S. 149–157.
- [68] Rademacher, T.: Mehr Verluste riskieren? *DLG Mitteilungen* (2017) H. 7, S. 60–61.
- [69] Layton, A. W.; Zhang, Y.; Krogmeier, J. V. und Buckmaster, D. R.: Determining Har-vesting Efficiency via Multiple Combine GPS Logs. 2017 ASABE International Meeting, Spokane, July 16 - July 19, 2017 Spokane, USA. In: 2017 ASABE International Meet-ing Spokane. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2017.
- [70] Peters, F.; Korte, H. und Bölling, R.: Modelling method for analyzing grain harvesting concepts. *Land.Technik AgEng 2017*, 11./11.11.2017 Hannover. In: *Land.Technik AgEng 2017*. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2017, S. 219–226.
-

- [71] Mederle, M. und Bernhardt, H.: Influencing Factors on Infield Path Planning of different Farm Types. 2017 ASABE International Meeting, Spokane, July 16 - July 19, 2017 Spokane, USA. In: 2017 ASABE International Meeting Spokane. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2017.
- [72] Mederle, M.; Gerl, M.; Heizinger, V. und Bernhardt, H.: Analyse von Prozesszeiten beim Mähdrösch unter Berücksichtigung unterschiedlicher Agrarstrukturen. VDI-MEG 20. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium, 01./02.03.2016 Hohenheim. In: VDI-MEG Kolloquium Landtechnik, Heft 41, Arbeitswissenschaften 2016, S. 29–38.
- [73] Busato, P. und Berruto, R.: Minimising manpower in rice harvesting and transportation operations. *Biosystems Engineering* 151 (2016), S. 435–445.
- [74] Iida, M.; Harada, S.; Sasaki, R.; Zhang, Y.; Asada, R.; Suguri, M. und Masuda, R.: Multi-Combine Robot System for Rice Harvesting Operation. 2017 ASABE International Meeting, Spokane, July 16 - July 19, 2017 Spokane, USA. In: 2017 ASABE International Meeting Spokane. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2017.
- [75] Chen, J.; Ning, X.; Li, Y.; Yang, G.; Wu, P. und Chen, S.: A Fuzzy Control Strategy for the Forward Speed of a Combine Harvester Based on KDD. *Applied Engineering in Agriculture* 33 (2017) H. 1, S. 15–22.
- [76] Yang, S.; Wu, Q.; Chang, H.; Li, Q. und Xu, H.: Effect of grain density to near infrared spectra and design of a laboratory evaluation system for combine harvester. 2017 ASABE International Meeting, Spokane, July 16 - July 19, 2017 Spokane, USA. In: 2017 ASABE International Meeting Spokane. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2017.
- [77] Risius, H.; Prochnow, A.; Ammon, C.; Mellmann, J. und Hoffmann, T.: Appropriateness of on-combine moisture measurement for the management of harvesting and postharvest operations and capacity planning in grain harvest. *Biosystems Engineering* 156 (2017), S. 120–135.
- [78] Shoji, K.: Estimating moisture content of paddy rice and wheat kernel on the combine using acoustic spectrum. 2017 ASABE International Meeting, Spokane, July 16 - July 19, 2017 Spokane, USA. In: 2017 ASABE International Meeting Spokane. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2017.
- [79] Liang, Z.; Li, Y.; Xu, L.; Zhao, Z. und Tang, Z.: Optimum design of an array structure for the grain loss sensor to upgrade its resolution for harvesting rice in a combine harvester. *Biosystems Engineering* 157 (2017), S. 24–34.
- [80] Liang, Z.; Li, Y.; Xu, L. und Zhao, Z.: Sensor for monitoring rice grain sieve losses in combine harvesters. *Biosystems Engineering* 147 (2016), S. 51–66.
- [81] Herlitzius, T.; Hübner, R., Günther, A. und Korn, C.: Sensor study to identify process characteristics of crop and air flow in a combine harvester. *Land.Technik AgEng 2017*, 11./11.11.2017 Hannover. In: *Land.Technik AgEng 2017*. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2017, S. 583–590.
-

- [82] Schuster, J. N.; Darr, M. J. und McNaul, R. P.: Performance benchmark of yield monitors for mechanical and environmental influences. 2017 ASABE International Meeting, Spokane, July 16 - July 19, 2017 Spokane, USA. In: 2017 ASABE International Meeting Spokane. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2017.
- [83] Bonfil, D. J.: Monitoring wheat fields by RapidScan: accuracy and limitations. Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA)2017 8 (2017) H. 02, S. 333–337.
- [84] Hackett, R.: Relating active optical sensor measurements to barley yield. Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA)2017 8 (2017) H. 02, S. 162–166.
- [85] Xia, L.; Zhang, R. R.; Chen, L. P.; Wen, Y.; Zhao, F. und Hou, J. J.: Retrieving wheat Biomass by using a hyper-spectral device on UAV. Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA)2017 8 (2017) H. 02, S. 833–836.
- [86] Berberich, J.; Tölle, R.; Schmidt, U.; Huth, M. und Feiffer, A.: Online determination of hectolitre mass during threshing by analyzing air-filled pore volume in grain fills. Land.Technik AgEng 2017, 11./11.11.2017 Hannover. In: Land.Technik AgEng 2017. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH 2017, S. 491–496.
- [87] Lee, K.-H.; Chung, S.-O.; Kim, Y.-J.; Lee, J.-S. und Kim, S.-K.: Software for Grain Yield Monitoring System Suitable to Korean Full-feed Combines User Console. 2016 ASABE International Meeting, July 17-20, 2016 Orlando, USA. In: 2016 ASABE International Meeting: American Society of Agricultural and Biological Engineers 2016.

Autorendaten

Prof. Dr.-Ing. Stefan Böttinger ist Leiter des Fachgebiets Grundlagen der Agrartechnik am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim in Stuttgart.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Böttinger, Stefan: Mähdrescher. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2018. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2019. S. 1-17

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-201901211149-1>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2018/chapter/maehdrescher.html>