

Mähdrescher – Quo Vadis?

Herausforderungen an die Entwicklung des Selbstfahrerkonzeptes

Prof. Dr.-Ing. habil. T. Herlitzius, TU Dresden, Lehrstuhl Agrarsystemtechnik;

Kurzfassung

Selbstfahrende Mähdrescher sind die Schlüsselmaschinen, die die Leistung in der Getreideernte bestimmen. Derzeit konzentriert sich die Entwicklung auf die Steigerung von Produktivität und Bedienkomfort sowie die Verbesserung der Energieeffizienz. Dabei wird das bekannte Konzept einer selbstfahrenden und auf die Aufgabe zugeschnittenen Arbeitsmaschine nicht grundlegend in Frage gestellt. In den letzten Jahrzehnten wurde die Entwicklung von Mähdreschern durch eine mit der Produktivität einhergehenden Steigerung von Größe, Gewicht und installierter Motorleistung charakterisiert. Die Anforderung zur weiteren Erhöhung der Verfahrensleistung innerhalb der gesetzlichen Beschränkungen und unter Realisierung bodenschonender Fahrwerke hat bestehende Maschinenkonzepte aber inzwischen an ihre Grenzen gebracht. Überproportional wachsender Aufwand zur Erhöhung der Leistungsdichte und Abscheideleistung im limitierten Bauraum erzeugt die Fragestellung nach alternativen Maschinenkonzepten. Aufgrund der geschichtlichen Evolution der Mechanisierung der Getreideernte und der Verfügbarkeit neuer Technologien scheint der Zeitpunkt erreicht, an dem man die Frage nach einer neuen Definition des Mähdreschers stellen sollte. Welche Konzepte den Getreideanbau in 20 Jahren bestimmen werden kann heute noch nicht mit Bestimmtheit gesagt werden. Auf jeden Fall werden sich Lösungen finden, die den wichtigsten Trends Automatisierung, Robotik, Energieeffizienz Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung in der Entwicklung mobiler Arbeitsmaschinen folgen.

Die aktuelle Situation

Der steigende Bedarf an Biomasseerzeugung zur Versorgung mit Nahrungsmitteln und zur energetischen Verwertung erfordert in Zukunft eine weitere Steigerung der Produktivität und Effizienz mobiler Landmaschinen. Die Notwendigkeit, weiter wachsende installierte Leistung in den von Straßenverkehrsordnung limitierten Bauräumen und Achslasten unterzubringen erfordern neue Lösungen. Die stärker ins Bewusstsein rückenden Aspekte der Bodenscho-

nung stehen im Gegensatz zum Trend zunehmender Einsatzgewichte beim Feldeinsatz, bei dem zusätzlich zum Straßentransport vergrößerte Korntankvolumina und höhere Massen der breiter werdenden Erntevorsätze das Problem verschärfen [1]. Bild 1 zeigt beispielhaft das Wachstum der produktivitätsbestimmenden Parameter an Mähdreschern.

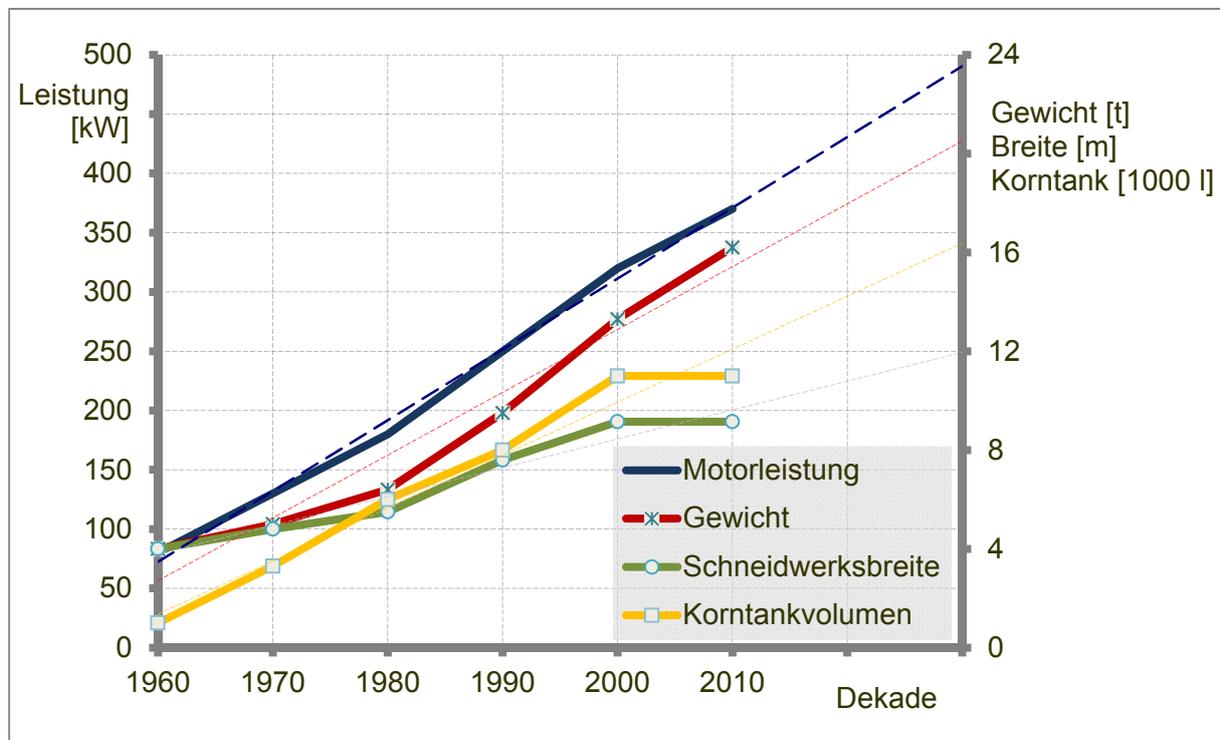


Bild 1: Beispiel des Wachstums von produktivitätsbestimmenden Parametern an selbstfahrenden Mähdreschern

Wenn man das Verhältnis von Leergewicht zur installierter Motorleistung des Mähdreschers betrachtet, dann erhält man einen Leistungsindex, der bei heutigen Modellen bei Werten von 43 bis 46 kg/kW stagniert, während er am Anfang der Selbstfahreperochepoche noch bei 50 kg/kW gelegen hat und zwischenzeitlich in den 80er Jahren sogar Werte unter 40 kg/kW erreicht hatte. Alleine daraus lässt sich schon erahnen, was es bedeutet, die zu erwartenden Leistungssteigerungen der nächsten 20 Jahre innerhalb der festgelegten Obergrenzen von Dimension und Eigengewicht zu realisieren. Die Tendenz der installierten Motorleistung bei Mähdreschern zeigt Bild 2. Für Maschinen mit der konventionellen Technologie mittels Schüttlerabscheidung ergibt sich ein Wachstum im Bereich von 5 kW/Jahr während axiale Rotormähdrescher auf Grund des höheren spezifischen Leistungsbedarfes des Separators in der Größenordnung von 8 kW/Jahr wachsen.

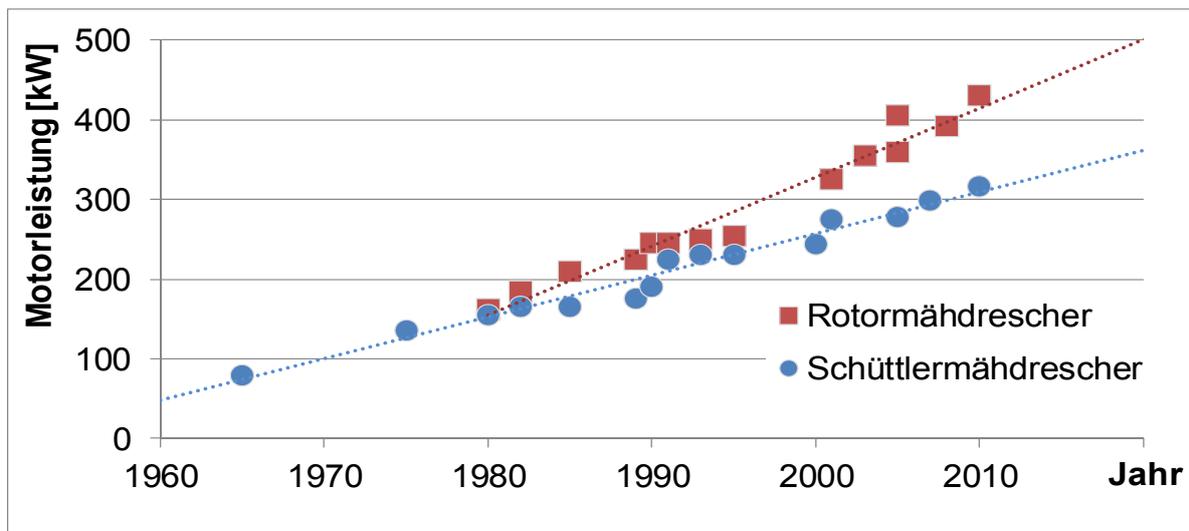


Bild 2: Wachstum der installierten Motorleistung bei selbstfahrenden Mähdreschern

Unter der Annahme, dass Maschinengewichte nicht mehr ansteigen dürfen, müsste der Leistungsindex auf Werte zwischen 35 und 40 kg/kW gedrückt werden – ein Wert, der mittels herkömmlicher Technologien und Materialien nicht möglich scheint. Produktplanung für Neu- und Weiterentwicklungen von Mähdreschern muss sich der Herausforderung stellen, wie Wirtschaftlichkeit und Effektivleistungen im gesamten Verfahren Getreideernte verbessert werden können. Die alleinige Erhöhung des technischen Leistungspotenzials ist nicht automatisch der wirtschaftlichste Weg. Die Methode, bestehende Maschinenkonzepte durch Vergrößerung der wirksamen Funktionsflächen und Arbeitsbreiten auf ein höheres Produktivitätsniveau zu skalieren, ist weitestgehend ausgereizt. Auf Grund des zu erwartenden überproportionalen Kostenanstieges durch den Mehraufwand, den man zur Steigerung der Leistungsdichte treiben muss, wird es vielmehr wichtiger, aller Teilschritte der Getreideernte auf ihre Effizienz zu überprüfen und auch soweit zu gehen, dass ganze Maschinenkonzepte in Frage gestellt werden dürfen, um mit der Umsetzung neuer Maschinenkonzepte den Bau- raum zu optimieren und die Energieeffizienz zu verbessern.

Rückblick

Wenn man etwas weiter zurückschaut und die Periode vor den selbstfahrenden Mähdrescher betrachtet, dann wird sichtbar, wie Konzeptwechsel in der Vergangenheit stattgefunden haben. Wie in Bild 3 zu sehen ist, zeigt die Geschichte eine kontinuierliche Evolution der Konzepte.

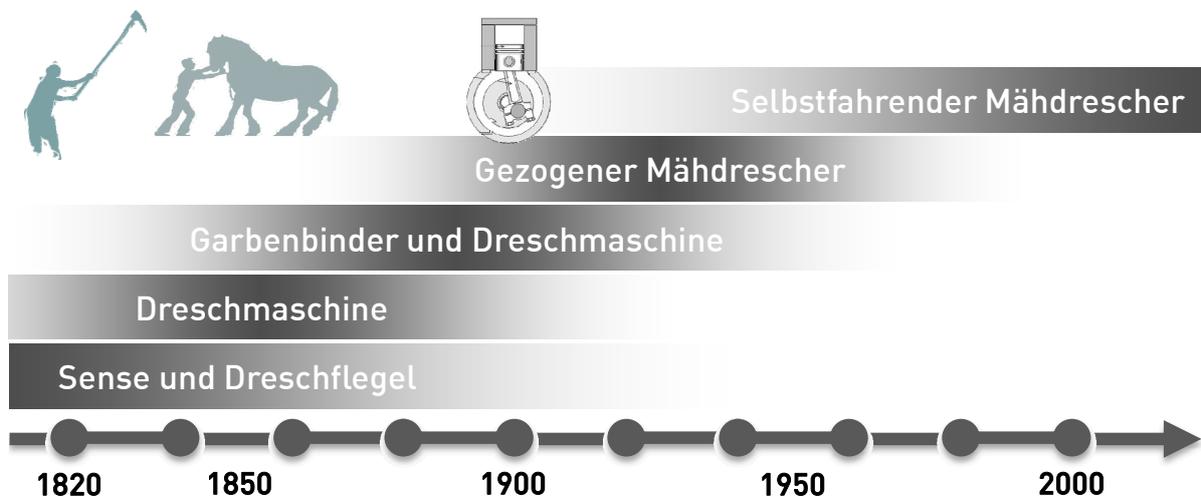


Bild 3: Entwicklung des Verfahrens der Getreideernte

Die Etappen in der Technologie der Getreideernte überlappen einander und zeigen den Zeitraum der größten Verbreitung etwa 50 Jahre bevor neue Konzepte in den Markt eintreten, um mit den gegenwärtigen Technologien zu konkurrieren. Allein schon aus diesem Grund kann man die Schlussfolgerung ziehen, dass sich das Konzept der selbstfahrenden Mähdrescher gegenwärtig auf seinem Höchstpunkt befindet und bald neue Alternativen sichtbar werden müssten.

Die Probleme werden größer, die Lösungen werden teurer

Wenn man die Tendenzen aus Bild 1 und Bild 2 in den Zeitraum bis 2030 linear fortschreibt, dann ergeben sich bei Steigerungsraten zwischen 32 % und 36 % technische Parameter wie in Tabelle 1 aufgezeigt. Diese Annahmen sind eher konservativ zu nennen, denn die Flagg-schiffe der großen Mähdrescherhersteller haben heute bereits die Durchschnittswerte von 2020 erreicht oder sind ihnen zumindest sehr nahe.

Tabelle 1: Entwicklungstrend der Hauptparameter von Spitzenmähdreschern extrapoliert [2]

	2010	2020	2030	$\frac{2030}{2010}$
Nennleistung Motor in kW	370	430	490	132 %
Gewicht in t	16,1	18,7	21,3	132 %
Schneidwerksbreite in Fuß	30	35	40	133 %
Korntankgröße in l	11 000	13 000	15 000	136 %

Problematisch ist, dass die Maß- und Gewichtsbeschränkungen für den Straßenverkehr

erreicht beziehungsweise überschritten sind. Trotz Breitreifen mit großer Aufstandsfläche haben die hohen Achslasten bei vollem Korntank und mit breiten Vorsätzen in vielen Fällen negative Auswirkungen auf die Bodenverdichtung und erhöhen besonders bei feuchten Bedingungen das Risiko einer verringerten Fruchtbarkeit des Bodens. Zukünftige Produktivität muss innerhalb der gleichen Abmessungen realisiert werden, was Entwicklungs- und Produktkosten auf Grund von aufwendiger Funktionsentwicklung, Anwendung von Leichtbau und zusätzlichen Achsen oder Gleisbandlaufwerken überproportional nach oben treiben wird. Es ist zu erwarten, dass dadurch neue Konzeptalternativen in Zukunft wirtschaftlich mit den heutigen Konzepten ernsthaft beginnen zu konkurrieren (Bild 4).

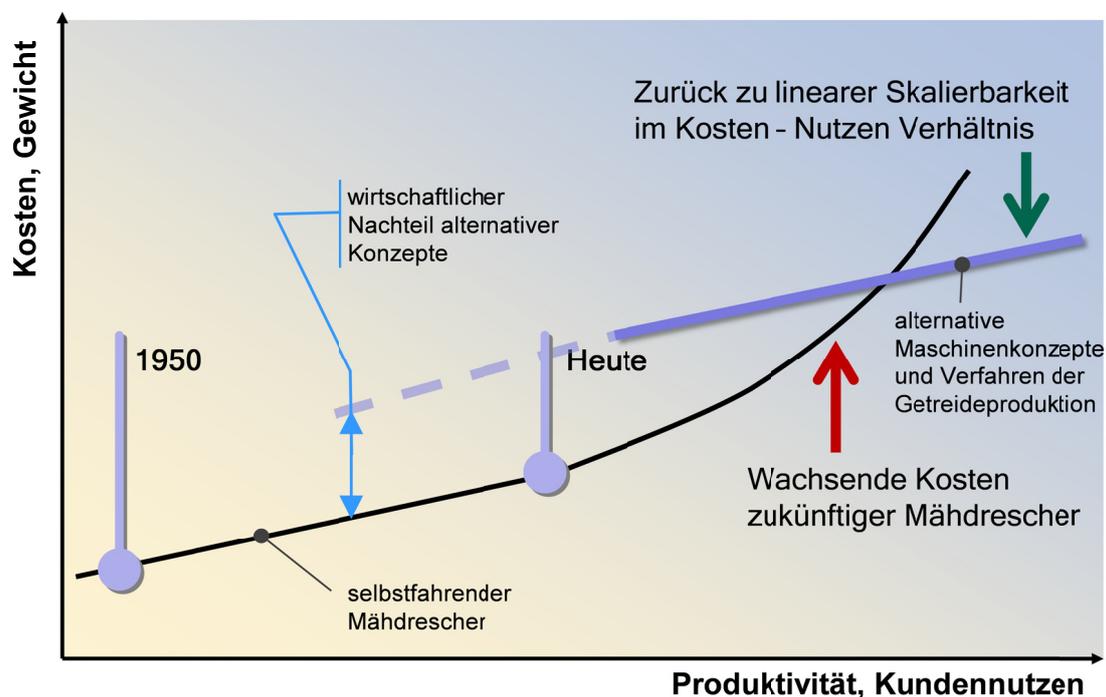


Bild 4 Erwartung einer zunehmenden Wettbewerbsfähigkeit alternativer Maschinenkonzepte und Verfahren der Getreideproduktion auf Grund wachsender Kosten

Neue Technologien ermöglichen neue Konzepte

Die Entwicklung von landwirtschaftlichen Maschinen und Prozessen ist von der wachsenden Implementierung von Informations- und Automatisierungstechnik und elektrischer Antriebstechnologie geprägt. Vergrößerung der Maschine und Betrag der installierten Motorleistung ist nicht mehr der herausragende und einzige Faktor der Produktivität. Satellitennavigation, Smart Farming, Telematik, Sensoren auf Basis der Bildverarbeitung oder elektrifizierte Antriebe sind nur einige Beispiele von Technologien, die den Zukunftstrend von teil- und voll-autonomen Arbeitsmaschinen unterstützen. Auf Grund der Vielfalt und des Wachstums der bestehenden Probleme, der geschichtlichen Evolution der Mechanisierung der Getreideernte

und der Verfügbarkeit neuer Technologien scheint der Zeitpunkt erreicht, an dem man die Frage nach einer neuen Definition des Mähdreschers stellen darf und sollte. Auch wenn eine Veränderung der heutigen Verfahrensabläufe noch nicht wirtschaftlich darstellbar ist, ist diese Fragestellung dennoch nicht verfrüht, da solche grundlegenden Änderungen einer langfristigen Planung der Entwicklungsphase und der Markteinführung bedürfen. Dazu sind Zeiträume von 10 bis 20 Jahren durchaus in Erwägung zu ziehen, was bedeutet, dass man damit nicht erst beginnen kann, wenn die ersten Erfolg versprechenden Teillösungen am Markt erscheinen. Das ist für die Marketing- und Produktplanungsabteilungen der Hersteller von Mähdreschern eine nie da gewesene Herausforderung. Zu den Zeiten des Eintretens der Selbstfahrerkonzepte in die Märkte operierten die agierenden Firmen noch nicht global und hatten keine weltweite Fertigungsorganisation mit der entsprechenden Verknüpfung der Lieferantketten. Es gibt in der Geschichte der Technikentwicklung einige Beispiele von Firmen, die durch anhaltendes Ignorieren globaler Markttrends in die Bedeutungslosigkeit abgerutscht sind.

Anforderungen und Lösungsansätze der Zukunft

Produktivität:

Die bis 2050 auf neun Milliarden anwachsende Weltbevölkerung verlangt eine stetig wachsende Produktion an Lebensmitteln und Futtermitteln, was eine weitere Ertragssteigerung bei der Erzeugung von landwirtschaftlichen Rohstoffen bei nur noch gering wachsender Nutzfläche erfordert. Gegenwärtig wird die alte und neu bestehende Forderung nach Produktivität mit immer größer werdenden Landmaschinen beantwortet, was bei der Erntemaschine Mähdrescher besonders offensichtlich geworden ist. Doch nicht nur die technische Leistung eines Mähdreschers bestimmt dessen Effizienz, sondern auch die Druscheignung des aktuell zu erntenden Bestandes in Verbindung mit der Arbeitsorganisation [3]. Derzeit schöpfen Mähdrescher nur noch weniger als 50 % ihres Leistungspotenzials aus [4]. Alleine daraus ergibt sich die dringende Fragestellung, wie die Effizienz der Mähdrescher selbst und innerhalb des Verfahrens erhöht werden kann.

Automatisierung der Maschineneinstellung:

Die Einstellung der Dresch- und Abscheideorgane dient der Anpassung der Maschine an die Fruchtart und die jeweiligen Bedingungen und ist in voller Verantwortung des Maschinenbedieners, der zunehmend von der Komplexität der Prozessvariablen und deren ökonomischen Auswirkungen überfordert ist. Einige Hersteller haben begonnen erste Einstellassistenten zur

Unterstützung der lokalen Optimierung im Markt einzuführen und weitere Realisierungsstufen, bei denen der Bediener weiter entlastet wird, wurden gerade vorgestellt [5]. Es ist zu erwarten, dass die Regelkreise zur Maschineneinstellung bald geschlossen werden, so dass der Bediener dem System nur die Parameter seiner Optimierungsstrategie in Form der Priorität von Durchsatz, Verlusten, Bruchkorn und Reinheit übermitteln muss und die implementierte Logik selbsttätig alle Maschineneinstellungen entsprechend des aktuellen Ernteprozesses in Echtzeit vornehmen kann und auf Basis der Kenntnis der Maschinenkonfiguration zusätzlich Maßnahmen zur Konfigurationsänderungen vorschlägt. Eine wichtige und heute noch nicht voll erfüllte Voraussetzung ist die Existenz von Sensoren, die Qualität und Ergebnis des Abscheideprozesses messbar machen. Es ist zu bezweifeln, dass die Genauigkeit der bekannten Verlustsensoren eine ausreichend hohe Dynamik und Regelgüte automatischer Maschineneinstellung und Fahrgeschwindigkeitsanpassung zulässt, ganz zu schweigen von Sensorik für Strohfeuchte, Bruchkorn und Reinheit, die bisher noch nicht erfolgreich im Markt etabliert werden konnte. Deshalb ist zu erwarten, dass verstärkt neue und verbesserte Prozesssensorik einschließlich vorausschauender Sensorik zur Biomasseerkennung entwickelt wird.

Fahrwerke:

Abmaße und Maschinengewichte sind hier die begrenzenden Faktoren für Feld und Straße geworden. Mähdrescher besitzen nach wie vor zwei Achsen mit signifikanten Unterschieden in der Achslast. Reifen begrenzen mit 120 kN Tragkraft nicht nur die Achslasten, sondern haben auch die Grenze der schädlichen Bodenverdichtung überschritten [6]. Auch Gleisbänder erreichen bei weiterer geplanter Laststeigerung auf 240 kN Achslast ähnliche schädliche Drücke im Boden wie heutige Breitreifen [7]. Zusätzliche Achsen werden hier eine kostengünstigere Alternative zum Gleisband bilden und die Lücke zwischen Gleisband und heutigen zweiachsigen Radfahrwerken schließen. Tandemfahrwerke können am Mähdrescher das Problem der Lastkonzentration durch Korntank und Vorsatzgewicht über der Frontachse innerhalb gegebener Transportbreiten und Kontaktflächendrücke ähnlich gut wie Gleisbänder adressieren. Ihr Vorteil gegenüber dem Gleisband besteht vor allem in den geringeren Kosten und dem geringerem Verschleiß.

Strohhäcksler:

Steigende Schneidwerksbreiten führen die konventionellen Häckselsysteme mit horizontalem Rotor und passiven Verteilelementen an die Leistungsgrenze. Verbleiben die Erntereste nach dem Drusch auf dem Feld, so spielt die Häcksel- und Verteilqualität für alle nachfol-

genden Bearbeitungsgänge, darunter Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz eine wichtige Rolle. Heutige Systeme mit quer zur Fahrtrichtung horizontal ausgerichtetem Rotor und passiven Verteilorganen gelangen bei 9 m Arbeitsbreite an ihre technisch-physikalischen Leistungsgrenzen. Durch nachgeordnete aktive Verteilorgane (Radialverteiler) kann die Wurfweite gesteigert werden, was mit höherem Leistungsbedarf und zusätzlichen Anschaffungskosten verbunden ist. [8]. Neue Häcksler- und Verteilkonzepte werden entstehen, um insbesondere die Verteilaufgaben weniger aufwändig und energetisch günstiger für Schneidwerksbreiten jenseits der zehn Meter in allen Bedingungen lösen zu können.

Leichtbau:

Mittel- bzw. langfristig sind Lösungen zu erwarten, die ein Verringern des Leistungsgewichtes (kg/kW) bewirken, wenn das bestehende Maschinenkonzept beibehalten werden soll. Im Rahmen von Leichtbaumaßnahmen zur Gewichtsreduzierung von Maschinen ist neben dem Strukturleichtbau die Werkstoffauswahl ein bedeutendes Kriterium. Hierbei wird vereinfacht zwischen metallischen Werkstoffen (hochfeste Stähle, Aluminium, Magnesium) und Faserverbundwerkstoffen unterschieden. Aus heutiger Sicht sprechen die Kosten für das Material und den hohen manuellen Arbeitsaufwand deutlich gegen den Einsatz von Faserverbundwerkstoffen. Wenn sich aber die Gewichtsproblematik nicht mit metallischen Leichtbauwerkstoffen lösen lässt, dann werden Faserverbundwerkstoffe, nicht nur wie heute im Styling, sondern zukünftig auch in den Struktur- und Funktionsbaugruppen zu finden sein.

Verfahrensgestaltung und Maschinenkonzepte:

Innerhalb des Automatisierungstrends kommt der teilflächenspezifischen Bearbeitung und der Optimierung der Transportaufgaben und Einsatzplanung eine steigende Bedeutung zu. Künftig werden pflanzenbauliche Zusammenhänge bei der Entwicklung technischer Lösungen besser berücksichtigt, um dem Landwirt belastbare Entscheidungshilfen zu geben [9]. Mit Hilfe der drahtlosen und selbstorganisierenden Kommunikation zwischen Erntemaschinen, Transportfahrzeugen und dem Hofrechner oder Internet Servern sind in Zukunft viel mehr betriebsrelevante Daten zur Dokumentation und operativen Einsatzleitung verfügbar [10]. Ein erster Anfang wird durch die verfügbaren Telematiksysteme dargestellt. NIR - Sensorik auf den Mähdreschern werden der Bestimmung der Inhaltsstoffe dienen und mittels gezielter Bestandsführung während der gesamten Vegetationsphase kann eine leistungssteigernde Vergleichmäßigung von Ertrag und Reifegrad erreicht werden [3].

Da Maschinenverfügbarkeit einen höheren Wert erlangt, ist zu erwarten, dass Systeme zur Ferndiagnose und zur Wartungsvorhersage auf der Basis von Belastungsakkumulation und Maschinenüberwachung angeboten werden und sich angemessen amortisieren.

Welche Konzepte den Getreideanbau in 20 Jahren bestimmen werden kann heute noch nicht mit Bestimmtheit gesagt werden. Es ist durchaus berechtigt auch bekannte Ideen wieder auszugraben und neu auf ihre Machbarkeit zu überprüfen. Die zusätzliche Ernte von Nichtkornbestandteilen zur energetischen und stofflichen Verwertung und zur chemiefreien Unkrautbekämpfung wird an Bedeutung gewinnen und den Mähdrescher zumindest in Teilen verändern [11]. Auf Grund der Möglichkeiten, die durch Precision Farming zur verbesserten Bestandsführung nutzbar sind, kommt der Hochschnitt wieder in das Gespräch, da hier ohne großen Aufwand ein erheblicher Leistungssprung bei gleichzeitiger Senkung des Energieeinsatzes möglich ist. Letztendlich stellt sich auch die Frage, ob das alles ausreicht, um den Anforderungen der Zukunft zu genügen oder ob stattdessen der selbstfahrende Mähdrescher in seiner heutigen Form nicht mehr lange die Hauptrolle spielt und schrittweise durch autonom arbeitende Schwärme kleinerer Maschinen, Master-Slave Konfigurationen oder sogar von der funktionellen Trennung von Ernten und Kornabscheidung in verschiedenen Maschinen abgelöst wird.

Literaturverzeichnis

- [1] S. Böttinger, „Mähdrescher,“ in *Jahrbuch Agrartechnik*, Bd. 22, Harms, Hrsg., DLG Verlag, 2012, pp. 137-145.
- [2] T. Herlitzius, „Concept Study of a Self Propelled Harvester versus a Modular System,“ in *69. Internationale Tagung Landtechnik 2011*, Hannover, 2011.
- [3] A. Feiffer, Druscheignung als zentrale Führungsgröße im Erntemanagement, Berlin: Dissertation, Humboldt Universität Berlin, 2009.
- [4] E. Nacke, Mähdrescher – Arbeits- und Reparaturkosten, Rendsburg-Oberrönfeld: RKL-Schriftenreihe, Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft, 2006, pp. S. 729-742.
- [5] C. Heitmann, „Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu einer auf CEMOS Automatik basierenden Optimierung eines Mähdreschers,“ in *VDI_MEG Tagung Landtechnik*, Karlsruhe, 2012.
- [6] H. Döll, „Potenzial der Effizienzgestaltung bei Traktoren durch neue Elemente der Fahrwerksgestaltung,“ in *68. Internationale Tagung Landtechnik 2010, VDI-Berichte Nr. 2111*, Düsseldorf VDI-Verlag GmbH, 2010.
- [7] H. Döll, „Mehr Achsen- ein Mittel zur Verringerung der Bodenbelastung und Verbesserung der Zugkrafteffizienz,“ in *2nd Commercial Vehicle Technology Symposium*, Kaiserslautern, 2012.
- [8] C. Korn, „Entwicklung eines Mähdrescherstrohhäckslers für große Arbeitsbreiten,“ *Landtechnik*, pp. 418 - 423, 1 2012.
- [9] W. Griepentrog, „Eine neue Erfolgsformel?,“ *DLG Mitteilungen*, Nr. 9, pp. 12-16, 2011.
- [10] C. Rusch, „Untersuchung der Datensicherheit selbstkonfigurierender Funknetzwerke im Bereich von mobilen Arbeitsmaschinen am Beispiel der Prozessdokumentation,“ Dissertation, TU Berlin, 2010.
- [11] J. Rumpler, „Mähdrescher ohne Reinigung?,“ *Lohnunternehmen*, Nr. 2, pp. 46-49, 2012.