



Druschfruchternte zukünftig nur noch mit Expertensystemen?



Prof. Dr. Thomas Rademacher

Druschfruchternte – zukünftig nur noch mit Expertensystemen?

RKL-Tagung 2010

Prof. Dr. agr. Thomas Rademacher, Fachhochschule Bingen, Fachbereich 1, Agrarwirtschaft, Berlinstraße 109, 55411 Bingen Budesheim, Tel.: 06721/409177, Email: rademacher@FH-Bingen.de

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)

Prof. Dr. Yves Reckleben

Am Kamp 15-17, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-708110, Fax: 04331-7081120

Internet: www.rkl-info.de; Email: mail@rkl-info.de

Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Was ist das RKL?

Das Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft ist ein bundesweit tätiges Beratungsunternehmen mit dem Ziel, Erfahrungen zu allen Fragen der Rationalisierung in der Landwirtschaft zu vermitteln. Dazu gibt das RKL Schriften heraus, die sich mit jeweils einem Schwerpunktthema befassen. In vertraulichen Rundschreiben werden Tipps und Erfahrungen von Praktikern weitergegeben. Auf Anforderung werden auch einzelbetriebliche Beratungen durchgeführt. Dem RKL sind fast 1400 Betriebe aus dem ganzen Bundesgebiet angeschlossen.

Wer mehr will als andere, muss zuerst mehr wissen. Das RKL gibt Ihnen wichtige Anregungen und Informationen.

Gliederung	Seite
1. Einleitung	799
2. Dresch- und Trennsysteme 2010/2011	800
3. Aspekte zu ausgewählten Arbeitsqualitätskriterien	806
4. Sensorik zur Bewertung der Arbeitsqualität	812
5. Einstellassistenzsystem CEMOS	814
6. Perspektiven bei Informationssystemen	825
7. Zusammenfassung	828
8. Literatur	830

1. Einleitung

Die Angebotsvielfalt bei Dresch- und Trennsystemen und sonstiger Ausstattung von Mähdreschern, vor allem mit Informationssystemen und neu entwickelten elektronischen Hilfsmitteln wird zur kommenden Saison und darüber hinaus weiter zunehmen. Diesbezüglich hat die Agritechnica 2009 eindeutige Entwicklungstendenzen aufgezeigt [1]. Neben John Deere wird auch AGCO ab 2011 [2] als drittes Druschsystem das Hybridsystem anbieten. Und Deutz-Fahr wird einen aus Argentinien stammenden Axial-Mähdrescher mit einem Rotor anbieten. Damit haben nun alle weltweit vermarktenden Hersteller neben den bekannten Schüttlermaschinen mindestens ein Rotordreschsystem im Programm.

Mit dieser Angebotsvielfalt ist nun endgültig ein Wettbewerb der Druschsysteme eingeleitet. Allein die Angebotsvielfalt ist der beste Beweis für das Vorhandensein verschiedener systembedingter Vor- und Nachteile der jeweiligen Dresch- und Abscheidesysteme. Somit muss sich der Kunde Landwirt oder Lohnunternehmer nicht nur für eine Marke oder einen Typ, sondern vorrangig für ein Druschsystem entscheiden, was die Kaufentscheidung eindeutig erschwert. Denn die Marketingabteilungen der Hersteller heben selbstverständlich vor allem die Vorteile in den Vordergrund.

Einen Mähdrescher ohne elektronische Regeltechnik und Informationssystem zu kaufen, wäre ein Effizienzrückschritt in die 70er Jahre, auch wenn der eine oder andere Fahrer die Elektronisierung als zu umfangreich ansieht. Denn vor allem bei Großmähdreschern gehören Regel- und Informationstechniken wie die Vorsatzführung oder der Lenkautomat sowie die Ertragskartierung und der Datenausdruck mittlerweile zur Selbstverständlichkeit und sind somit essenziell. Ähnlich wie im Automobilbereich bei Audiosystemen besteht heute die Betriebsanleitung eines Mähdre-

schers zu einem Großteil aus Hinweisen zur Bedienung des Informationssystems [3, 4, 5, 6]. Darüber hinaus nehmen die Anforderungen an den Fahrer bei der Einstelloptimierung immer mehr zu. Denn einerseits nehmen die Ansprüche an die Arbeitsleistung und die Arbeitsqualität zu und andererseits bauen die Hersteller immer mehr Einstellmöglichkeiten in ihre Mähdrescher ein, so dass die meisten Fahrer oft mit der Maschineneinstellung überfordert sind. Und die Grundeinstellungen des Herstellers sind zwar sogenannte mittlere Einstellwerte, sie stimmen aber eben nicht für alle Ern-tebedingungen, vor allem nicht für extreme.

Daher liegt es nahe, dass die Mähdrescherhersteller mit Hilfe von Sensorik und in der kommenden Saison auch mit einem Einstellassistenzsystem den Fahrer von Einstellaufgaben entlasten. Das maschinengestützte Einstellassistenzsystem leitet eine neue Ära bei den Informationssystemen ein [1], da diese Art der Einstelloptimierung bisher unbekannt war. Eine externe Einstellberatung wird somit zukünftig nicht mehr erforderlich sein.

Ziel dieser RKL-Schrift ist es, Hilfestellungen bei der Beurteilung verschiedener Druschsysteme und bei ausgewählten Arbeitsqualitätskriterien, speziell dem Bruch-kornanteil zu geben. Darüber hinaus soll anhand von Untersuchungen der FH-Bingen die Frage beantwortet werden, ob Mähdrescher zukünftig vermehrt mit ma-schinengestützten Assistenzsystemen ausgerüstet werden.

2. Dresch- und Trennsysteme 2010/2011

Eine Übersicht über die derzeit und ab 2010/2011 angebotenen Dresch- und Trennsysteme gibt Abb. 1. Dargestellt sind die verschiedenen Druschsysteme von Tangential-Schüttler- über Tangential-Rotor- (auch als Hybridsystem bezeichnet) bis zum Axialrotor-Mähdrescher (auch als Rotor-Mähdrescher bezeichnet, obwohl Hybrid-Mähdrescher auch Rotor-Mähdrescher sind) mit einem rechtsdrehenden Rotor bzw. zwei gegenläufig drehenden Rotoren.

Schüttlermaschinen werden von allen Herstellern bis auf CASE mit konventionellem Dreschwerk angeboten. Sie sind einfach zu bedienen, jedoch ist ihre Leistungsfähigkeit vor allem unter schwierigen Ern-tebedingungen mit hohen Stroherträgen und feuchtem Stroh begrenzt. Daher bieten alle Hersteller diese in vielen Komponenten baugleichen Mähdrescher mit einem zweiten Abscheiderotor an – Beschleuniger o-der Zentrifugalabscheider.

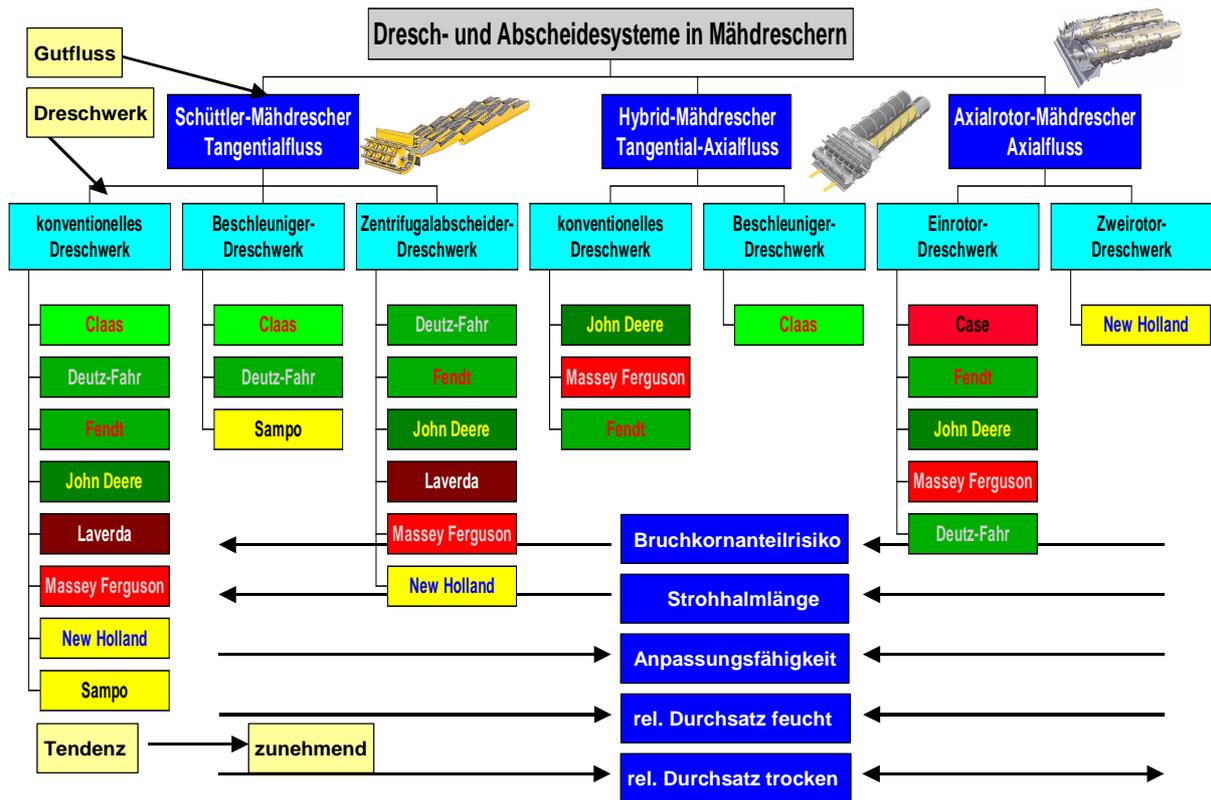


Abb. 1: Dresch- und Trennsysteme in aktuell und zukünftig angebotenen Mähdreschern sowie Tendenzen bezüglich ausgewählter Bewertungskriterien [nach 7]

Der Zentrifugalabscheider ist die ältere Variante. Er soll Restkörner aus dem Stroh abscheiden, um die Schüttler zu entlasten. Seit 2007 baut auch John Deere diesen Rotor mit 66 cm Durchmesser in die Mähdrescher der T-Baureihe ein. Allerdings wird dieser Rotor von oben statt von schräg vorne beschickt, was einen höheren Korbumschlingungswinkel und eine geringere Strohbeschädigung zur Folge hat. Die Maschinen zeigen auch unter schwierigen Erntebedingungen stabile Durchsätze.

Der klassische Zentrifugalabscheider nach dem ursprünglichen New Holland-Prinzip wird von AGCO (Fendt, MF), Deutz-Fahr, Laverda und natürlich New Holland verbaut. Der Durchmesser beträgt entweder 50 cm (MF, Fendt), 59 cm (Deutz-Fahr, New Holland), 60 cm (Laverda, Fendt, MF) und 72 cm (New Holland). Alle Hersteller bieten zwei Drehzahlen sowie unterschiedliche Korbspaltweiten, oder Korbstellungen bzw. Rotorpositionen an. Dies ermöglicht Anpassungen an die Strohbeschaffenheit. Bei trockenem Stroh und bei Raps wird die Korbspaltweite erhöht bzw. werden die Körbe weggeschwenkt (Laverda, MF, Fendt). Und bei Mais wird zusätzlich die Drehzahl reduziert.

Das Beschleuniger-Dreschwerk wird nur von Claas und Sampo verbaut. Die Sampo-Mähdrescher werden teilweise auch von Deutz-Fahr vermarktet. Der Beschleuniger

beschleunigt das Erntegut, drischt ein wenig vor, scheidet am Vorkorb Korn ab und führt es im stets gleichen Winkel zum nach vorne verlängerten Dreschkorb. Dies erhöht die Kornabscheidung am Dreschkorb, wodurch wiederum die Schüttler entlastet werden. Aufgrund der völlig unterschiedlichen Aufgaben von Zentrifugalabscheider und Beschleuniger lassen die technischen Daten wie Korbabscheideflächen keinen Rückschluss auf die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Systeme zu. Diesbezügliche Differenzen lassen sich nur im direkten Feldvergleich erfassen. Für die Einstellung von Beschleuniger-Dreschwerken sind keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich, weil Drehzahl und Korbspaltweite des Beschleunigers mit dem Dreschwerk synchronisiert sind.

Hybrid-Mähdrescher werden ab 2011 auch von AGCO (Fendt/MF) vermarktet. Wie auf der Agritechnica am Modell deutlich erkennbar, wurde das Zentrifugalabscheider-Dreschwerk der in Randers (DK) gebauten Schüttlermaschine verändert. Der Zentrifugalabscheider wurde zu einer Teil-Leittrommel umfunktioniert. Diese teilt den Gutstrom und beschickt die beiden Axial-Zinkenabscheiderrotoren von schräg vorne. Die Mähdrescher auf Basis „6 Schüttler“ (Dreschwerkbreite 1,68 m) werden mit einer Motorleistung von 347 kW (466 PS) als MF Delta und Fendt 9460 X versehen und sollen zur Ernte 2011 [2] verfügbar sein.

Die Mähdrescher der C-Baureihe von John Deere zeichnen sich durch die Beschilderung der Rotoren von oben aus. Das Dreschwerk mit der Abkämmwalze und der gegenläufig rotierenden Leittrommel ist bis auf die Teilleisten der Leittrommel baugleich mit den Dreschwerken der T-Baureihe „5 Schüttler“ und somit 1,4 m breit [11].

Mit neuerdings 4 Typen setzt Claas im Rotor-Mähdrescherbereich nach wie vor vollständig auf das Hybridsystem. Die beiden Großmaschinen Lexion 600 und 580 bauen mit einer Trommelbreite von 1,7 m auf den 6 Schüttler-Lexion-Mähdreschern auf und der Lexion 570 auf Basis „5 Schüttler“. Neu ist der Tucano 480 mit einem Rotor anstelle von sechs Schüttlern und einem Beschleuniger-Dreschwerk (zwei 45er Trommeln) mit einer Dreschwerkbreite von 1,58 m [8]. Damit setzt Claas auch im Leistungssegment „obere Schüttlerklasse“ auf das Hybrid-System mit flach verlaufender Verlustkennlinie und höherer Druschleistung als bei den Schüttlermaschinen mit vielen baugleichen Komponenten.

Das Beschleuniger-Dreschwerk wird auch von Sampo mit 50er Dreschtrommel und 40er Beschleuniger bis zu einer Trommelbreite von 1,33 m gebaut. Die Maschinen mit einer Trommelbreite von 1,11 m werden auch von Deutz-Fahr als 54er Baureihe, auch mit konventionellem Dreschwerk vermarktet [9].

Ausschließlich Axialfluss-Mähdrescher mit einem Rotor vermarktet Case IH. Mit insgesamt 6 Typen (88er und 20er Baureihe) und zwei verschiedenen Rotoren, die sich nur im Durchmesser des Rohres unterscheiden. Die wesentlichen Unterschiede zwischen den Maschinen bestehen in den Motorleistungen, Korntankvolumina und Ausstattungen wie Fahrwerk und Häcksler [3, 25]. Die 20er Baureihe basiert auf den CR/CX Modellen von New Holland mit einer Reinigungsbreite von 1,3 m auf Basis „5-„ und 1,56 m auf Basis „6 Schüttler“.

AGCO vermarktet den MF Fortia sowie den baugleichen Fendt 9460 R mit ebenfalls einem Rotor dem das Erntegut von einem großen Leitrotor von unten zugeführt wird. Fendt deklariert im Prospekt auch die beiden kleineren Modelle 9300 und 9350 mit einem Rotordurchmesser von 70 statt 80 cm. Der Gutfluss in diesen Mähdreschern ist identisch mit dem des früheren White 9700 [2, 12, 23].

Deutz-Fahr stellte auf der Agritechnica den Axial-Einrotor-Mähdrescher 7545 RTS vor. Die Ursprungsmaschine stammt vom argentinischen Hersteller Vassalli und ist vergleichsweise stabil gebaut. Der Rotor wird wie bei den AGCO-Axialmaschinen hydraulisch angetrieben. Dies ermöglicht ein Reversieren. Der 7545 RTS ist mit einem Deutz-Motor mit einer Leistung von 331 kW (450 PS) ausgestattet und soll auch als 7535 RTS mit 269 kW (366 PS) vermarktet werden [10]. Ähnlich dem John Deere S wird das Erntegut dem Rotor über einen Leitrotor zugeführt. Der Axialrotor ist im Abscheidebereich ebenfalls mit Zinken bestückt.

Mit der S-Baureihe vermarktet John Deere den ehemaligen STS mit einigen Weiterentwicklungen, wie geringerem Durchmesser des Rotors im Einzugsbereich sowie längerer Reinigung und weiterentwickeltem Informationssystem [11]. John Deere und AGCO sind somit die einzigen Hersteller, die Schüttler-, Hybrid- und Axialrotor-Mähdrescher herstellen. Diese Vielfalt stellt hohe Anforderungen nicht nur an das Know How der Kunden, sondern auch an die Qualität Verkaufsberatung seitens der Hersteller und Händler.

New Holland stellt in Zedelgem (B) vier Modelle der CR-Baureihe mit jeweils zwei Rotoren auf Basis 1,3 m Kanalbreite (43 cm Rotordurchmesser) und 1,56 m (56 cm Rotordurchmesser) her. Typ CR 9090 ist mit einer Motorleistung von 435 kW (591 PS) der leistungsstärkste Axial-Mähdrescher überhaupt. Die Reinigungen der CR-Mähdrescher sind jeweils baugleich mit denen der CX-Baureihe. Für große Bereifungen wird das Gebläse hydraulisch angetrieben [13].

Die ausgewählten Bewertungskriterien in Abb. 1 zeigen Tendenzen zwischen den jeweiligen Dresch- und Trennsystemen. Das Risiko, hohe Bruchkornanteile zu produzieren, nimmt von den Axial- über die Hybrid- zu den Schüttlermaschinen zu.

Grundsätzlich sind geringe Bruchkornanteile jedoch mit allen Systemen zu erzielen. Dies ist vorrangig eine Frage der angepassten Dreschwerkeinstellung. Weil jedoch Axial-Mähdrescher einen mehr reibenden als schlagenden Drusch aufweisen, ist das Bruchrisiko hier am geringsten. Danach folgen die Hybrid-Mähdrescher. Denn bei diesen Maschinen ist aufgrund der hohen Abscheidekapazität der Rotoren mehr Stroh im Dreschspalt als bei Schüttlermaschinen, so dass die Anschlaggefahr gegen Dresch- und Korbleisten geringer ist. Außerdem kann das Dreschwerk sanfter eingestellt werden, weil die Rotoren noch geringe Nachdreschfunktion übernehmen können. Bei Schüttlermaschinen muss dagegen eher scharf gedroschen werden, weil nach dem Dreschen kein Kornausreiben erfolgt. Bei der geringeren Abscheidekapazität der Schüttler ist weniger Stroh im Dreschspalt, so dass vor allem bei Maschinen mit konventionellem Dreschwerk das Bruchkornrisiko am größten ist.

Der reibende Drusch der Axial-Mähdrescher hat eine intensive Strohzerstörung zur Folge, so dass vor allem trockenes und brüchiges Stroh oft kaum noch zu ernten ist. Bei Hybrid-Mähdreschern kann dagegen bei gleichbleibender Druschintensität die Rotordrehzahl reduziert werden, um längeres, noch erntbares Stroh ins Schwad zu legen. Das längste Stroh legen die Schüttlermaschinen mit konventionellem Dreschwerk ab, gefolgt von den Beschleuniger-Dreschwerken. Bei den Zentrifugalabscheider-Dreschwerken sind die Strohhalmlängen je nach System unterschiedlich. Hier wirkt sich die Anzahl der Umlenkstellen und die Intensität der Strohumlenkung unter der Wendetrommel entsprechend aus.

Aufgrund der veränderlichen Rotordrehzahlen, also einer zusätzlichen Einstellmöglichkeit, lassen sich die Hybridmaschinen am besten an wechselnde Erntebedingungen und Anforderungen wie z. B. Schwadablage anpassen. Werden die Einstellmöglichkeiten gemäß Tab. 1 gegliedert in Stop- (Einstellungen bei stehender Maschine mit oder ohne Werkzeug) und in Non-Stop-Einstellungen (Einstellung während der Ernte von der Kabine aus), so zeigen sich je nach Mähdreschertyp recht große Unterschiede [14]. Je höher die Anzahl Non-Stop-Einstellungen, desto komfortabler lässt sich der Mähdrescher einstellen, und desto rascher kann der Mähdrescherfahrer feststellen, welches Ergebnis seine Einstellung aufweist. Hier zeigt die Maschine 2 mit neun Non-Stop-Einstellungen besondere Vorteile. An diesem Mähdrescher wurden die Untersuchungen gemäß Kap. 5 durchgeführt.

Dass eine hohe Anzahl an Non-Stop-Einstellungen nicht gleichzeitig mit einer hohen Anzahl an Gesamt-Einstellmöglichkeiten verbunden sein muss, belegen die anderen Maschinentypen in Tab. 1. So weist die Maschine 3 mit nur 6 Non-Stop-, aber 13 Stop-Einstellungen die höchste Anzahl Einstellmöglichkeiten auf. Auch an den einfach aufgebauten Axial-Mähdreschern ist die Anzahl der Stop-Einstellungen vergleichsweise hoch. Bei Mähdreschern mit Zentrifugalabscheider-Dreschwerk ist die

Zahl der Stop-Einstellungen unter sonst gleichen Voraussetzungen grundsätzlich um zwei (Drehzahl Zentrifugalabscheider, Abscheidekorb-Spaltweite) höher als bei Maschinen mit Standard- oder Beschleuniger-Dreschwerk.

Tab. 1: Einstelloptionen ausgewählter Mähdrescher ohne Erntevorsatz gegliedert nach Stop- und Non-Stop-Einstellungen [14]

Maschine	1	2	3	4	5
Mähdrescher-Typ (Basismaschine ohne Vorsatz)	Schüttler-Mähdrescher mit Beschleuniger-Dreschwerk	Hybrid-Mähdrescher mit Beschleuniger-Dreschwerk	Hybrid-Mähdrescher mit konventionellem Dreschwerk	Axialfluss-Mähdrescher mit zwei Rotoren	Schüttler-Mähdrescher mit Zentrifugalabscheider-Dreschwerk
Anzahl Non-Stop-Einstellungen	6	9	6	7	6
Anzahl Stop-Einstellungen	9	7	13	10	12

Unter schwierigen Erntebedingungen mit hoher Strohfeuchte und hohen Stroherträgen zeigen die Hybrid-Mähdrescher die relativ geringsten Leistungseinbußen, gefolgt von den Schüttlermaschinen mit Beschleuniger- und Zentrifugalabscheider-Dreschwerk. Bei Axialmaschinen ist unter derartigen Bedingungen eine hohe Drehzahlkonstanz erforderlich, um die Abscheidung aufrecht zu erhalten. Sinkt die Motordrehzahl durch die zunehmende Belastung bei feuchtem Stroh ab, nimmt auch die Kornabscheidung an den Körben ab und somit nehmen die Verluste zu. Aus diesem Grunde werden Axialmaschinen mit nahezu baugleichen Rotoren viel höher motorisiert als noch vor 20 Jahren.

Dagegen zeigen Axialmaschinen unter umgekehrten Erntebedingungen bei geringen Stroherträgen und –feuchten, welches Potential in ihnen steckt. Denn für derartige Verhältnisse wurden sie schließlich konstruiert. Dann ist ihr Durchsatz relativ am höchsten und absolut sind die Differenzen zwischen den jeweils passenden (Basis 5 oder 6 Schüttler) Hybrid- und Axialmaschinen am geringsten.

3. Aspekte zu ausgewählten Arbeitsqualitätskriterien

Über den von den verschiedenen Dresch- und Trennsystemen verursachten Bruchkornanteil wird derzeit intensiv, leider jedoch oft unter unrealistischen Voraussetzungen diskutiert. Abgesehen von den in Kap. 2 beschriebenen systembedingten Einflüssen im Hinblick auf das Bruchkornanteilrisiko beeinflussen besonders die Maschineneinstellungen den Bruchkornanteil. Abb. 2 zeigt die Einstellmaßnahmen, die sich auf die Kornqualität (Bruchkornanteil) auswirken können. Kornbeschädigungen sind, unabhängig von der Kornfeuchte betrachtet, grundsätzlich auf Einstellungen an Dreschwerk und Reinigung zurückzuführen. Tangentialdreschwerke werden meistens mit zu hohen Trommeldrehzahlen und zu engen Dreschspaltweiten eingesetzt, weil der Fahrer vor allem bei Häckslerbetrieb Dreschwerkverluste vermeiden möchte. Eine Kontrolle auf Ausdruschverluste bei (kurzzeitiger) Schwadablage kann sehr hilfreich sein (bei Häckslerbetrieb kann das Schwad später mit dem Schneidwerk aufgenommen und gehäckselt werden), um die richtige Einstellung zu finden. Der Einsatz des Entgranners erhöht zwar die Druschkomponente „Reiben“, aber auch das Bruchkornrisiko. Nicht zu vernachlässigen sind zusätzliche Werkzeuge wie Reibleisten an Rotoren und Körben. Gerade bei leicht brechenden Früchten können sie Körnerbruch verursachen.

Bei der Reinigung spielt die Gebläsedrehzahl eine besondere Rolle – einerseits im Hinblick auf den Anteil gebrochener Körner, der ins Feld geblasen wird und andererseits in Wechselwirkung mit der Weite des Untersiebes im Hinblick auf die Überkehrmasse. Zu hohe Anteile ausgedroschenen Materials in der Überkehr steigern immer das Bruchkornrisiko, weil dieses Korn nochmals unnötig mechanisch belastet wird, gleichgültig ob die Überkehr zum Dreschwerk geführt, oder per Nachdrescher zum Vorbereitungsboden gefördert wird. Bei Nachdreschern sollten möglichst sanfte Reibelemente genutzt werden.

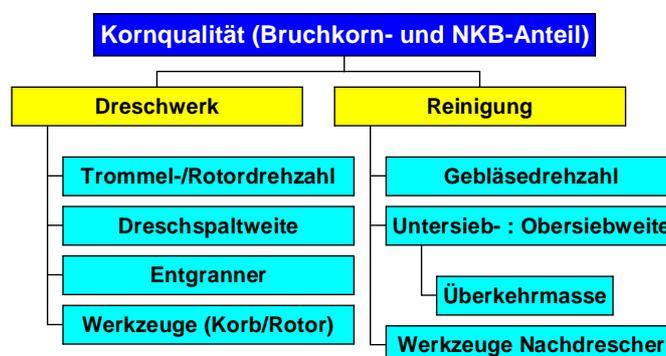


Abb. 2: Einstelloptionen zur Beeinflussung der Kornqualität, speziell des Bruchkornanteils

Der Frage, wie hoch der Bruchkornanteil in den Körnerverlusten ist, wurde in Untersuchungen im Rahmen der Masterarbeit von Fischer (Uni Hohenheim) an der FH-Bingen im Jahr 2006 nachgegangen [15]. Die Messungen wurden per Messblechmethode (2,48 m² in Form von 4 Messschalen pro Messpunkt) an einem Schüttler-Mähdrescher mit zweiter belüfteter Fallstufe und Vorsieb durchgeführt. Dabei wurden bewusst hohe Bruchkornanteile produziert, um deutliche Ergebnisse zu erzielen.

Abb. 3 zeigt den Gesamtbruchkornanteil in Abhängigkeit von der Druschintensität und Gebläseeinstellung. Um die Druschintensität in Form der Wechselwirkung zwischen Trommeldrehzahl und Dreschspaltweite darzustellen, wurde die Dreschfrequenz (Drehzahl * Dreschleistenzahl) durch die Dreschspaltweite dividiert. Dazu wurde die Gebläsedrehfrequenz addiert, weil bei zunehmender Windgeschwindigkeit mehr Bruchmaterial aus der Reinigung herausgeblasen wird. Als zweiter Parameter ist der Bruchkornanteil in den Körnerverlusten, ebenfalls in Abhängigkeit von der Drusch- und Gebläseintensität abgetragen.

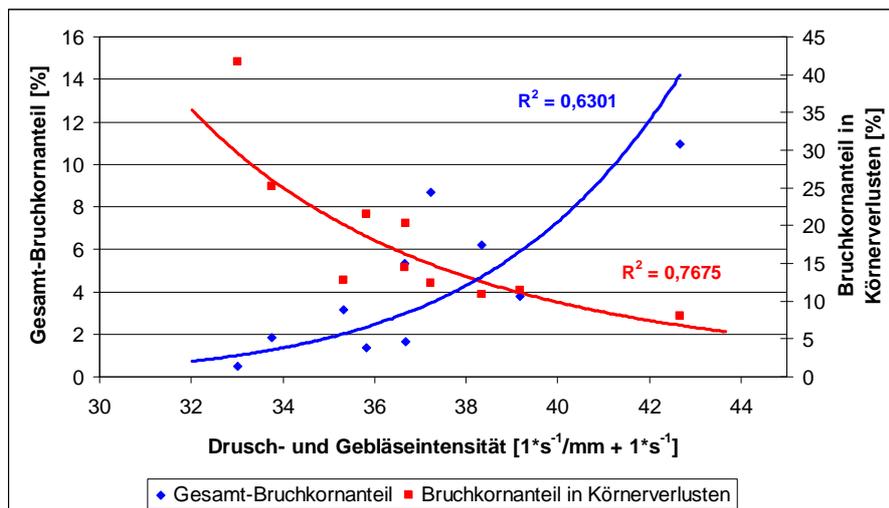


Abb. 3: Gesamt-Bruchkornanteil und Anteil der gebrochenen Körner in den Körnerverlusten im Feld in Abhängigkeit von Drusch- und Gebläseintensität [nach 16]

Die Funktionen belegen einerseits die altbekannte Tatsache, dass der Gesamt-Bruchkornanteil bei zunehmender Drusch- und Gebläseintensität zunimmt. Andererseits nimmt der Bruchkornanteil in den Körnerverlusten im Feld von maximal 43 % auf 7 % des Gesamtbruchkornanteils ab. Je höher der Gesamt-Bruchkornanteil, desto geringer wird der Bruchkornanteil im Feld. Selbst bei überhöhten Gebläsedrehzahlen konnten der in der Literatur und auch sonst oft diskutierte Bruchkornanteil von 50 % in den Feldverlusten (nur 50 % im Bunker) nicht nachgewiesen werden [nach 16]. Daraus ist zu schließen, dass Verlust-Kalkulationsansätze mit einem grundsätzlich angenommenen Bruchkornanteil in den Körnerverlusten im Feld in Höhe von 50 %

des Gesamt-Bruchkornanteils nicht realistisch sind. Einzelmessungen an anderen Mähreschern mit zweiter belüfteter Fallstufe in der Reinigung im Feldeinsatz (keine Messreihen wie in Abb. 3) belegen, dass der Bruchkornanteil in den Körnerverlusten bezogen auf den Gesamt-Bruchkornanteil meistens zwischen 10 und 20 % beträgt.

Der Bruchkornanteil aus einer Kornprobe wird definitionsgemäß im Labor von Hand aus einer Kornmasse von 100 g selektiert, gewogen und auf die eingewogene Masse bezogen. Andere Methoden wie das Sieben und Deklarieren von Bruch- und Kümmerkorn sind demgegenüber ungenau [17]. Der vom Landhandel deklarierte Bruch- und Kümmerkornanteil in einer Getreideprobe ist daher nicht direkt mit dem im Labor gemessenen Bruchkornanteil vergleichbar, weil er per Probenreiniger festgestellt wird.

Überhöhte Bruchkornanteile sind nicht selten auf die Witterung während der Kornfüllungsphase zurückzuführen. Vor allem unzureichend ausgebildete Weizenkörner brechen in hohem Maße entlang der Rückenfurche. Bei nur gering ausgebildetem Endosperm (Mehlkörper) ist dann die Bruchstelle sehr schwierig zu erkennen, weil kaum ein Farbkontrast gegeben ist. Dann wird der Bruchkornanteil meistens unterschätzt – anstelle von geschätzten ein bis zwei Prozent betragen die tatsächlichen Werte dann oft mehr als acht Prozent, abhängig vom Kümmerkornanteil. Laboranalysen an der FH-Bingen zeigten u. a. bei einem Gesamtbruchkornanteil von 8,2 % einen Bruchkornanteil in Form von Kümmerkorn von 6,6 % bei einer Weizenprobe.

Ist ein derart hoher Bruchkornanteil noch dem Mährescher anzulasten? Nein, denn erfahrungsgemäß brechen Kümmerkörner intensiv, unabhängig vom Druschsystem. Im genannten Beispiel betrug der tatsächliche Bruchkornanteil, d. h., der Anteil gebrochener Vollkörner nur 1,6 %. Kümmerkorn wird je nach Kornverwertung ohnehin aus der Charge herausselektiert (Brot-, Saat-, Mälzgetreide), weil nicht nutzbar, oder es verbleibt im Futtergetreide. Wird der Mährescher so „sanft“ eingestellt, dass die Kümmerkörner nicht brechen, so nimmt der Anteil anhaftender Spelzen an den vollen Körnern zu. Werden diese Körner als Übergrößen durch den Probenreiniger selektiert und von der Charge entsprechend subtrahiert, so entsteht gewichtsprozentual ein vergleichsweise hoher Verlust. Daher ist es wenig sinnvoll, die leicht brechenden Kümmerkörner zu schonen und dafür mehr anhaftende Spelzen zu akzeptieren. Demzufolge sind die oft hohen Bruchkornanteile bei Chargen mit hohen Kümmerkornanteilen nicht dem Mährescher anzulasten, sie sind eben ein Kompromiss. Um also die Kornqualität exakt zu bestimmen, muss nicht nur der Bruchkornanteil allein betrachtet werden, sondern gleichzeitig muss der Kümmerkornanteil und der Anteil anhaftender NKB einer Getreideprobe gemessen werden. Hier bietet sich eine einfache Siebung an: Kümmerkörner und kleine Vollkorn-Bruchstücke werden vom 2 mm Langlochsieb abgeschieden [24]. Demonstrationsproben in der Agri-Broker Schüttel-

siebeeinrichtung zu diesem Thema zeigte die FH-Bingen auf dem Gemeinschaftsstand der Fachhochschulen auf der Agritechnica 2009.

Beim Raps sollte der Bruchkornanteil keinesfalls vernachlässigt werden. Bei zu „scharfer“ Einstellung kann er an drei Prozent herangeraten. Dann schimmert die Charge bereits ein wenig gelblich. Die Bruchstücke werden herausgereinigt und als Nicht-Korn-Bestandteile (NKB) von der Charge subtrahiert, was hohe Verlustkosten zur Folge hat. Beim Raps betragen die Bruchkornanteile erfahrungsgemäß zwischen null und drei Prozent. Das Bruchkornanteilrisiko ist bei Axial-Mähdreschern und bei Mähdreschern mit Beschleuniger-Dreschwerk am geringsten.

Der Handel akzeptiert bei Getreide meistens Bruchkornanteile von zwei bis vier Prozent. Laut Handelsbestimmungen und Richtlinien für die Getreideintervention erfolgen ab einem Bruchkornanteil von drei Prozent Preisabschläge [18]. Je nach Händler-Kunden-Bindung werden Getreidepartien auch zu Tagespreisen ohne jedwede Abzüge gehandelt, wenn die Charge geschätzt unterhalb der entsprechenden Grenzwerte bleibt.

Derzeit wird gerade in Verkaufsgesprächen und Kostenkalkulationen für Axial-Mähdrescher ihr geringer Bruchkornanteil in den Vordergrund gehoben bzw. mit geringen Bruchkornanteilen kalkuliert [19]. Dass dabei bereits das erste Prozent Bruchkorn als Verlust deklariert wird, ist allein aufgrund des Vorgehens des Handels und der Interventionsrichtlinien nicht realistisch. Eine korrekte Verlustkalkulation müsste wie o. g. erst ab drei Prozent Körnerbruch mit den deklarierten Preisabschlägen [18] beginnen.

Darüber hinaus wird von einem durchschnittlich um 2,4 % geringeren Bruchkornanteil bei Axial-Mähdreschern im Vergleich zu Tangentialmaschinen ausgegangen. Angenommen wird dann, dass 50 % des Bruchkornes aus der Maschine ins Feld fallen und somit der Bruchkornanteil der Tangential-Mähdrescher durchschnittlich 4,4 % höher ist als der einer Axialmaschine [19]. Auch diese Vorgaben sind aufgrund der o. g. Ausführungen realitätsfern und somit keine Grundlage für eine sachlich fundierte Kostenkalkulation.

Die gemessenen Bruchkornanteile bei verschiedensten Mähdrescherprüfungen und sonstigen Untersuchungen in Abhängigkeit vom NKB-Durchsatz zeigt Abb. 4. Die Darstellung gibt lediglich eine Übersicht über Bruchkornanteile in Abhängigkeit vom NKB-Durchsatz und stellt keine Ergebnisse von Reihenuntersuchungen dar! Dargestellt sind Ergebnisse von Mähdrescherprüfungen der DLG, des kanadischen PAMI sowie weitere Ergebnisse aus der Literatur und eigene Messergebnisse. Die hohen Bruchkornanteile bei geringem Durchsatz stammen aus Tests von Schüttler-

Mähdreschern der kleineren Leistungsklassen aus den 70er Jahren. Die Spannweite der Daten von 0,6 bis über 11 % zeigt, dass offensichtlich nicht nur das Druschmaterial sehr unterschiedlich war, sondern bei einigen Tests weniger Wert auf Arbeitsqualität als viel mehr auf maximalen Durchsatz gelegt wurde.

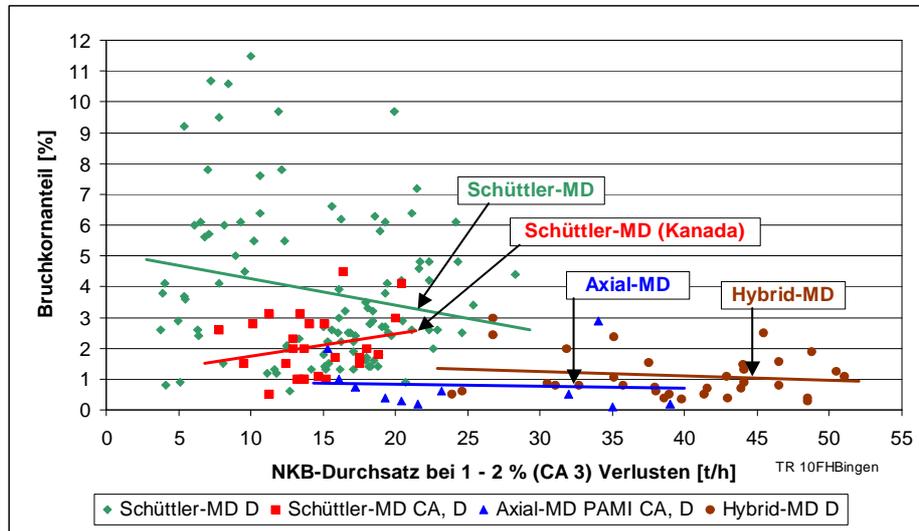


Abb. 4: Bruchkornanteil verschiedener Mähdrescher bei einem Körnerverlustniveau von einem bis zwei Prozent (Kanada drei Prozent) in Abhängigkeit vom NKB-Durchsatz [nach 15]

Bemerkenswert sind die in Kanada gemessenen Bruchkornanteile der Schüttler-Mähdrescher: die Spannweite der Bruchkornanteile ist mit 0,5 bis maximal 4,5 % viel geringer als bei den Untersuchungen in Deutschland, obwohl die Kornfeuchten mit etwa 8 bis 15 % (meistens etwa 12 %) geringer waren als bei den Untersuchungen der DLG mit etwa 11 bis 20 % (meistens etwa 15 %). Demzufolge war das trockenere Korn (abgesehen von sortenspezifischen Eigenschaften) spröder und bruchgefährdeter als das feuchtere und trotzdem sind die Bruchkornanteile geringer. Dies ist ein Indiz für verbesserte Arbeitsqualitäten durch angepasste Einstellung des Mähdreschers.

Dass aufgrund des mehr reibenden Drusches die Bruchkorngefahr bei Axial-Mähdreschern sehr gering ist, belegen verschiedenste Untersuchungen aus Kanada und Deutschland. Demzufolge werden mit Axial-Mähdreschern die geringsten Bruchkornanteile von 0,2 bis maximal 3 % erzielt. Der eigentliche Vorteil des reibenden Drusches besteht in der Tatsache, dass selbst bei falscher Einstellung, also eigentlich zu scharfem Drusch der Bruchkornanteil nicht drastisch ansteigt, wie dies beim Tangentialdreschwerk der Fall sein kann. Daher erreichen die Rotoren maximale Umfangsgeschwindigkeiten von mehr als 40 m/s, während Tangentialdreschwerke bei 35 bis maximal 38 m/s begrenzt sind. Problematisch können jedoch hohe Kornfeuch-

ten von 18 bis 20 % werden. Bei Weizen können dann auch bei Axial-Mähdreschern Kornquetschungen auftreten.

Mit Hybrid-Mähdreschern können ebenfalls geringe Bruchkornanteile erzielt werden, wenn Einstellung und Durchsatz stimmen. Obwohl das Dreschwerk prinzipiell unter sonst gleichen Bedingungen identische Bruchkornanteile erzeugen müsste wie bei Schüttlermaschinen, wird das Korn dennoch schonender behandelt. Dies hat die beiden, bereits in Kap. 2 beschriebenen Gründe: Erstens kann das Dreschwerk bei Hybridmaschinen sanfter eingestellt werden als bei Schüttlermaschinen, weil die Rotoren im Gegensatz zu Schüttlern noch eine geringe Nachdreschfunktion übernehmen können. Und zweitens ist der Durchsatz aufgrund der höheren Abscheidekapazität der Rotoren im Vergleich zu Schüttlern höher, so dass sich immer mehr Stroh im Dreschspalt befindet als bei einer Schüttlermaschine. Dieses Stroh polstert das Korn mehr gegen Dresch- und Korbleisteneinflüsse, wodurch es schonender behandelt wird. Die in Abb. 4 dargestellten Bruchkornanteile in Gerste und Weizen zeigen tendenziell zwar etwas höhere Werte als die von Axial-Mähdreschern, die sich jedoch insgesamt in hohem Maße überschneiden und sich innerhalb der Spannweite von 0,3 bis 3 % bewegen.

Insgesamt zeigen die dargestellten Fakten, dass in vielen Diskussionen und Kalkulationsansätzen mögliche Verluste durch hohe Bruchkornanteile zu hoch bewertet werden. Erfahrungsgemäß werden die Verluste durch anhaftende NKB und vor allem die Aufnahmeverluste bei der Ernte unterbewertet. Neben der Maschineneinstellung ist der Bruchkornanteil abhängig vom TKM, von sortenspezifischen Kornfestigkeiten sowie von der Kornfeuchte. Daher ist die Bruchkornproblematik auch jährlich in unterschiedlicher Intensität ausgeprägt.

4. Sensorik zur Bewertung der Arbeitsqualität

Der Körnerverlustmonitor gehört zwar seit den 80er Jahren zur Standardausstattung von Mähdreschern. Jedoch konnte seine Genauigkeit bis heute nicht zufriedenstellend erhöht werden. Ideal wäre zwar eine Angabe der Verluste in v. H. des Ertrages in Kombination mit einem Ertragsmesssystem. Jedoch erfassen die Piezosensoren (ähnlich einem Mikrophon) nur die Aufschlagimpulse von Körnern auf den Prallkörper des Sensors. Dabei werden große und schwere Körner eher detektiert als kleine. Und harte Strohanteile wie Knoten oder Verzweigungsstellen von Raps können ebenfalls als Korn angezeigt werden. Darüber hinaus ist je nach Durchsatz und Einstellung des Mähdreschers nicht sicher, welcher Anteil der Verlustkörner überhaupt auf die Sensoren gerät. Daher ist eine Umrechnung der Impulse in relative Verluste zu ungenau und in absehbarer Zeit (leider!) wohl nicht erhältlich – zumindest nicht zu akzeptablen Preisen.

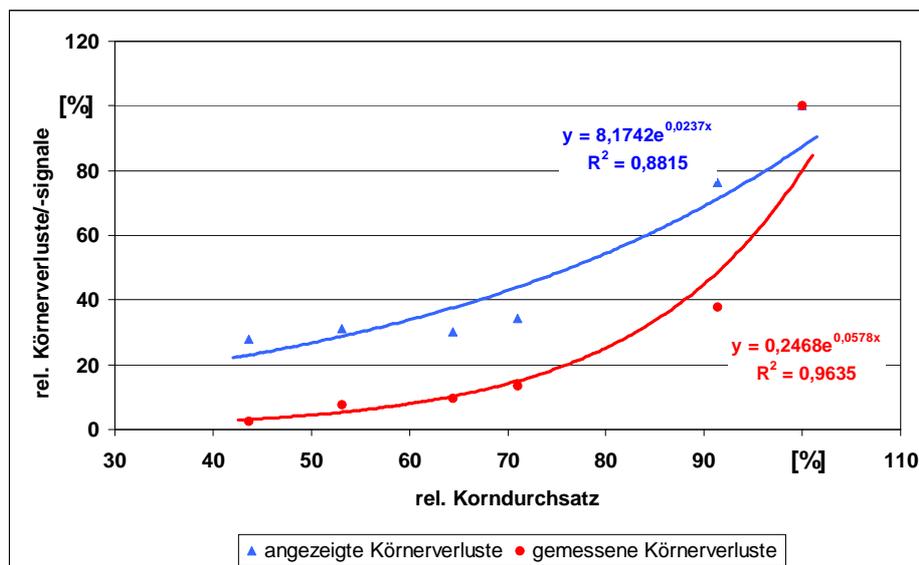


Abb. 5: Relative Körnerverluste und relative Anzeigewerte des Körnerverlustmonitors (Abscheide- plus Reinigungsverluste) in Abhängigkeit vom relativen Korndurchsatz

Dem Mähdrescherfahrer bleibt die Kontrolle der Verluste und der Abgleich mit den Anzeigewerten daher mittelfristig nicht erspart. Eine Kontrolle der Verluste per Schale durch eine zweite Person und eine entsprechende Kalibrierung ist daher empfehlenswert - auch wenn dies ein wenig umständlich ist. Die Anzeigegenauigkeit eines Körnerverlustmonitors zeigt Abb. 5. Sowohl die Körnerverluste, als auch der Korndurchsatz sowie die Anzeigewerte sind in v. H. angegeben, wobei die maximalen Werte jeweils 100 % sind, um eine Vergleichbarkeit der Werte herzustellen.

Die Regressionen in Abb. 5 zeigen zwar einen ähnlichen, aber bis auf die 100 % Werte eben nicht nahezu deckungsgleichen Kurvenverlauf. Daher muss geprüft werden, wie hoch die angezeigten im Vergleich zu den realen Körnerverlusten sind. Bei den derzeitigen Spreuverteils- und Häckslersystemen reicht die bloße Ansicht des Bodens mit den darauf liegenden Verlustkörnern nicht aus. Nur mit Messschale und am besten bei Schwadablage lassen sich konkrete Aussagen treffen.

Zur Messung des Bruchkornanteiles während der Erntearbeit stellte John Deere auf der Agritechnica 2001 [20] einen Sensor vor, der an der Bunkerbefüllschnecke angebracht war und auf der unterschiedlichen Reflektion von UV-Strahlen durch die normale Kornoberfläche und die Bruchflächen der Körner basierte. Dieser mit einer Silbermedaille prämierte Sensor konnte sich jedoch nicht durchsetzen. Zur Agritechnica 2007 stellte New Holland einen Bruchkorn- und NKB-Sensor vor. Dieser Sensor erfasst bildanalytisch die Bruchflächen der Körner und weil die Flächen von NKB (Strohteile, Spelzen) geometrisch anders geformt sind als Bruchflächen, kann der Sensor zwischen Bruchkorn und NKB im Korn unterscheiden. Für diesen Sensor vergab die Neuheitenkommission der DLG eine Goldmedaille.

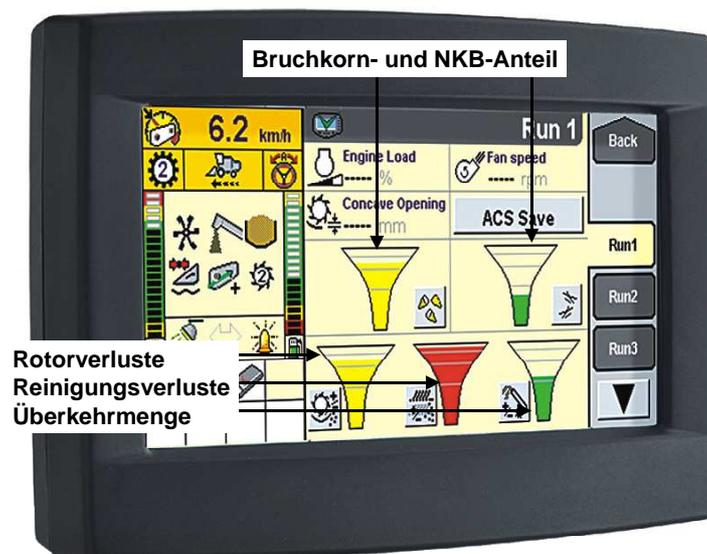


Abb. 6: Menü des „Intelligent User Interface“ Einstellassistenten von New Holland im Intelli-View-Monitor (Werkbild New Holland ergänzt)

Zur SIMA 2009 stellte New Holland den Prototypen eines Einstellassistenten, das „Intelligent User Interface“ vor, der mit einer Bronzemedaille prämiert wurde. Er funktioniert folgendermaßen: Gerät einer der Sensorwerte „Reinigungsverluste, Abscheideverluste, Überkehrmenge“ sowie „Bruchkornanteil“ und „NKB-Anteil im Korn“ in den sogenannten roten Bereich, so schlägt das System dem Fahrer eine Einstellungsänderung vor. Abb. 6 zeigt das Hauptmenü des Systems mit den jeweiligen Sensorwerten. Im gezeigten Falle wird simuliert, dass die Reinigungsverluste zu

hoch sind. Der Fahrer erhält daraufhin pauschal die Empfehlung die Obersiebe zu öffnen und die Gebläsedrehzahl zu erhöhen. Ist z.B. der Bruchkornanteil bei einer Rotordrehzahl von 1400 U/min und einer Dreschspaltweite von 10 mm zu hoch (Sensorwert im roten Bereich) und drückt der Fahrer dann den ACS-Button (Automatic Crop Settings), so vergleicht das System die aktuellen Einstellwerte mit den Grundeinstellungen des Herstellers und schlägt dem Fahrer eine Einstellungsänderung vor [21]. Im gegebenen Fall wird eine Reduzierung der Rotordrehzahl um 100 U/min empfohlen. Und wenn diese Maßnahme nicht ausreicht, wird als zweiter Schritt vorgeschlagen, die Dreschspaltweite um 2 mm zu vergrößern.

Das Intelligent User Interface soll nach Angaben von New Holland vorerst nur für Mähdrescher der CR-Baureihe angeboten werden. Eigentlich müsste es für Schüttler-Mähdrescher angeboten werden, weil bei diesen Maschinen das Bruchkornrisiko und demzufolge die Einstellungssensibilität höher ist als bei den Axial-Mähdreschern.

Ein derartiges System kann dem Fahrer helfen, die passende Einstellung des Mähdreschers zu finden. Als problematisch sind jedoch vor allem die Sensordaten bezüglich des NKB-Anteils im Korn zu sehen. Da der Sensor im Gegensatz zum Fahrer nicht zwischen anhaftenden und losen NKB-Anteilen im Korn differenzieren kann, stellt sich die Frage wie das System auf einen zu hohen Anteil an NKB im Korn reagiert. Denn bei anhaftenden NKB-Anteilen (Spelzen, Grannen) muss vorrangig die Dreschwerkeinstellung und bei losen NKB-Anteilen (Spelzen, Kurzstroh) vorrangig die Reinigungseinstellung verändert werden. Leider wurde der Fall „NKB-Anteil zu hoch“ nicht in die Demonstrationsversion des Einstellsystems, das sowohl auf der SIMA, als auch auf der Agritechnica ausgestellt wurde, integriert. Nach Angaben von New Holland wurde in der vergangenen Saison in Deutschland kein System eingesetzt.

5. Einstellassistenzsystem CEMOS

Zur Agritechnica 2009 stellte Claas den „Claas elektronischen Maschinen-Optimierungs-Service“ vor, der von der DLG eine Goldmedaille erhielt. Es ist ein interaktives Einstellassistenzsystem, das alle Einstellungen aller Baugruppen des Mähdreschers für verschiedene Früchte und Erntebedingungen beinhaltet und den Fahrer schrittweise an die optimale Maschineneinstellung heranführt (Abb. 7). Erkennt der Fahrer ein Problem wie beispielsweise ungleichmäßigen Gutfluss im Erntevorsatz, zu geringen Durchsatz, unzureichende Kornqualität, oder melden die Sensoren des Mähdreschers einen Durchsatz unterhalb seiner technischen Kapazität sowie nicht optimale Arbeit der Reinigung, so schlägt CEMOS ihm nach Prüfung der

entsprechenden CAN-Daten eine Einstellmaßnahme vor. Dabei werden je nach Einstellmaßnahmen möglichst zuerst alle Non-Stop-Einstellungen abgearbeitet, bevor eine Stop-Einstellung vorgenommen werden muss [22]. Dadurch werden Verlustzeiten durch Stop-Einstellungen minimiert.

Der Fahrer kann einen Einstellvorschlag annehmen, oder eine Alternative fordern. Nimmt er einen Einstellvorschlag an, so erhält er bei den von Sensoren überwachten Einstellungen eine Mitteilung, ob und um wie viel v. H. sich das Arbeitsergebnis verbessert hat oder nicht. CEMOS weist den Fahrer frühzeitig auf Zielkonflikte wie beispielsweise eine geringere Kornabscheidung am Dreschkorb bei Einzug des Erntegutes mit dem Halm voran, oder eine Zunahme des Bruchkornanteiles bei zu intensivem Ausdrusch sowie auf technische Grenzen der gewählten Einstellung hin. Der Fahrer kann eigenständig im Dialog mit dem System die Arbeitsqualität und Arbeitsleistung des Mähdreschers bis an seine technischen Grenzen maximieren.

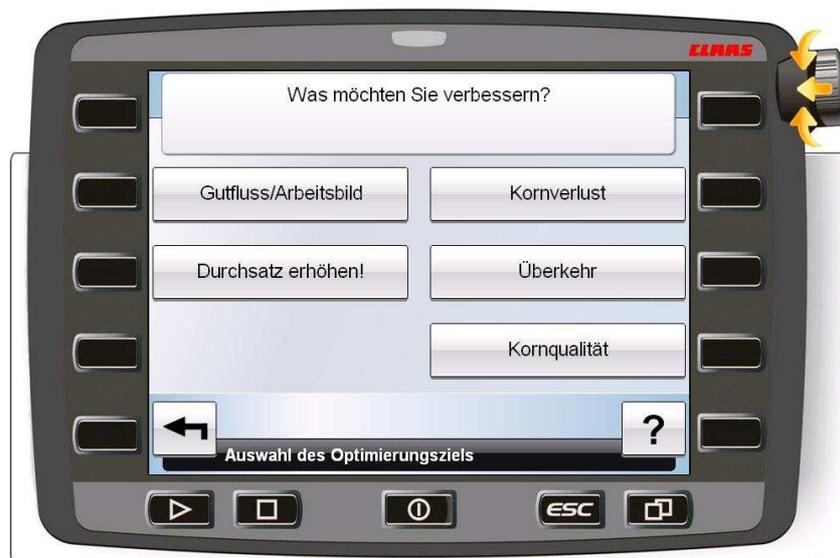


Abb. 7: Auswahlmenü des Einstellassistenten Claas elektronischer Maschinen-Optimierungsservice (CEMOS) mit Wahlbuttons „Optimierungsziele“ (Werkbild Claas)

Die Funktion des Systems wurde in der Ernte 2009 im Rahmen einer Bachelorarbeit an der FH-Bingen geprüft. Dazu wurde einer von drei identischen Großmähdreschern in einem Landwirtschaftsbetrieb in Thüringen mit CEMOS und mit einem Datalogger ausgerüstet. Der Fahrer optimierte die Mähdreschereinstellungen nach seinen Vorstellungen, ohne Vorgaben seitens der Versuchsanstaltung. Bei diesen Einstellungen wurden bei gestuften, sechs Arbeitsgeschwindigkeiten die Körnerverluste erfasst sowie zu den Geschwindigkeitsstufen jeweils an der Bunkerbefüllschnecke eine Kornprobe genommen. Danach wurde die Maschine auf die vom Hersteller vor-

gegebenen Grundeinstellungen programmiert und mit diesen Grundeinstellungen wurde neben der ersten Messstrecke eine zweite geerntet.

In den folgenden Abbildungen mit Körnerverlustkennlinien werden somit jeweils zwei Körnerverlustkennlinien mit sechs Messpunkten (jeweils vier Messschalen pro Punkt mit insgesamt 2,48 m²) dargestellt. Dazu gehören pro Messpunkt jeweils ein Bruchkornwert sowie ein NKB-Anteil in der Kornprobe. Alle Ergebnisse sind in v. H. dargestellt, um die Differenzen zwischen der Standardeinstellung und der Optimierung in Prozentpunkten (pp) zu verdeutlichen. Darüber hinaus wurden die Aufnahmeverluste des Schneidwerkes bei unterschiedlichen Einstellungen gemessen, um einen Optimierungseffekt in seiner Gesamtheit, bezogen auf die Baugruppen des Mähdreschers herauszustellen (Abb. 8).

Den Ergebnissen in Abb. 8 liegen drei Versuche zugrunde: Die Schneidtischlänge wurde jeweils auf den vom Fahrer sichtbaren Wert von -1 (10 cm kürzer als Basislänge), 0 (Basislänge wie beim Schneidwerk mit fixer Tischlänge) und + 2 (20 cm länger als Basislänge) eingestellt. Gemessen wurden die Aufnahmeverluste in Form von Ähren hinter dem Schneidwerk bei sonst unveränderter Mähdreschereinstellung in mit Glyphosat behandelte (Vorerntesikkation) und unbehandelte Wintergerste. Bei der unbehandelten Gerste lassen sich die Aufnahmeverluste durch Verlängern des Schneidtisches um 56 Prozentpunkte auf 44 % reduzieren, während eine Verkürzung der Tischlänge keinen weiteren verlust erhöhenden Effekt bringt. Bei glyphosatbehandelter Gerste nehmen die Aufnahmeverluste bei Verkürzung der Tischlänge um 30 pp zu und bei Verlängerung des Tisches um 49 pp ab. Anzumerken ist, dass die absoluten Aufnahmeverluste bei der behandelten Gerste mit maximal 14,2 % am höchsten waren. Wird die Haspel so eingestellt, dass sie kaum eingreift, so werden die Ähren und Halme bei langem Schneidtisch unbeeinflusst frühzeitig geschnitten und aufgenommen, ein Effekt ähnlich dem verlängerten Schneidtisch bei der Raps-ernte.

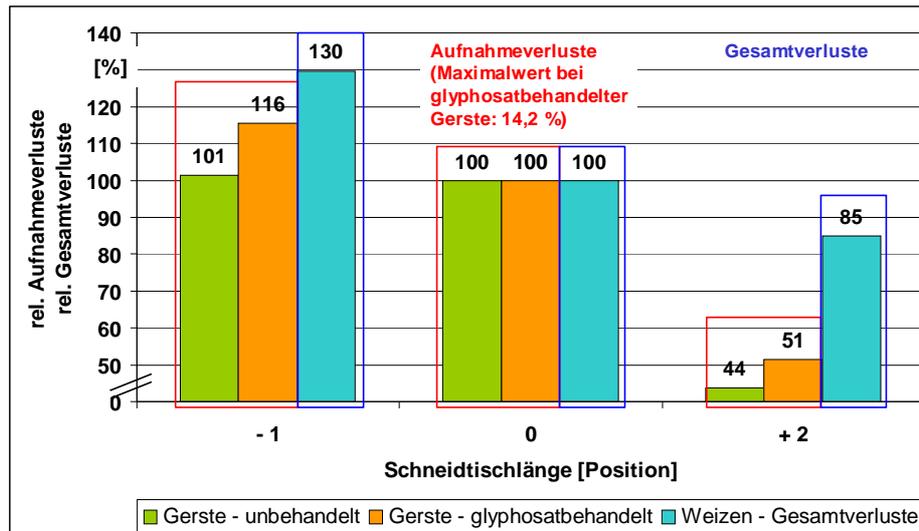


Abb. 8: Relative Aufnahme- und Gesamtverluste bei Wintergerste bzw. Weizen in Abhängigkeit von der Schneidtlängde

Wird der Schneidstisch bei der Weizenernte auf minimale Länge verkürzt und die Frucht gerät demzufolge mit dem Halm zuerst in den Mähdrescher, so können unter sonst gleichen Bedingungen die Körnerverluste um 30 pp zunehmen, weil der Gutfluss ungleichmäßiger wird und die Kornabscheidung am Dreschkorb abnimmt. Bei maximaler Verlängerung des Schneidstisches konnten die Körnerverluste um 15 pp reduziert werden. Die Halmlängen des Weizens betragen 0,9 bis 1 m. Bei kürzeren Halmen werden sich diese Optimierungseffekte sicherlich in geringerem Maße zeigen.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass eine angepasste Schneidwerkeinstellung der Schlüssel für maximale Mähdrescherleistungen ist. Erfahrungsgemäß werden die Einstellmöglichkeiten zur Maximierung der Schneidwerkarbeit in zu geringem Maße genutzt. Der Einstellassistent schafft hier Abhilfe. Abhängig von der zu erntenden Frucht, abhängig vom Erntevorsatz und in Abhängigkeit von den Erntebedingungen wie z. B. liegendes oder stehendes Getreide gibt er alle möglichen Hinweise zur Optimierung des Gutflusses und Minimierung von Aufnahmeverlusten.

Gemäß Abb. 9. konnte durch die Optimierung der Einstellungen bei einem Versuch in der Triticaleernte der Korndurchsatz um 8 pp gesteigert werden, während gleichzeitig die Körnerverluste um 15 pp sanken. Tab. 2 zeigt die dazugehörigen Mähdreschereinstellungen. Der Fahrer hat zur Optimierung bei etwas erhöhter Dreschtrumdrehzahl mit weiterem Korb die Maschine auf sanfteren Drusch eingestellt. Zur Steigerung der Abscheideleistung hat er die Rotordrehzahl erhöht. Und zur Verbesserung der Kornsauberkeit hat er die Untersieböffnung verringert. Die reduzierte Gebläsedrehzahl reduziert bei geringerer Untersiebweite die Überkehrmenge.

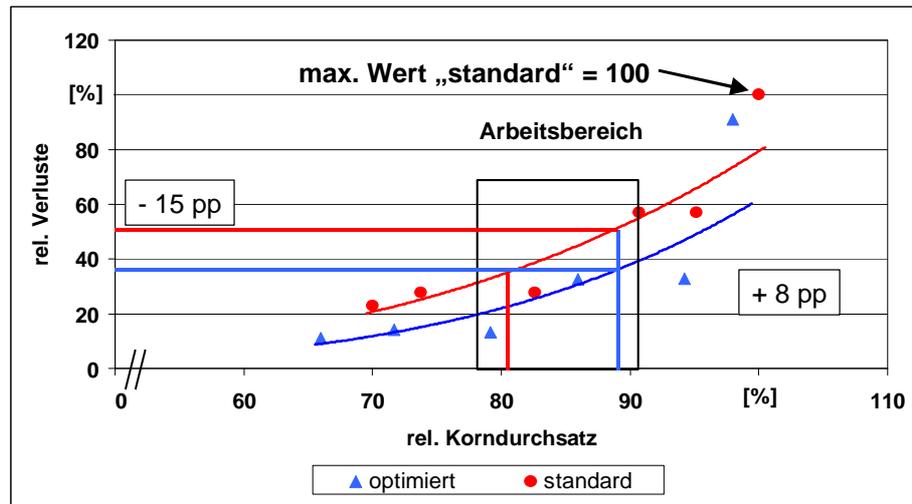


Abb. 9: Optimierungsversuch in Triticale am 23.08.09 – rel. Körnerverluste über relativem Korndurchsatz; der Arbeitsbereich stellt den tatsächlichen Einsatz dar, die Messwerte unter und oberhalb des Arbeitsbereiches dienen der Messkurvenerstellung

Tab. 2: Mähdreschereinstellungen während des Versuches „Triticale“ am 23.08.09

Einstellung	Einheit	standard	optimiert
Schneidtschlänge	-1/0/+2	0	+ 2
Trommelumfangsgeschwindigkeit	m/s	29,4	29,9
Dreschspaltweite	mm	8	13
Rotorumfangsgeschwindigkeit	m/s	18,1	22,7
Rotorkorbplattenposition	1/2/3*	1	1
Gebälasedrehzahl	U/min	1172	1133
Obersiebweite	mm	17	17
Untersiebweite	mm	11	8

* 1 = offen, 2 = 0,5 offen, 3 = geschlossen

Abb. 10 zeigt den relativen Bruchkornanteil in Abhängigkeit vom relativen Korndurchsatz bei dem Versuch Triticale am 23.08.09. Durch die Optimierung konnte der Bruchkornanteil um 12 pp reduziert werden. Darüber hinaus wird deutlich, dass der Bruchkornanteil bei zunehmendem Durchsatz insgesamt abnimmt. Dies ist auf die zunehmende Strohmasse im Dreschspalt zurückzuführen. Denn das Stroh polstert die Körner gegen Dresch- und Korbleisten ab. Insgesamt war die Optimierung nicht einfach, weil die Kornfeuchte und die Strohfeuchte mit 13,5 bzw. 8,5 % relativ gering waren. Korn und Stroh waren demzufolge bruchgefährdet. Offensichtlich wurde die Reinigung durch die höhere Rotordrehzahl und die geringere Untersiebweite nicht überlastet. Andernfalls hätten die Körnerverluste zugenommen.

Der Kornertrag beträgt 12,4 t/ha bei einem Korn : NKB-Verhältnis von 1 : 0,77. Da Triticale vor allem aufgrund der bruchgefährdeten Ährenspindel und den dadurch bedingten Körnerverlusten in Form von unvollständig ausgedroschenen Ährenanteilen zu den schwierig zu dreschenden Früchten gehört, zeigen die Ergebnisse deutlich, welches Ergebnis durch eine Einstelloptimierung erzielt werden kann.

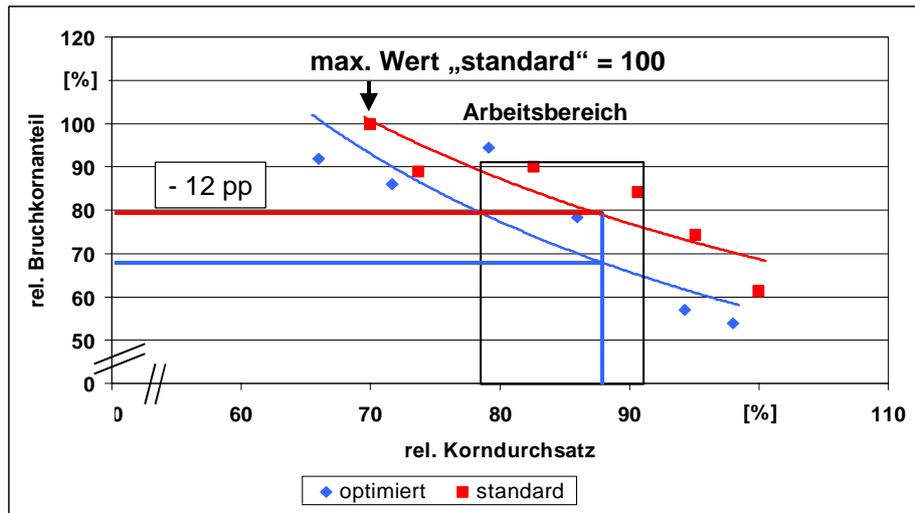


Abb. 10: Optimierungsversuch in Triticale am 23.08.09 – rel. Bruchkornanteile über relativem Korndurchsatz

Gleichzeitig wurde die Kornsauberkeit durch diese Optimierung verbessert. Wie aus Abb. 11 ersichtlich, nahm der NKB-Anteil im Korn um 20 pp ab. Im gegebenen Versuch zeigten sich keine unterschiedlichen NKB-Anteile in Abhängigkeit vom Durchsatz, was nicht immer so sein muss. Je nach Erntebedingungen und Einstellung können sich die NKB-Anteile im Korn bei zunehmendem Durchsatz reduzieren, weil die Belegung der Siebe mit Korn zunimmt.

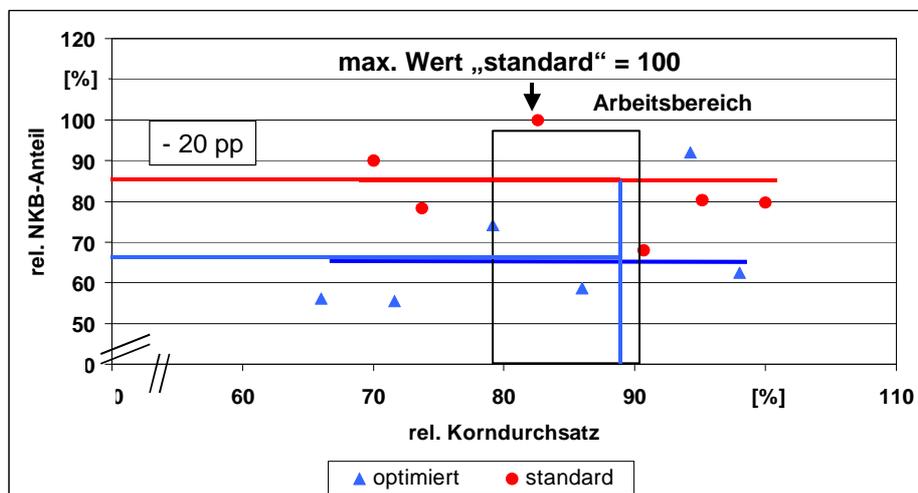


Abb. 11: Optimierungsversuch in Triticale am 23.08.09 – rel. NKB-Anteile über relativem Korndurchsatz

Abb. 12 zeigt einen Optimierungsversuch in der Weizenernte. Da sich die Körnerverlustkennlinien im Arbeitsbereich nicht gesichert unterscheiden, lässt sich in diesem Versuch eine Durchsatzzunahme von null bis maximal fünf Prozentpunkten interpretieren. Bei einem Weizenertrag von 8,2 t/ha, einer Kornfeuchte von 11,5 %, einer Strohfuchte von 20 % sowie einem Korn : NKB-Verhältnis von 1 : 1,2 brachte die Optimierung des Fahrers gemäß Tab. 3 nahezu keine Effekte. Bei einer Erhöhung der Trommeldrehzahl und gleichzeitig vergrößerter Dreschspaltweite kann der Ausdrusch gleich bleiben. Das teilweise Schließen der Rotorkorbplatten brachte in diesem Fall ebenfalls keine entsprechenden Effekte wie Verlustreduktion und verbesserte Sauberkeit durch geringere NKB-Belastung der Reinigung. Gleiches gilt für die geänderten Weiten von Ober- und Untersieb.

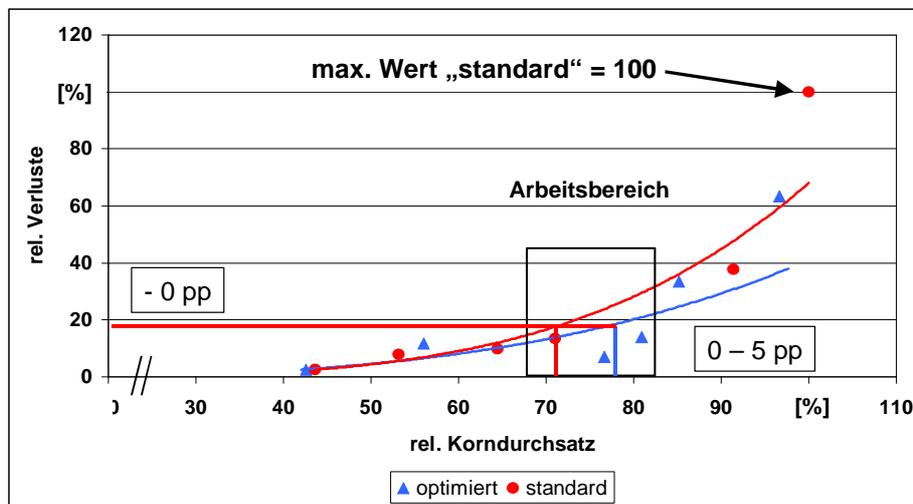


Abb. 12: Optimierungsversuch in Weizen am 16.08.09 – rel. Körnerverluste über relativem Korndurchsatz

Dieses Beispiel belegt, dass unter bestimmten Erntebedingungen die Grundeinstellung des Herstellers stimmt. Sie muss in einen oder anderen Fall stimmen, weil sie - und damit natürlich auch die Betriebsanleitung - andernfalls nicht korrekt wäre. Doch je extremer die Erntebedingungen werden – hohe oder niedrige Korn- und Strohfuchten, enge oder weite Korn : NKB-Verhältnisse -, desto erforderlicher wird die Optimierung der Maschineneinstellung. Im Rahmen der vorliegenden Versuche wurde in keinem Fall ein Mindereffekt der Optimierung im Vergleich zu den Standardeinstellungen auf den Durchsatz erzielt.

Tab. 3: Mähdreschereinstellungen während des Versuches „Weizen“ am 16.08.09 (die Schneidtschlänge wurde beim Versuch „standard“ versehentlich nicht auf Null eingestellt)

Einstellung	Einheit	standard	optimiert
Schneidtschlänge	-1/0/+2	+ 2	+ 2
Trommelumfangsgeschwindigkeit	m/s	24,2	28,6
Dreschspaltweite	mm	10	13
Rotorumfangsgeschwindigkeit	m/s	18,8	17,7
Rotorkorbplattenposition	1/2/3*	1	2
Gebälasedrehzahl	U/min	1190	1160
Obersiebweite	mm	17	20
Untersiebweite	mm	11	10

* 1 = offen, 2 = 0,5 offen, 3 = geschlossen

Bei der Rapsernte ergeben sich durch die Optimierung vor allem geringere NKB-Anteile im Korn, weil sich die Bruchkornanteile auch bei Standardeinstellung ohnehin auf niedrigem Niveau bewegen. Abb. 13 zeigt die Ergebnisse eines Optimierungsversuches, die eine Reduktion von NKB-Anteilen im Korn um 20 pp beinhalten.

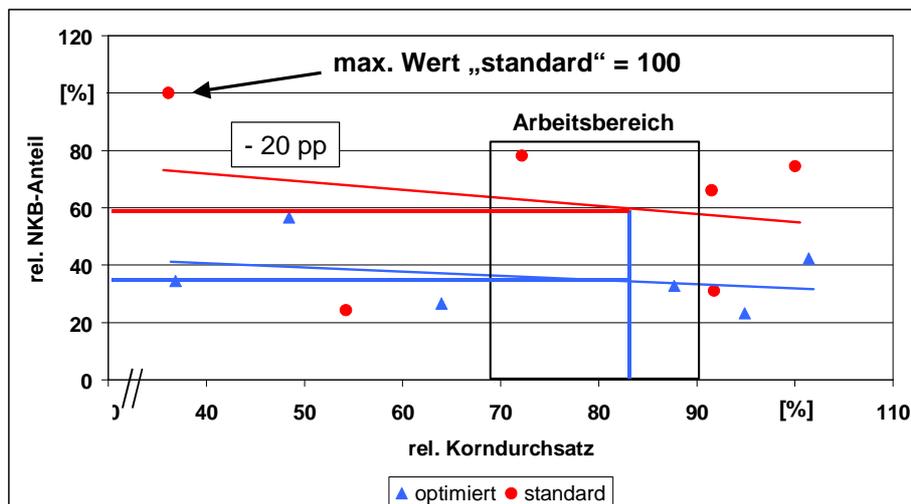


Abb. 13: Optimierungsversuch in Raps am 19.08.09 – rel. NKB-Anteile über relativem Korndurchsatz

Die dazugehörigen Einstellwerte gemäß Tab. 4 zeigen, dass der Fahrer die Trommeldrehzahl, die Dreschspaltweite und die Rotordrehzahl erhöht hat. Darüber hinaus hat er die Ober- und Untersiebweite reduziert und die Gebläsedrehzahl nicht nennenswert erhöht. Durch die Öffnung einer Rotorklappe hat er die Reinigung zwar stärker belastet, was jedoch keinen Einfluss auf die Körnerverluste hatte.

Tab. 4: Mähdreschereinstellungen während des Versuches „Raps“ am 18.08.09

Einstellung	Einheit	standard	optimiert
Trommelumfangsgeschwindigkeit	m/s	16,7	20,3
Dreschspaltweite	mm	18	38
Rotorumfangsgeschwindigkeit	m/s	14,2	17,5
Rotorkorbplattenposition	1/2/3*	3	2
Gebläsedrehzahl	U/min	990	995
Obersiebweite	mm	13	15
Untersiebweite	mm	7	5

* 1 = offen, 2 = 0,5 offen, 3 = geschlossen

Einige weitere zusammenfassende Untersuchungsergebnisse zeigt Tab. 5. Die Mehrleistungen und Reduktionen des Bruchkornanteils wurden häufig durch sanfteren Drusch erzielt. Dabei wurde im Weizen mit maximalen Dreschspaltweiten von bis zu 31 mm geerntet. Deutlich zeigen sich auch Zielkonflikte bei der Einstelloptimierung. So hat sich der NKB-Anteil in Erbsen mehr als verdoppelt, als der Fahrer den Anteil gebrochener Erbsen um 15 pp reduzierte. Je nach Optimierungsziel ergeben sich unterschiedliche Effekte: ein höherer Durchsatz kann wie z. B. beim Weizen durch schärferes Dreschen und höhere Bruchkornanteile erzielt werden (oder auch nicht), wenn sich der absolute Bruchkornanteil (wie in den gegebenen Versuchen) innerhalb der in Kap. 3 dargestellten Toleranzen des Handels bewegt.

Tab. 5: Beispiele für Effekte durch Optimierung der Mähdreschereinstellungen bei der Ernte verschiedener Früchte

Parameter	Frucht	Raps	Gerste	Erbsen	Triticale	Weizen		
	Einheit							
Reduktion NKB-Anteil	pp	95	4	-122	11	90	0	48
Reduktion Bruchkorn	pp	37	54	15	27	-21	0	-27
Steigerung Durchsatz	pp	0	17	18	5	5	4	19

Entscheidend ist das Gesamtergebnis der Mähdrescheroptimierung – je nach Optimierungsgrad und Erntebedingungen lassen sich nicht immer alle Parameter positiv beeinflussen (hier Gerste und Triticale). Doch es ist völlig gleichgültig, ob ein Parameter ins Negative gerät, wenn dafür verfahrenstechnisch oder ökonomisch wichtigere Parameter das Gesamtergebnis der Druschfruchternte in den positiven Bereich bringen.

Das Ergebnis einer Optimierung ist wie bei allen anderen Maßnahmen von der Entscheidungsfreudigkeit des Fahrers abhängig. Ist er mit einem Optimierungsergebnis zufrieden oder nicht? Wenn er zufrieden ist, bevor die technischen und fruchtabhängigen möglichen Grenzen erreicht sind, so ist der Effekt gewiss nicht maximal. Daher fragt ihn der Einstellassistent nach jeder Maßnahme, ob er weiter optimieren möchte, um ihn zu animieren, die Maschineneinstellungen bis an die Grenzen auszureizen. Jedoch optimieren erfahrungsgemäß die mit „weniger zufriedenen“ Fahrer in nicht so hohem Maße wie die stets auf's Maximum bedachten Fahrer. Daraus ergeben sich

nach den bisherigen Erfahrungen eine „mittlere“ und eine „maximale Optimierungsvariante“.

Abb. 14 zeigt die relativen Druschkosten in v. H. des Ernteerlöses über der relativen Kampagneleistung eines Großmähdreschers. Beim Ernteerlös wurden aktuelle Druschfruchtpreise sowie Erträge von 10 t/ha Weizen, 9t/ha Gerste, 9,5 t/ha Triticale, 4,5 t/ha Erbsen und 4,8 t/ha Raps angesetzt. Die Kampagneleistung von 100 % entspricht 804 ha/a. Das Standard-Verlustniveau wurde bei 1 % im Feld und 1 % Mas-sereduktion durch NKB-Anteile von Seiten des Handels angesetzt. Bei mittlerer Optimierung wurden ein um 0,5 €/t höherer Preis plus ein um 0,4 %-Punkte reduziertes Verlustniveau, oder ein um 5 % erhöhter Durchsatz veranschlagt. Bei maximaler Optimierung wurden ein um 1 €/t höherer Preis plus ein um 0,7 %-Punkte reduziertes Verlustniveau, oder ein um 10 % erhöhter Durchsatz festgelegt. Es wurde darauf verzichtet, drei Optimierungseffekte in Summe (höherer Preis plus reduzierte Verluste plus Mehrleistung) in die Kalkulation einzubeziehen, weil dies realitätsfern wäre.

Die Maschinenkosten wurden mit einem Anschaffungspreis von 370.000 €, einer Nutzungsdauer von 10 Jahren, einem Dieselpreis von 1,1 €/l, Fahrerkosten von 30 €/h und sonst beim KTBL üblichen Werten kalkuliert. Der Lohnarbeitssatz wurde mit 120 €/ha für die alternative Inanspruchnahme des Lohnunternehmers angesetzt.

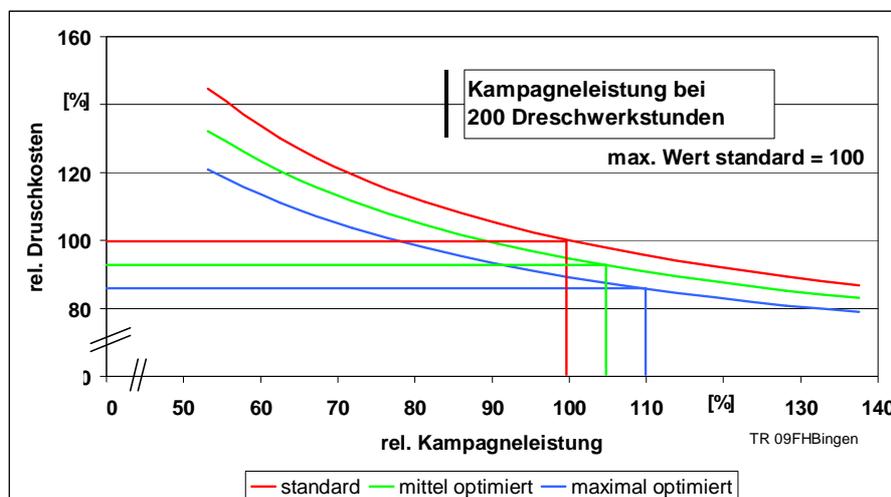


Abb. 14: Vollkostenkalkulation – relative Druschkosten (in v. H. des Erlöses) über der relativen Kampagneleistung (Standardeinstellung = 100)

Mögliche Mehrerträge und Profite durch die beiden genannten praktikablen Optimierungsstufen zeigt Tab. 6. Die Werte beziehen sich ebenso wie die Daten in Abb. 14 auf eine jährliche Einsatzzeit von 200 Dreschwerkbetriebstunden in Druschfrüchten von Gerste bis Weizen in der Saison Juli und August. Greifen alle Optimierungsmaßnahmen, so erhöht sich der Ernteerlös bei mittlerer Optimierung um 54.649 € gegenüber der Standardeinstellung (Qualitäts- und Leistungseffekt) und bei maximaler Optimierung um 113.823 € gegenüber der Standardeinstellung. Da jedoch selten Leistungs- und Qualitätseffekte gleichzeitig in genanntem Maße gegeben sind, wurden in den weiteren Spalten Profitpotenziale berechnet.

Bei 100 % Kampagneleistung ergibt sich durch den Qualitätseffekt (höherer Auszahlungspreis und Verlustreduktion) eine Kostenreduktion von 3,5 bzw. 6 %-Punkten. Das sind unter den gegebenen Bedingungen immerhin bis zu 7.871 €/a bei mittlerer Optimierung und bis zu 15.398 €/a bei maximaler Optimierung (jeweils Mehrerlös abzüglich Druschvollkosten). Der Profit durch die Einsparung von Dreschwerkbetriebstunden aufgrund der höheren Druschleistung bei identischer Kampagneleistung (100 %) beträgt bei mittlerer Optimierung bis zu 1.751 €/a und bei maximaler Optimierung bis zu 3.534 €/a. Hier wurden neben den eingesparten variablen Kosten auch die reduzierten Lohnkosten angesetzt.

Tab. 6: Möglicher jährlicher Profit durch ein mittleres oder maximales Optimierungsniveau der Mähdreschereinstellung bei einer Erntefläche von 804 ha/a (= 100 %) sowie einem Durchschnittspreis von 134,28 €/t Druschgut einer Fruchtfolge mit Weizen (54 %), Gerste (15 %), Triticale, Erbsen (je 4 %) und Raps (24 %)

Maschineneinstellung	Druschfruchtumsatz (geernteter Erlös)	jährlicher Profit durch ...		
		Getreidequalität + 0,5 bzw. 1 €/t Preis bei 100 % Kampagneleistung	reduzierte Dreschwerkbetriebs- stundenzahl bei 100 % Kampagneleistung	eingesparte Lohnunternehmer- kosten für zusätzliche Erntefläche
	€/a	bis zu €/a		
Standardeinstellung	889205	0	0	0
mittlere Optimierung	943854	7871	1751	3669
maximale Optimierung	1003028	15398	3534	7833

Könnten die durch die Optimierung erhöhten Druschleistungen von 5 bzw. 10 % in mehr Kampagneleistung umgesetzt werden, was in den meisten Großbetrieben nicht der Fall ist, so ergäbe sich anstelle der Beauftragung eines Lohnunternehmers zum Preis von 120 €/ha für diese zusätzliche Fläche von knapp 43 bzw. 90 ha ein Profit von bis zu 3.669 €/a bei mittlerer und bis zu 7.833 €/a bei maximaler Optimierung. In diesem Falle wurden von den zusätzlich entstehenden Lohndruschkosten für die o.

g. Flächen die variablen Kosten der Eigenmaschine subtrahiert, weil diese bei der Ernte der Zusatzflächen entstehen.

Insgesamt zeigen die ersten Versuchsergebnisse und Erfahrungen mit dem Einstellassistenssystem CEMOS, dass die Einsparpotenziale beachtlich hoch sind. Der Arbeitsqualitätsaspekt ist trotz geringem aktuellem Preisniveau höher als der Leistungsaspekt. Dies hängt natürlich von der Ausgangssituation ab, d. h., von der Arbeitsleistung und –qualität ohne den Einsatz des Optimierungsservices bzw. von der Qualität des Fahrers. Und da die Qualität des Fahrers völlig verschieden sein kann, wurde als Vergleichsmaßstab die Standardeinstellung gewählt. Nicht zu vernachlässigen ist die Optimierung der Einstellung des Schneidwerkes: Allein die reduzierten Aufnahmeverluste bei Wintergerste entsprechen gemäß den Betriebsgegebenheiten einem Mehrerlös von etwa 8.000 €. Insgesamt erscheint ein durchschnittlicher Profit von bis zu 10.000 €/a beim Einsatz in einem gut ausgelasteten Mähdrescher der obersten Leistungsklasse absolut realistisch. Hinzu kommt der Aspekt, dass die Qualifikation des Fahrers und die Sensibilisierung des Fahrers mit zunehmender Nutzungsdauer des Einstellassistenten ebenfalls zunehmen. Dies ist natürlich kaum quantifizierbar.

6. Perspektiven bei Informationssystemen

Seit dem ersten Einsatz von Induktivgebern zur Überwachung der Drehzahlen wichtiger Antriebswellen zu Beginn der 70er Jahre [26] hat sich einerseits ein großer technischer Fortschritt beim Elektronikeinsatz im Mähdrescher vollzogen. Andererseits lässt auch die heutige Informationstechnik von Mähdreschern noch Wünsche offen, wie z. B. die oft zu ungenaue Körnerverlustanzeige (s. Kap. 4).

Regeltechnik gehört bei Mähdreschern mit Hangausgleich bereits seit den 70er Jahren zum Standard. Einerseits wird mit Hilfe der sogenannten elektronischen Wasserwaage der gesamte Mähdrescher über das Fahrwerk waagrecht gehalten und andererseits regelt die Technik entweder die gesamte Reinigung waagrecht oder es werden Obersiebsegmente waagrecht gestellt oder hangneigungsabhängige Bergaufschüttelbewegungen vollzogen [27]. Diese Regeltechniken gehören heute zum Standard. Hangausgleichssysteme der Reinigung werden oft selbst beim Einsatz in der Ebene gekauft, um allein den Wiederverkaufswert des Mähdreschers zu steigern.

Regeltechniken werden vor allem dann gekauft, wenn ein direkter Kundennutzen erkannt wird. So würde heute niemand auf die Idee kommen, die Bodenabtastungsregeltechnik für den Erntevorsatz nicht zu kaufen, weil ein Großmähdrescher ohne ein solches System gar nicht effizient nutzbar wäre. Ebenso erkennt der Kunde rasch

einen direkten Nutzen eines Lenkautomaten, der 1999 [20] erstmalig vorgestellt wurde. Daher werden Schneidwerke mit zunehmender Arbeitsbreite vermehrt mit sensorgeregelten Lenkautomaten auf Laserbasis oder die Mähdrescher werden mit GPS-geregelten Lenkautomaten versehen. Großmähdrescher werden fast ausschließlich mit diesen Systemen ausgerüstet.

Wird der Kundennutzen nicht direkt erkannt, oder gibt es sogar Probleme mit der Informations- und Regeltechnik, so hält sich der Ausrüstungsgrad in Grenzen. Ein Beispiel hierfür ist u. a. die Ertragskartierung in den Anfangsstadien Ende der 80er Jahre. Zunächst gab es Probleme mit der Messgenauigkeit bzw. der Vielzahl der Einflussgrößen auf die Genauigkeit, je nach System; danach war die exakte Zuordnung der Erträge auf die Teilflächen oft zweifelhaft und schließlich stellte sich die Frage, welche pflanzenbaulichen Entscheidungen aus einer Ertragskarte abzuleiten seien. Trotz der anfänglichen Euphorie hielt sich die Kaufmotivation vieler Landwirte und Lohnunternehmer in Grenzen. Heute gehört auch die Ertragskartierung vor allem bei Großmähdreschern zu den gefragten Zusatzausrüstungen.

Eine ähnliche Entwicklung vollzieht sich derzeit beim Durchsatzregler, der eine vergleichsweise lange Entwicklung hinter sich hat. So wurden schon 1977 Versuche zur Durchsatzregelung [28] durchgeführt. Erst ab 2001, als neben Motordrehzahl und Fahrgeschwindigkeit mehr als eine weitere Regelgröße (Antriebsleistung für das Dreschwerk und/oder Körnerverluste) als Sollwert vorgegeben werden konnte, nahm der Verkauf dieser Regeltechnik mit dem HarvestSmart von John Deere zu. Der Durchbruch dieses Systems kam erst ab 2004/05 mit der Nutzung in Schüttlermaschinen [20]. Dennoch ist der Ausrüstungsgrad mit Durchsatzreglern nicht sehr hoch, weil die große Anzahl von Einflussgrößen vom Bergauf- bzw. Bergabfahren (zusätzliche Be- oder Entlastung des Motors) über den unterschiedlichen Rollwiderstand des Fahrwerkes auf Schlägen mit wechselnden Böden, oder die Erntegutfeuchte (verschiedene Reibungsbeiwerte zwischen Erntegut und Baugruppen des Mähdreschers) bis hin zur unterschiedlichen Verdichtbarkeit bei unterschiedlicher Strohfuchte und -biegefestigkeit (unterschiedliche Schichtdicken) unterschiedliche Istwerte für die Regeltechnik ergeben. Daher funktionieren die aktuellen Durchsatzregler, ob sie HarvestSmart, CruisePilot oder IntelliCruise heißen, nicht unter allen Ernte- und Einsatzbedingungen zufriedenstellend.

Da Mängel bei der Einsatzkoordination (Getreideabfuhr) sowie bei der Gesamtarbeit auf einem Schlag (Beerntungsweise) einen größeren Einfluss auf die Arbeitsleistung ausüben als die technisch installierte Maschinenleistung (ein Mähdrescher einer kleineren Leistungsklasse erbringt bei guter Verfahrensorganisation eine höhere Tagesleistung als ein leistungsstärkerer bei schlechter Organisation), ist die derzeit noch vergleichsweise geringe Akzeptanz von Teleservicesystemen kaum nachvollziehbar.

Dabei ist der Kundennutzen dieser Systeme bereits seit längerer Zeit bekannt [29]. Das erste Teleservicesystem von Riegger RTS wurde bereits 2001 mit einer DLG-Silbermedaille [20] prämiert. Zur Schwachstellenanalyse des Maschineneinsatzes und daraus resultierend zur Verbesserung des Flottenmanagements werden Telemetriesysteme wie Claas Telematics, JD Link oder andere sicherlich zukünftig in höherem Maße eingesetzt werden. Der Kundennutzen dieser Systeme ist offensichtlich noch zu wenig bekannt. Andernfalls würde der Teleservice viel mehr im überbetrieblichen Einsatz u. a. zur leistungsbezogenen Abrechnung der Dienstleistungen genutzt. Gerade hier besteht großer Nachholbedarf, weil die flächenbezogene Abrechnung zu viele Nachteile aufweist.

Zwar bieten die Hersteller von Mähdreschern seit 1991 [31] programmierbare Einstellwerte für verschiedene Früchte und Fruchtbeschaffenheiten. Diese sind jedoch Grundeinstellungen. Und je mehr sich die aktuellen Erntebedingungen von den diesen Grundeinstellungen zugrunde liegenden Erntebedingungen unterscheiden, desto erforderlicher wird eine Einstelloptimierung. Eine Einstelloptimierung mit externer Hilfe aus der Ferne (Teleservice) ist jedoch in geringerem Maße möglich als in direkter Arbeit mit der Maschine. Daher werden Mähdrescher mit zusätzlicher Sensorik, wie z. B. dem Bruchkorn- und NKB-Sensor von New Holland ausgestattet werden, damit der Fahrer autark den Arbeitsprozess optimieren kann. Das System CEMOS nutzt den Fahrer als Sensor und er kann strategisch agieren, statt auf Sensorsignale zu reagieren. Derartige maschinengestützte Optimierungssysteme werden in absehbarer Zukunft zur Grundausstattung eines Mähdreschers gehören wie heute das Informationssystem. Denn hier ist der Kundennutzen, ähnlich dem Lenkautomaten, direkt erkenn- und nachvollziehbar (s. Kap.5).

Dass sich ein Mähdrescher in absehbarer Zeit selbsttätig einstellen wird, ist fraglich. Während z. B. die Häcksellänge beim Feldhäcksler einfach abhängig von der gemessenen Trockenmasse, ausgehend von der eingestellten mittleren Häcksellänge auf kürzere oder längere Werte geregelt werden kann, hat ein Mähdrescherfahrer allein beim Auftreten von anhaftenden Spelzen am Weizenkorn bis zu sechs Non-Stop-Einstelloptionen. Die Einstellung eines Mähdreschers ist um ein vielfaches komplexer als die eines Feldhäckslers. Es müssten die Werte einer Vielzahl von Sensoren vorliegen, um die Mähdreschereinstellung ausgehend von der vom Hersteller vorgegebenen Grundeinstellung zu optimieren. Diese Sensoren sind entweder aktuell nicht verfügbar, oder sie messen nicht exakt genug.

Insgesamt besteht noch hoher Weiterentwicklungsbedarf bei der Sensorik. Der Fahrer der Zukunft will nicht nur wissen, wie viel Bruchkorn oder anhaftende NKB sich im Bunker befinden, sondern er will auch wissen, wie die Körnerverluste beschaffen sind – Vollkörner in den Ernteverlusten erfordern andere Reaktionen als Kümmer-

körner; um nur ein Beispiel zu nennen. Auch wird der einfache Körnerverlustmonitor zukünftig nicht mehr reichen. Vor allem in Großmähdreschern müssen die Schwachstellen der Kornabscheidung lokalisiert werden – ein Mähdrescher kann viel präziser eingestellt werden, wenn der Fahrer sieht, wie hoch die Kornabscheidung am Dreschkorb ist bzw. wie viel Korn auf die Schüttler gelangt.

Ob sich eine Sortierung des geernteten Kornes nach Qualitätseigenschaften wie dem Eiweißgehalt durchsetzen wird, ist sicherlich vornehmlich eine Frage des Marktpreises von höherwertigem Getreide. Denn dazu muss der Mähdrescher mit zwei Kornbunkern ausgerüstet sein [30] und auch die Abfuhr- und Lagerlogistik muss auf die Chargentrennung ausgelegt sein. Die Machbarkeit der Echtzeiterfassung auf dem Mähdrescher wurde in den zurückliegenden Jahren bereits gezeigt [32] und als praxistauglich eingestuft. Die Echtzeiterfassung an der Maschine mit geteiltem Kornbunker bietet auch die Chance zur Selektion von GVO oder mykotoxinbelasteten Getreide aus der Partie woran derzeit noch geforscht wird [33]. Auch hier entscheidet aber der Marktpreis, ob sich so ein Messsystem mit geteiltem Kornbunker durchsetzen wird.

Gleichgültig wie hoch der Automatisierungsgrad im Mähdrescher sein wird – der Fahrer wird entgegen vieler Meinungen nicht wegrationalisiert werden können. Vielleicht mag es sein, dass der Fahrer die Maschine kurzzeitig selbsttätig arbeiten lässt, wenn die Erntebedingungen dies zulassen, wie z. B. die Ernte von stehendem Weizen auf ebener Fläche. Spätestens jedoch bei unebenem Boden und/oder liegendem Getreide, kann keine Sensorik und Regeltechnik den Fahrer ersetzen. Denn wie soll der Mähdrescher die Erde eines Wildaufwurfes, die auf dem Schneidtisch liegt und zu Verstopfungen führt, eigenständig beseitigen? Eine durch welchen Fremdkörper auch immer zerstörte Mähmesser Klinge lässt sich nicht ohne handwerkliches Geschick auswechseln; um nur wenige Beispiele zu nennen. Und für die Gesamtüberwachung wird es wohl kaum genügend Sensorik geben, jedenfalls nicht zu akzeptablen Preisen. Einen Mähdrescher eigenständig ernten lassen, ist um ein Vielfaches komplexer als einen LKW automatisch über eine Autobahn fahren zu lassen. Wer unter verschiedensten Erntebedingungen Erfahrungen sammeln durfte, kann nachvollziehen, dass der Fahrer nicht wegrationalisiert werden kann – und auch nicht sollte; sicherheitstechnische Aspekte sind nicht zu vernachlässigen.

7. Zusammenfassung

Das Angebot von Dresch- und Abscheidesystemen ist durch eine zunehmende Variantenvielfalt gekennzeichnet. Neben den Schüttler-Mähdreschern mit den hersteller-

spezifischen zusätzlichen Abscheiderotoren wie Zentrifugalabscheider und Beschleuniger werden Tangential-Rotor-Mähdrescher (Hybrid-Mähdrescher) mit Rotoren anstelle der Schüttler und Axial-Rotor-Mähdrescher mit einem oder zwei Rotoren angeboten. Auf der Agritechnica 2009 zeigten zwei weitere Hersteller ein erweitertes Angebot. Die meisten Hersteller bieten zwei Systeme, zwei Hersteller nun sogar alle drei Systeme an. Dieses erweiterte Angebot unterstreicht nochmals die spezifischen Vor- und Nachteile der verschiedenen Varianten. Die Wahl des „richtigen“ Systems wird somit noch mehr zu einer betriebsspezifischen Investitionsentscheidung und für den Landwirt oder Lohnunternehmer nicht einfacher.

Verschiedene Untersuchungen, auch an der FH-Bingen belegen, dass die Kornqualität weniger vom Dresch- und Abscheidesystem selbst als von der Maschineneinstellung abhängig ist. Zwar ist das Bruchkornrisiko bei Axial-Mähdreschern prinzipiell geringer als bei Tangential-Mähdreschern, jedoch lassen sich auch mit Letzteren geringe Bruchkornanteile realisieren. Bruchkornanteile über drei Prozent sind vermarktungstechnisch als kritisch anzusehen. Diese werden bei angepasster Mähdreschereinstellung auch mit Tangential-Mähdreschern unterschritten. Oft wird bei Kostenkalkulationen bez. Kornqualität angenommen, dass etwa 50 % des erzeugten Bruchkornes die Maschine als Verluste verlassen. Untersuchungen zeigen jedoch, dass entgegen dieser Annahme bei modernen Reinigungen durchschnittlich nicht mehr als 20 % des Bruchkornes die Maschine verlässt. Je höher der Gesamt-Bruchkornanteil, desto geringer werden die Bruchkornanteile in den Körnerverlusten.

Mit moderner Sensorik kann die Kornqualität nur bedingt erfasst werden, weil nicht zwischen anhaftenden Nicht-Korn-Bestandteilen (NKB) und losen NKB unterschieden werden kann. Daher lassen sich die Sensordaten nur in geringem Maße zur Optimierung der Maschineneinstellung nutzen. Das auf der Agritechnica 2009 vorgestellte Einstelloptimierungssystem CEMOS berücksichtigt alle Maschineneinstellungen vom Schneidwerk bis zum Häcksler. Der Fahrer kann mit diesem System die Maschineneinstellung interaktiv optimieren. Erste Versuchsergebnisse zeigen, dass dieses System in einem Mähdrescher der obersten Leistungsklasse einen jährlichen Profit von durchaus 10.000 € bewirken kann. Dieser Wert basiert auf einem Vergleich mit den Standardeinstellungen und ist von den Qualifikationen des Fahrers abhängig. Die Versuchsergebnisse verdeutlichen auch, dass durch Optimierung der Einstellungen eines Schneidwerkes mit variabler Tischlänge die Aufnahme- und die Dresch- und Abscheideverluste reduziert werden können und somit das Schneidwerk eine Schlüsselfunktion im Gesamtprozess hat. Einstellassistenten werden in absehbarer Zeit zur Standardausrüstung eines Mähdrescher gehören, wie heute ein Informationssystem.

Insgesamt ist die Investition in Informations- und Regeltechnik zur Steigerung von Leistung und Arbeitsqualität sicherlich eine kostengünstige Alternative zur Anschaffung von mehr technischer Kapazität in Form von „Stahl und Eisen“. Daher ist es wenig nachvollziehbar, dass seit längerer Zeit angebotene Informationstechniken im Markt vergleichsweise unterrepräsentiert sind. Sicher ist, dass die Entwicklung von Automatisierungstechniken weiter vorangetrieben und damit der Fahrer bei zunehmender Arbeitsqualität und –leistung immer mehr entlastet wird. Es wird aber nicht gelingen, den Fahrer des Mähdreschers durch Technik zu ersetzen.

8. Literatur

1. RADEMACHER, TH.: Techniken für höhere Effizienz des Mähdresches. Trends zur Verfahrenstechnik der Druschfruchternte. Trendbericht Agritechnica 2009 der DLG
2. AGCO: Massey Ferguson Gesamtprogramm 2010. Beilage zu verschiedenen landwirtschaftlichen Fachzeitschriften im Dezember 2009
3. CASE IH: Betriebsanleitung Axialfluss-Mähdrescher 9010, Case IH, CNH Global 2008
4. CLAAS: Betriebsanleitung der Mähdrescher Lexion 600, Claas Harsewinkel 2008
5. NEW HOLLAND: Betriebsanleitung Mähdrescher der CR-Baureihe 9070 und 9080, New Holland Deutschland Heilbronn 2008
6. JOHN DEERE: Betriebsanleitung Mähdrescher der STS-Baureihe. John Deere Harvester Works Bruchsal 2003
7. RADEMACHER, TH.: Weizenernte. In: Christen, O.: Winterweizen – Ein Handbuch für Profis. DLG-Verlags-GmbH, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt, 2009, ISBN 978-3-7690-0719-0
8. CLAAS: Prospekt Hybrid-Mähdrescher Tucano 480.
http://www.claas.com/countries/generator/clpw/de/products/maehdrescher/tucano_hybrid/start,lang=de_DE.html, 12/2009
9. DEUTZ-FAHR: Prospekt Schüttler-Mähdrescher Baureihe 45. http://www.deutz-fahr.com/GERMANY/deDE/54er_baureihede.html?identitytypecustomfields=DESCR_OVERVIEW&idproduct=63, 12/2009
10. DEUTZ-FAHR: Prospekt Axial-Rotormähdrescher 7545 RTS/7535 RTS.
http://www.deutzfahr.com/GERMANY/deDE/4197de.html?identitytypecustomfields=DESCR_OVERVIEW&idproduct=115, 12/2009
11. JOHN DEERE: John Deere Mähdrescher. Das Maß der Dinge. Gesamtprospekt Mähdrescher.
http://www.deere.com/de_DE/brochures/downloadcenter/index.html, 11/2009
12. FENDT: Prospekt Axial-Rotormähdrescher 9300 R, 9350 R und 9460R.
http://www.fendt.com/de/download/Fendt_MD-R_dt_Internet.pdf, 12/2009
13. New Holland: Prospekt Axial-Rotormähdrescher der CR-Baureihe 9000.
http://agriculture.newholland.com/Germany/de/Products/Combine/CR9000/Pages/products_overview.aspx?nhpid=CR9000, 12/2009
14. RADEMACHER, TH.: The increase of efficiency of combines through optimisation of the machine's settings. VDI/MEG Conference Agricultural Engineering, Hannover, 06./07. November 2009, VDI-Verlag Düsseldorf 2009, S. 369 – 374, ISSN 0083-5560
15. RADEMACHER, TH.: Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Mähdreschern unter Berücksichtigung von verschiedenen Parametern, insbesondere der Arbeitsqualität. VDI-MEG Kolloquium Mähdrescher. Heft Nr. 39, S. 76 – 85, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 2007
16. FISCHER, D.: Untersuchungen zur Druschleistung eines Schüttler-Mähdreschers unter Berücksichtigung der Arbeitsqualität – eine Alternative zur konventionellen Verlust-Durchsatzkennlinie? Masterarbeit mit Sperrvermerk an der Universität Hohenheim 2007
17. WILCZEK, U. S., KRAUSE, R., SCHEFFER, K.: Aspekte der Körnerbruchproblematik am Mähdrescher. Diplomarbeit an der Universität Kassel, Fachgebiet Agrartechnik, Sommersemester 2003 <http://www.unikassel.de/fb11/agrartechnik/Fachgebiet/Diplomarbeiten/2003%20Wilczek.pdf>, 12/2009

18. BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG: Richtlinien zur Durchführung der Intervention von Getreide für das Geschäftsjahr 2009/2010.
http://www.ble.de/cln_090/nn_427416/SharedDocs/Downloads/01__Marktangelegenheiten/05__Intervention/Getreide/Interventionsrichtlinien2009-2010/InterventionsrichtlinienGetreide0910,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/InterventionsrichtlinienGetreide0910.pdf, 12/2009
19. NEW HOLLAND: Die ungesesehenen Verluste. Kalkulationsschieber der Fa. New Holland Deutschland. Heilbronn 2009
20. BERTRAM, H., HERRMANN, K.: Innovation pur. 20 Jahre Agritechnica-Neuheiten. DLG-Verlags GmbH 2005, ISBN 3-7690-0666-6
21. HINDRYCKX, K.: Intelligent User Interface. The increase of efficiency of combines through optimisation of the machine's settings. VDI/MEG Conference Agricultural Engineering, Hannover, 06./07. November 2009, VDI-Verlag Düsseldorf 2009, S. 357 – 361, ISSN 0083-5560
22. BAUMGARTEN, J., NEU, S., KETTELHOIT, B.: An assistance system for the optimization of the harvesting process in combine harvesters. VDI/MEG Conference Agricultural Engineering, Hannover, 06./07. November 2009, VDI-Verlag Düsseldorf 2009, S. 363 – 368, ISSN 0083-5560
23. FREHLICH, G. E.: White 9700 Self-Propelled Combine. Evaluation Report 288. Prairie Agricultural Machinery Institute. ISSN 0383-3445. Humboldt, Canada, 1982
24. WOLLESEN, J.: Beschreibung der transportablen Schüttelbox. <http://www.agri-broker.de/dedi/projekt01/index.php?idcatside=112&sid=47a5c37aa2c6ff848a869dd773180ac0.01/2010>
25. CASE IH: Produktleitfaden Mähdrescher Axial-Flow, Serie 88 und Serie 20.
<http://www1.caseih.com/germany/Products/maehdrescher/02/Pages/Intro.aspx#.01/2010>
26. CLAAS: Prospekt des Mähdreschers Dominator 105. Claas Harsewinkel 1974
27. RADEMACHER, TH.: Hangausgleichssysteme von Mähdreschern: Dreschen am Hang wie in der Ebene. profi, Magazin für Agrartechnik, Heft 7, 1994, S. 50 - 53
28. EIMER, M.: Optimierung der Arbeitsqualität des Schlagleistendreschwerkes. Grundlagen der Landtechnik. Heft 1, 1977, Seite 12 –17
29. RADEMACHER, TH.: Teleservice – Transparenz beim Einsatz von Traktoren und selbstfahrenden Erntemaschinen. RKL-Schrift 2005, S. 179 – 205
30. RISIUS, R., HAHN, J., KORTE, H.: Implementation of Process Analytical Technologie (PAT) for the Determination of Produkt Quality on a Combine Harvester. VDI/MEG Conference Agricultural Engineering, Hannover, 06./07. November 2009, VDI-Verlag Düsseldorf 2009, S. 375 – 380, ISSN 0083-5560
31. JOHN DEERE: Betriebsanleitung Mähdrescher 2054 bis 2064. John Deere Werke Zweibrücken 1992
32. RECKLEBEN, Y., HARTUNG, E.: Online Erfassung von Inhaltsstoffen mit der Nahinfrarot-Reflexionsspektroskopie. KTBL Schrift 419, 2006, 3.2.3.15, S. 1 – 5
33. RECKLEBEN, Y.: Elektronik – daran arbeiten die Hersteller. DLG Mitteilungen 2/2010, S. 90 – 93