



Rationalisierungs-Kuratorium
für Landwirtschaft

Mähdrescher

- vom Erntevorsatz bis zur Ökonomie



Prof. Dr. Thomas Rademacher

Mähdrescher – vom Erntevorsatz bis zur Ökonomie

September 2015

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

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL e.K.)

Inhaber: Albert Spreu

Grüner 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 1100 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.....	863
2. Erntevorsätze – Angebotsvielfalt und Bewertung	864
3. Dresch- und Abscheidesysteme	876
4. Einstellassistenten und –regeltechniken - Kundennutzen.....	883
5. Bewertung der Druschleistung und Arbeitsqualität	892
6. Bewertung der Strohernte bei Nutzung verschiedener Mähdrescher	898
7. Hinweise zur Rapsernte.....	903
8. Fahrwerke und Ausstattungskombinationen.....	905
9. Ansätze ökonomischer Bewertungen	909
10. Zusammenfassung.....	917
11. Literatur.....	918

1. Einleitung

Das Investitionsverhalten von Landwirten und Lohnunternehmern in Techniken für die Druschfruchternte unterliegt vielfältigen Einflussgrößen. Einerseits führen steigende Erzeugerpreise zu mehr Investitionen in Druschfruchterntetechnik mit dem Effekt, mit mehr Kapazität die wertvollere Ernte zu sichern. Sinken danach die Erlöse wie im Jahr 2014, führt dies zu abnehmender Wirtschaftlichkeit der Erntetechnik. Andererseits nehmen seit der Jahrtausendwende die verfügbaren Mähdruschstunden in vielen Regionen ab, so dass die Mähdruschkapazität auch bei reduzierten Preisen aufgestockt wird, um eine völlige Überständigkeit der Bestände zu vermeiden. Ziel ist es immer, die Ernte in möglichst hohem Maße zu sichern.

Der Investor steht also immer in dem Zielkonflikt „Investitionsvolumen versus Sicherung der Ernte“. Eine zu hohe Druschkapazität schmälert den wirtschaftlichen Erfolg ebenso wie ein zu hohes Risiko, die Ernte nicht termingerecht einbringen zu können. Daher werden regionsspezifisch unterschiedliche Strategien realisiert. Besteht im Mittel der Jahre eine große Chance, die Ernte trocken einzubringen, so wird mehr in Mähdruschkapazität investiert, um die Stunden, in denen trocken geerntet werden kann, möglichst intensiv zu nutzen. In Betrieben mit hohen Anteilen zu trocknender Ware, vor allem in Küstennähe und in Mittelgebirgslagen wird dagegen mit weniger Mähdruschkapazität, aber entsprechend hoher Trocknerleistung geerntet.

Die Erfahrungen der vergangenen Jahre zeigen, dass vor allem in nassen Jahren wie 2014 – mit Ausnahme Norddeutschlands – nicht nur die Erntebedingungen zu einer Ernteverzögerung führen, sondern auch die Einsatzbedingungen. Da die Böden nicht befahrbar waren, wurde in vielen Regionen der letzte Weizen erst im Oktober geerntet. Lohnunternehmer und Landwirte stellen vermehrt die Frage, wie auf derartige Situationen zu reagieren ist.

Denn die Angebotsvielfalt von Erntetechnik hat in den letzten Jahren nochmals zugenommen; allerdings sind die Technikpreise auch in nicht unerheblichem Maße gestiegen. Umso mehr ist nicht nur die Frage nach der technischen Kapazität eines Mähdreschers, sondern immer mehr die betriebsangepasste Ausstattung der Maschine von besonderer Bedeutung.

Ziel dieser Schrift ist es, die technischen Entwicklungen im Bereich Druschfruchternte darzustellen und einige Empfehlungen zur Vor- oder Nachzügigkeit verschiedener Techniken zu geben. Es sollen auch

Fragen zum monetären Kundennutzen von Informationstechniken beantwortet werden. Darüber hinaus werden verschiedene Wirtschaftlichkeitsanalysen vorgestellt, um daraus Beratungsansätze abzuleiten.

2. Erntevorsätze – Angebotsvielfalt und Bewertung

Die Angebotsvielfalt von Erntevorsätzen (Abb. 1) ist weitaus größer als die für die verschiedenen Dresch- und Abscheidesysteme der Mähdrescherhersteller. Dies lässt sich einfach begründen: Dresch- und Abscheidesysteme sind je nach Einstellung und passender Umrüstung mit spezifischen Vor- und Nachteilen für alle Druschfrüchte tauglich. Das Erntegut muss jedoch in den Mähdrescher gelangen und dies funktioniert eben kultur- und verfahrensabhängig nicht immer mit dem Standard-Schneidwerk. Dieses ist aber durch verschiedene Aus- und Umrüstungen für die meisten Mähdruschfrüchte am universellsten einsetzbar.

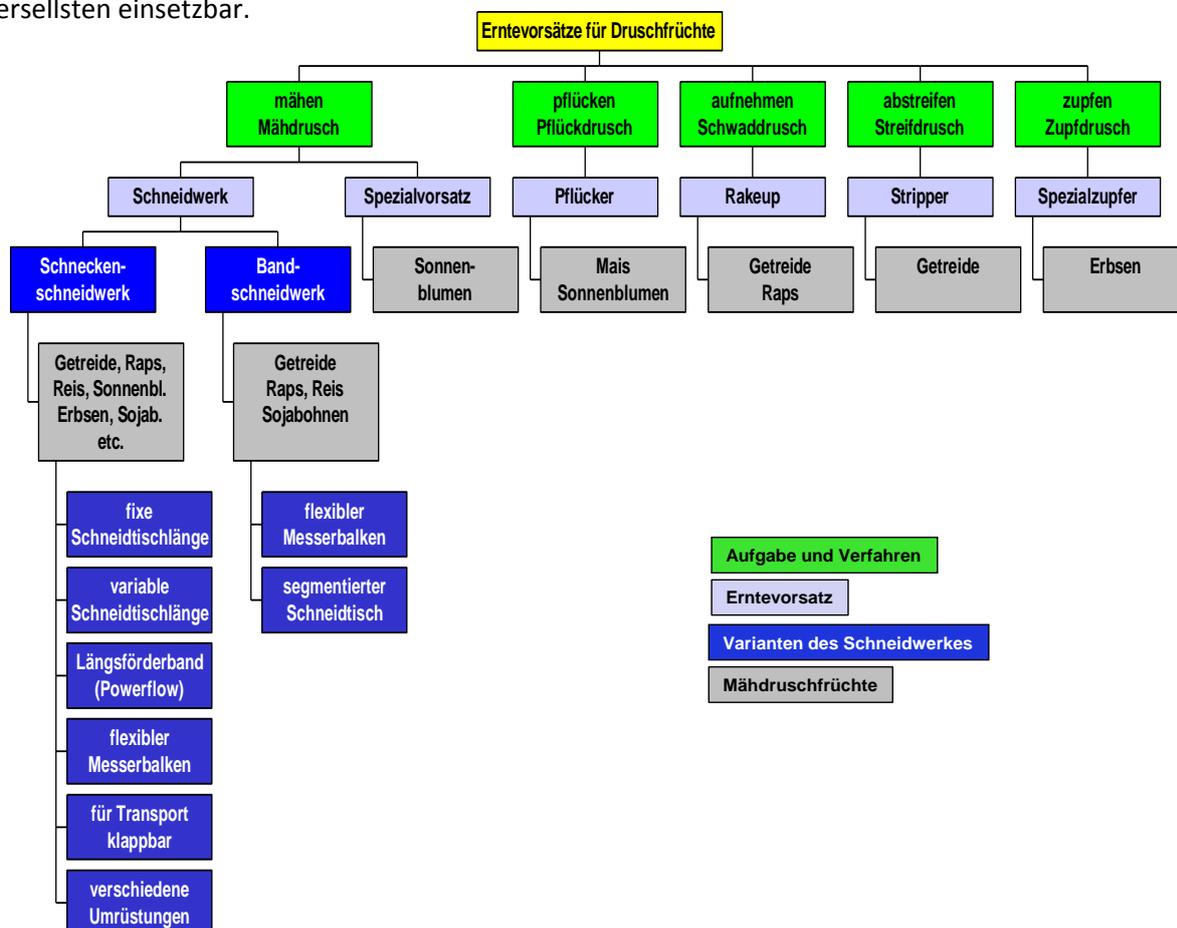


Abb. 1: Übersicht der verschiedenen Erntevorsätze für Mähdrescher in Abhängigkeit von der zu dreschenden Frucht [nach: 35]

Bei uns fast nicht mehr vertreten ist der Schwaddrusch, für den die Rakeup (Pickup mit zinkenbestücktem Längsförderband) verwendet wird. Früher wurden Pickups genutzt, die jedoch aufgrund der zu hohen Aufnahmeverluste vollständig durch Rakeups ersetzt wurden. Regionsspezifisch wird im Schwad liegender Raps sogar mit dem Standardschneidwerk aufgenommen. Das Verfahren wird hier nicht näher beschrieben.

Der Streifdrusch konnte sich bei uns nicht durchsetzen, weil der Ährenstripper von Shelbourne Reynolds nur für Getreide geeignet ist und die Aufnahmeverluste zu hoch sind. Und ebenfalls eine Nischenlösung ist der aus Kanada stammende Zupfvorsatz für Erbsen, der in einigen Betrieben in Ostdeutschland eingesetzt wird, aber nur funktioniert, wenn der Boden pulvertrocken ist. Denn die gesamten Erbsenpflanzen werden aus dem Boden gerissen und wie ein Teppich in den Mähdröschler gefördert (Abb. 2).



Abb. 2: Erbsenzupfer zur Aufnahme der gesamten Pflanze auf trockenen Böden

Das **konventionelle Schnecken-Schneidwerk** wird mit verschiedenen Umrüstungen für die meisten Druschfrüchte genutzt. Auffallend sind die vielen Vorsatzvarianten für die Ernte von Sonnenblumen. Diese reichen vom konventionellen Schneidwerk, das mit Schiffchen und Haspellatten ausgerüstet wird, über den umgerüsteten Maispflücker bis hin zum Spezial-Erntevorsatz. Diese Spezial-Erntevorsätze können Klemmband-Schneidwerke oder Vorsätze mit Rüttelhauben sein, die von weitem optisch kaum von einem Maispflücker zu unterscheiden sind.

Am häufigsten sind Sonnenblumenvorsätze (Abb. 3) mit Schiffchen anstelle des Schneidtisches vertreten. Am Ende der Schiffchen befindet sich das Mähmesser mit einer großen Klinge oder drei konventionellen Klingen pro Doppelfinger und darunter befindlichem Leitrotor für die Stängel. Dieser zieht die Stängel vor dem Schnitt nach unten, damit möglichst wenig Stroh in den Mähdröschler gelangt. Die abgeschnittenen Sonnenblumenkörbe werden von einem mit Zinken bestückten Rotor zur Einzugsschnecke bewegt. Diese Vorsätze werden von vielen Herstellern gefertigt und werden bei hohen Anteilen Sonnenblumen in der Fruchtfolge wirtschaftlich. Daher werden sie in Europa mehr im Osten und Südosten sowie in Südamerika, wie beispielsweise in Argentinien eingesetzt, wo Kampagneleistungen von 20 000 bis 30 000 t Druschfrüchte pro Jahr bei Mähdröschern der oberen Leistungsklassen durchaus üblich sind.



Abb. 3: Spezial-Erntevorsatz für Sonnenblumen von Mainero (Argentinien)

Ähnlich wie beim Hinterpflückerhäcksler des Maispflückers wird auch bei Sonnenblumen an Zerkleinerungsvorrichtungen für das Stroh gearbeitet. Denn einerseits können die langen, sperrigen Stängel langfristig Schäden am Mähdrescher verursachen. Und andererseits soll die Strohrotte beschleunigt und die Bearbeitbarkeit des Bodens für die Folgefrucht erleichtert werden.

Das **Standard-Schneidwerk** mit fixer Tischlänge ist für die Ernte von Getreide und Raps schon lange nicht mehr das Maß der Dinge. Denn seit MF in der 90er Jahren das Power-Flow-Schneidwerk einführte, ist bekannt, dass die Schneidwerkskonstruktion und die Einstellung des Schneidwerkes für den Gutfluss und damit die Arbeitsleistung und die Arbeitsqualität des Mähdrusches eine entscheidende Rolle spielt. Es werden aktuell die in Abb. 4 dargestellten Varianten von Schneidwerken mit starrem Messerbalken und Haspel angeboten.

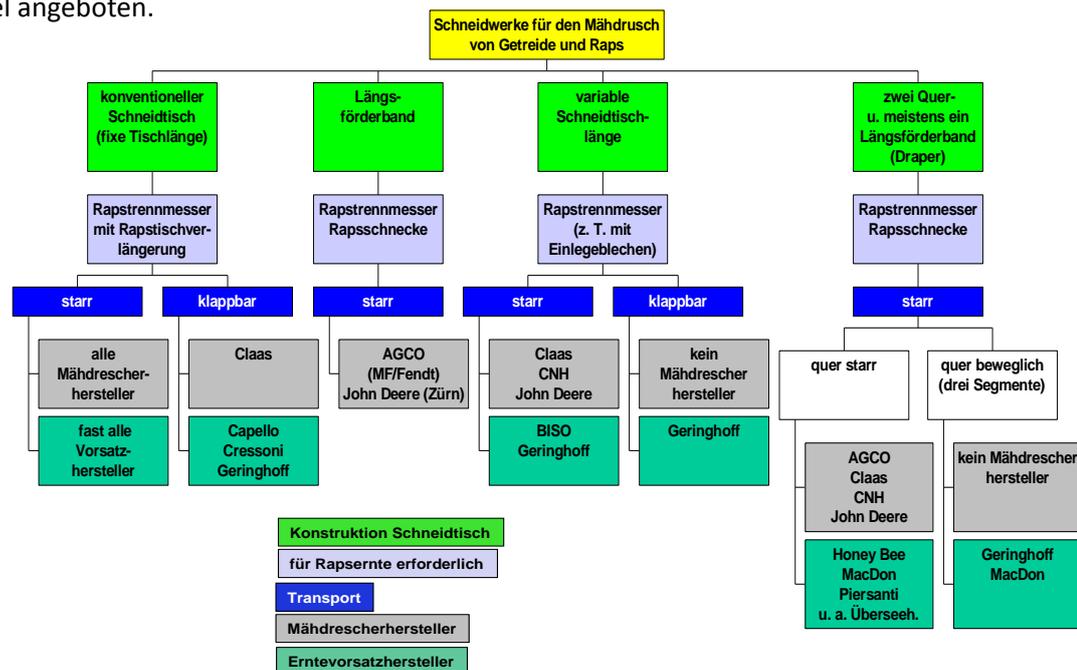


Abb. 4: Schneidwerke für den Mähdrusch von Getreide und Raps mit starrem Messerbalken [nach: 35]

Entscheidend für die Mähdrescherleistung ist neben einem gleichmäßigen Gutfluss vor allem die Zuführung der Druschfrucht mit den Ähren voran zum Dreschwerk. Denn bereits aus den 60er Jahren stammende Prüfstandsuntersuchungen belegen, dass dadurch die Kornabscheidung am Dreschkorb zunimmt und somit auch die Druschleistung.

Dies belegen auch eigene Versuche im Feld (Abb. 5): Der Mähdrescher erntete mit unveränderter Fahrgeschwindigkeit von 5,0 km/h. Zwischen den Messstrecken wurde nur die Schneidtlängde verändert und bei geringster Tischlänge (-1) wurde der durchschnittlich etwa 1,0 m hohe Weizenbestand mit der Haspel (tiefe Position, geringe Drehzahl) zusätzlich nach vorne geschoben. Diese Einstellung erhöhte die Gesamtverluste, weil der Weizen mit dem Halm voran in das Dreschwerk geriet und demzufolge die Kornabscheidung verringert wurde. Zusätzlich entwickelte sich durch diese, im Grunde genommen falsche Einstellung ein diskontinuierlicher Gutfluss mit entsprechender unterschiedlicher Belastung der Dresch- und Abscheideorgane.

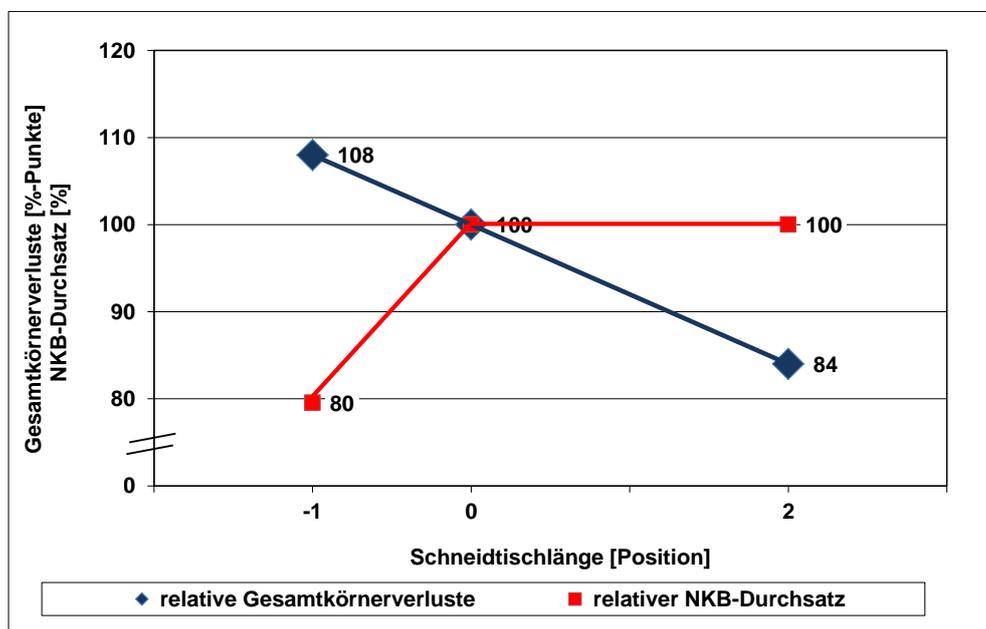


Abb. 5: Gesamtverluste und NKB-Durchsatz eines Hybrid-Mähdreschers bei gleichbleibender Erntegeschwindigkeit und unterschiedlicher Schneidtlängde bei der Ernte von langstrohigem E-Weizen – 0 = Standardlängde, -1 = 10 cm verkürzt, +2 = 20 cm verlängert [37]

Außerdem verringerte sich der NKB-Durchsatz (Stroh und Spreu), weil durch das Schieben des Bestandes mit der Haspel nach vorne und den Stau von Weizenhalmen im Bereich zwischen Messer und Einzugschnecke, also auf dem zu kurzen Schneidtable eine längere Stoppel gemäht wurde. Die Körnerverluste erhöhten sich um 8 %-Punkte, trotz eines um 20 %-Punkte reduzierten NKB-Durchsatzes.

Wenn umgekehrt der Schneidtable für die Aufnahme des langstrohigen Weizens um 20 cm verlängert wird, greift die Einzugschnecke die Halme und zieht sie gleichmäßig mit den Ähren voran in den Einzugskanal. Diese Einstellung reduzierte in diesem Versuch die Kornverluste um 16 %-Punkte – eine einfache Einstellmaßnahme mit großer Wirkung. Gleichzeitig bleibt das Stoppelbild gleichmäßig.

Eine zu kurze Schneidtlängde von mehr als 7,5 m breiten Schneidwerken an leistungsstarken Mähdreschern mit Erntegeschwindigkeiten von mehr als 5 km/h lässt sich nach der Ernte oft am Stoppelbild erkennen. In der Mitte des Schneidwerkes sind die Stoppeln länger. Denn der Getreidestrauch mittig vor der Einzugschnecke drückt die Halme vor dem Schnitt durch das Mähmesser nach vorne. Die zuneh-

menden Kornverluste kann der Fahrer einfach während der Ernte prüfen: Wird der Einzug des Erntegutes bei zu kurzem Schneidtisch ungleichmäßig und werden die Pflanzen mehr mit den Halmen voran eingezogen, so zeigt der Kornverlustmonitor mehr Abscheideverluste an. Die Tischlänge ist korrekt eingestellt, wenn die Druschfrucht gegen die Einzugsschnecke fällt (Abb. 6) und direkt eingezogen wird, sich also kein Strauß vor der Einzugsschnecke bildet. Bei Mähdreschern mit Standard- und Zentrifugalabscheider-Dreschwerken ist dieser Effekt oft hörbar – die Annahmegeräusche der Dreschtrommel nehmen ab.



Abb. 6: Angepasste Schneidtischlänge für gleichmäßigen Gutfluss – eine Straußbildung vor der Einzugsschnecke ist zu vermeiden

Der höhere Durchsatz bzw. geringere Kornverluste bei gleichmäßigem Gutfluss sind also die Hauptgründe für den hohen Ausrüstungsgrad von Mähdreschern mit den sogenannten Vario-Schneidwerken. Der zu Beginn der Markteinführung dieser Schneidwerke häufig genannte Grund „geringerer Umrüstaufwand für die Rapsernte“ ist dagegen heute eher ein Nebeneffekt. Daher bieten bis auf Fendt und MF, die nach wie vor auf das Powerflow-Schneidwerk setzen, alle Mähdrescherhersteller Schneidwerke mit variabler Tischlänge an. Wenn diese nicht aus Eigenfertigung stammen, werden meistens Schneidwerke von Geringhoff, sogar in Original-Mähdrescherfarbe, oder von BISO angeboten.

John Deere stellte zur Agritechnica 2013 eine Eigenkonstruktion eines Schneidwerkes mit variabler Tischlänge mit Arbeitsbreiten von 6,7 bis 12,2 m, die Serie 600X vor. Somit hat John Deere jetzt für das obere Leistungssegment drei verschiedene Schneidwerkvarianten mit festem Messerbalken im Angebot. Für 2014 war nur eine begrenzte Stückzahl der neuen Schneidwerke verfügbar. Aktuell [20] ist das neue Schneidwerk noch nicht im Angebot von John Deere.

Claas war 1997 der Markteinführer von Schneidwerken mit variabler Tischlänge [33]. Zur Saison 2015 wurden die Vario-Schneidwerke mit 7,7 und 9,3 m Arbeitsbreite überarbeitet [8]. In der Saison 2014 waren einige Vorserienexemplare im Einsatz. Wesentliches Merkmal ist der Verzicht auf die bisherigen Einlegebleche für die Umrüstung auf die Rapsernte bei einer Verstelllänge des Tisches um insgesamt 70 cm. Bei der Rapsernte mit langem Tisch ist zur Anpassung an den Bestand noch eine Tischlängenänderung um 15 cm möglich.

Alternativ zur Änderung der Tischlänge in Form einer Non-Stop-Einstellung (während der Ernte) bietet Claas die Cerio-Schneidwerke an. Nach dem Lösen von 10 Schrauben lässt sich die Tischlänge von der Nullposition ausgehend um 10 cm verkürzen oder verlängern [8]. Ob diese Stop-Einstellung zur Anpassung an verschiedene Bestände öfter genutzt wird, ist fraglich. John hat eine Stop-Tischlängenveränderung um 10 cm nicht mehr im Angebot, weil diese offensichtlich zu selten genutzt wurde.

Ein Nachteil der Schneidwerke mit variabler Tischlänge ist ihr größeres Gewicht von etwa 50 bis 100 kg pro Meter Arbeitsbreite im Vergleich zum konventionellen Schneidwerk. Dies ist vor allem durch die Teleskop-Rahmenkonstruktion bedingt, die ausreichende Stabilität gewährleisten muss. Hinzu kommen Spanntechniken für die Messerantriebsriemen, die bei größerer werdender Tischlängendifferenz entsprechend konstruiert sein müssen, sowie die Hydrauliktechnik. Die geringste Gewichts Differenz zwischen Standard- und Vario-Schneidwerken ist bei Claas gegeben [35].

Als einziger Hersteller bietet Geringhoff **klappbare Schneidwerke** mit variabler Schneidtableslänge an (Abb. 7). Beim Harvest-Star Schneidwerk mit einer Arbeitsbreite von 6,6 m und einer Tischlängenverstellung von 50 cm beträgt die Transportbreite 3,5 m. Mit dieser Technik lässt sich ein Mähdrescher auch in kleinen Strukturen maximal an die gegebenen Erntebedingungen anpassen. Mit 6,6 m ist die maximal mögliche Arbeitsbreite bei einer Transportbreite von 3,5 m erreicht [19].

Detaillösungen wie die von der Schneidwerkrückwand ausgehenden, schräg angestellten Haspel-Hydraulikzylinder und der fast naht- und stufenloselose Übergang von den Halmteilern bis zu den Seitenverkleidungen mit geringem Steigungswinkel verhindern auch bei liegendem Getreide ein Aufschieben von Pflanzen auf der Schneidwerk-Seitenwand. Dies verhindert wiederum ein Wickeln von Pflanzen um die Haspelwelle. Und durch die hydraulischen Antriebe werden Lastspitzen beim Kontakt mit Fremdkörpern reduziert, so dass Mähmesser und -finger nicht so oft gewechselt werden müssen wie bei mechanischen Antrieben. Ob die hydraulischen Antriebe sich negativ auf den Dieselverbrauch des Mähdreschers auswirken, müsste gemessen werden. Insgesamt ist die Einsatzsicherheit dieses Schneidwerkes von Geringhoff als hoch zu bewerten.



Abb. 7: Geringhoff Harvest-Star mit 6 m Schnittbreite in wechselnd liegender Gerste – quasi nahtloser Übergang von Halmteilern zur Seitenverkleidung

Beim klappbaren Schneidwerk von Capello mit 6,9 m Arbeitsbreite und fixer Tischlänge beträgt die Transportbreite bereits 3,9 m. Ähnliches gilt für Cressoni: Das klappbare Schneidwerk mit 7,2 m Arbeitsbreite ist durch eine Transportbreite von 3,85 m gekennzeichnet [35].

Die beschränkte Arbeitsbreite sowie die höheren variablen Kosten durch teilweise doppelte Antriebstechnik sowie die höheren Anschaffungskosten und die meistens erforderlichen Gegengewichte an der Hinterachse sind Gründe für die geringe Verbreitung der klappbaren Schneidwerke. Dagegen wird die höhere Effizienz eines Mähdreschers mit klappbarem Schneidwerk bei mehrfachem täglichem Schlagwechsel meist unterschätzt. Vor allem im überbetrieblichen Einsatz in kleinstrukturierten Regionen mit oft schwierigen Rangierverhältnissen für den Schneidwerkan- und -abbau sind diese Erntevorsätze wirtschaftlich, weil sie die teuren Nebenzeiten reduzieren.

Ein Schneidwerk mit variabler Tischlänge dient auch der Reduktion der **Aufnahmeverluste**, wie in [37] beschrieben. Demzufolge nimmt das Schneidwerk eine immer größere Schlüsselposition für die Effizienz bzw. die Arbeitsleistung und Arbeitsqualität eines Mähdreschers ein. Aber nicht nur die passende Tischlänge und Haspelposition sind wichtig. Bei zunehmender Arbeitsbreite sind die Schneckenhöhe über der Mulde und ein passender Abstreifleistenabstand von besonderer Bedeutung. Ein Rotor-Mähdrescher der obersten Leistungsklasse fährt mit einem 12 m breiten Schneidwerk ebenso schnell wie ein Sechs-Schüttler-Mähdrescher mit 6 m Arbeitsbreite. Da die Geometrie des Einzugskanals bei beiden Maschinen gleich ist, muss folglich beim großen Schneidwerk die doppelte Pflanzenmasse zeitgleich zur Mitte geführt werden. Die Einzugschnecke muss also entsprechend mehr Material pressen, was nur bei exakter Einstellung geschehen kann. Andernfalls kommt es zu Überwurf über die Schnecke hinweg und zwangsläufig zu Staus. Das Pressen von Pflanzenmaterial zeigt sich deutlich am höheren Verschleiß der Bleche der Schneidwerkmulden von Schneidwerken mit mehr als 10 m Arbeitsbreite am Übergang zum Einzugskanal.

Die aus Übersee stammenden **Bandschneidwerke** (Draper) wurden entwickelt, um bei möglichst gleichmäßigem Gutfluss Gewicht zu sparen. Anstelle der Einzugschnecke mit Schneidtablett führen zwei Förderbänder das Erntegut von beiden Seiten zur Mitte zu einem Längsförderband (Abb. 8). Eine Fingerwalze greift das Erntegut, um es zum Einzugskanal zu leiten. Durch diese Konstruktion wird einerseits Gewicht gespart. So gibt Honey Bee für seinen 12,2 m breiten Draper ein Gewicht von nur 2830 kg an, allerdings ohne Haspel und Zubehör. Andererseits sind z. B. für die Rapsernte zusätzliche Schnecken erforderlich, so dass sich die Gewichtsersparnis relativiert. Geringhoff gibt für seinen neuen Triflex-Draper mit 12,2 m Schnittbreite ein Gewicht von 3800 kg an, also etwa ebenso hoch wie das Claas Schneckenschneidwerk V 1200 mit einer Masse von 3820 kg [18, 35].



Abb. 8: Argentinischer Draper der Fa. Vassalli mit flexiblem Messerbalken sowie kurzem Längsförderband und Einzugsfingerwalze

Mit dem **Triflex-Draper** (Abb. 9) vermarktet Geringhoff eine einzigartige Konstruktion: Quer zur Fahrtrichtung sind Rahmen und Haspel dreigeteilt. Die beiden äußeren Teilbreiten werden über Stützräder höhengeführt. So kann sich das Schneidwerk an Bodenunebenheiten anpassen. Diese Anpassung ist nur durch die Bandtechnik anstelle des starren Schneidtisches mit starrer Einzugschnecke möglich.



Abb. 9: Geringhoff Triflex-Draper mit dreiteiligem Rahmen und dreiteiliger Haspel – im ausgehobenen Zustand neigen sich die stützradgeführten Außenteile

Der kanadische Hersteller MacDon baut ebenfalls eine dreigeteilte Version aus denselben Gründen, mit zweiteiliger Haspel. Das mittlere Segment ist schmaler als beim Geringhoff Triflex-Draper. Insgesamt bietet sich die aufwendigere dreigeteilte Konstruktion mit fest mit dem Einzugskanal verbundenem Mittelteil für eine maximale Boden Anpassung geradezu an. Wie sich Draper am Markt etablieren wird, bleibt abzuwarten – das Interesse an diesen Erntevorsätzen ist jedenfalls beachtlich [18, 25].

Als großer Vorteil von Draper-Schneidwerken ist die Umrüstung zum **Schwadleger** zu nennen. Dazu werden die Querförderbänder in der Mitte zusammengeschoben, das Längsförderband außen angebracht, die Schneidwerkrückwand in der Mitte geschlossen und seitlich geöffnet. An einen Traktor oder ein Trägerfahrzeug gekoppelt können auf diese Weise Doppelschwaden von Gesamtarbeitsbreiten über 25 m abgelegt werden.

Für die Rapserte sind **zusätzliche Leitschnecken** erforderlich. Denn der Gutfluss von Raps ist bei Bandschneidwerken ein Problem: Der locker auf den Förderbändern liegende Raps nimmt ein so großes Volumen ein, dass es in der Schneidwerkmitte zum Stau kommen kann. Um dies zu verhindern, hat Claas beim Maxflo-Draper in der Mitte über den Förderbändern sogar noch zwei schräg angeordnete Leitschnecken und eine Finger-Einzugswalze angebracht. Diese verdichten den Raps, so dass ein kompaktes Erntegutband kontinuierlich zum Schrägförderer gelangt. Der Maxflo-Draper wird in Regionen mit geringen Druschfruchterträgen bis etwa 6 t/ha und daher in Deutschland nicht angeboten. Denn bei uns kann es zu Aufnahmeverlusten kommen, weil die Förderbänder bedingt durch schweres Erntegut durchhängen. Durch die entstehenden Öffnungen können ganze Halme den Ertevorsatz verlassen. Auch daran ist die Markteinführung von Drapern aus Überseeproduktion bisher bei uns gescheitert. Denn dieses Problem lässt nur durch höheren technischen Aufwand, verbunden mit höherer Masse des Vorsatzes beseitigen [8, 35].

Sowohl Schnecken- als auch Bandschneidwerke sind mit flexiblem Messerbalken für die Ernte von Sojabohnen und sonstigen Früchten mit nahe am Boden befindlichen Fruchtständen erhältlich. Vornehmlich werden diese Vorsätze in Regionen mit Sojabohnenanbau vermarktet. In Argentinien werden derzeit Bandschneidwerke mit flexiblem Messerbalken (Abb. 8) propagiert. U. a. wird auf einen geringeren Leistungsbedarf im Vergleich zum Schneckenschneidwerk verwiesen. Ob das unter unseren Ertebedingungen auch so ist, müsste geprüft werden. Bei uns bietet BISO das Crop Ranger Schnecken-Schneidwerk mit um 70 cm verstellbarer Schneidischlänge und mit flexiblem Messerbalken in Arbeitsbreiten von 4,5 bis 7,5 m für die Ernte von nahe an der Oberfläche befindlicher Fruchtstände an [35].

Der **Hochschnitt** ist immer wieder Gegenstand von Diskussionen und führt zu verschiedenen technischen Lösungsansätzen. New Holland stellte zur Agritechnica eine Zusatzschneideinrichtung hinter der Schneidwerkrückwand von bis zu 9,15 m breiten Schneidwerken vor (Abb. 10), den sogenannten **Dual Stream Header** [29]. Ein über eine Stabwalze geführter Doppelmesser-Mähbalken schneidet bei höher gehobenem Schneidwerk die langen Stoppeln nochmals nach. Wird das Schneidwerk tief geführt, so erfolgt kein Nachschnitt. Die Vorteile liegen nahe: Durch den Doppelschnitt kommt weniger an der Basis feuchtes Stroh in den Mähdrescher, die Druschleistung nimmt zu, der Dieserverbrauch und die Befechtung des Kornes beim Drusch nehmen ab. Also ist diese Technik vor allem für Mähdrescher, die auf feuchtes Stroh und hohe Strohmassen sensibel reagieren, von Vorteil – der geringere Strohdurchsatz wird durch höheren Korndurchsatz kompensiert.



Abb. 10: New Holland Doppelschnitt-Schneidwerk (Dual Stream Header) mit walzengeführtem Doppelmesser-Mähbalken hinter der Schneidwerkrückwand (Werkbild New Holland)

Mit dem Doppelschnittsystem betritt New Holland jedoch auch ackerbauliches Neuland: Da sich die ungehäckselte Strohmasse etwa verdoppelt, ist nicht bekannt, wie lange die Strohumsetzung im Boden dauert und in wie weit sich dies auf die Entwicklung von Nagerpopulationen und die Übertragung von Halmbasiskrankheiten auf die Folgefrucht auswirken wird, was vor allem bei Mulchsaat kritisch zu sehen ist. Die Gebr. Schumacher haben bereits in den 80er Jahren eine Nachschneideeinrichtung, bestehend aus einem Finger-Mähbalken gebaut, die aus verschiedenen Gründen damals nicht praktikabel war.

Für den Nutzer bleiben weitere einsatztechnische Fragen offen. Wie verhält sich der Gutfluss, wenn klebender Boden sich am Messer und auf dem Doppelmesserbalken aufbaut? Videos im Internet (hier nicht mit Literaturstellen versehen) zeigen bereits beim Einsatz auf trockenem, ebenem Boden, dass der Fluß der geschnittenen Stoppeln in diesem Bereich nicht gleichmäßig ist. Auf schweren Böden mit Bodenaufwürfen von Wild ist dies kritisch zu bewerten. Auch müssen die bei New Holland üblichen Tastplatten für die Höhenführung des Schneidwerkes gegen Kufen ersetzt werden, weil sich die von den Platten in Fahrtrichtung geschleiften Stoppeln nicht mehr gleichmäßig schneiden lassen. Ob und wie sich diese New Holland Lösung etablieren wird, bleibt abzuwarten.

Andere Lösungsansätze für den Hochschnitt sind **Mulcher oder Häckselsysteme** [3]. Deren Antriebsleistungsbedarf ist natürlich höher als der eines Doppelmesser-Mähbalkens. Jedoch wird die gesamte Stoppel zerkleinert, was pflanzenbaulich als Vorteil zu bewerten ist. Ob sich der Gesamtleistungsbedarf für den Mähdrusch durch eine solche Technik reduziert, bleibt fraglich. Dies gilt auch für die Einsatzsicherheit: Was geschieht, wenn auf der Bodenoberfläche liegende Steine erfasst werden? Die Brandgefahr wird beim Mulchereinsatz auf jeden Fall zunehmen.

Insgesamt bleibt die Frage nach dem Kundennutzen dieser Techniken nicht vollständig beantwortet. Sicherlich mag ein Nutzen bei stehendem Weizen gegeben sein, wie in Internetvideos sichtbar. Wenn jedoch Gerste geerntet wird, bleibt aufgrund der Knickähren nur das Mähen einer kurzen Stoppel, um die Aufnahmeverluste zu minimieren. Gleiches gilt für liegendes bzw. teilweise liegendes Getreide. Und beim Raps zeichnet sich die Notwendigkeit einer kurzen Stoppel aktuell nicht ab, zumal der erste Bear-

beitungsgang meist flach mit Kurzscheibenegge, Striegel, Walze, oder Schneidwalze erfolgt. Daher werden technische Lösungen für den Hochschnitt in absehbarer Zeit ein Nischendasein führen – es sei denn, phytosanitäre Gründe sprechen plötzlich für das Mulchen wie z. B. der Fusariendruck oder die Schadinsektenbekämpfung beim Mais.

Das **Powerflow-Schneidwerk** basiert auf einem alten MF-Patent und wurde in den 80er Jahren erstmalig von Dronningborg aus Randers in Dänemark zur Praxisreife gebracht. Durch die aktive Gutförderung fallen die Getreidehalme immer mit den Ähren voran in die Einzugsschnecke und die Haspel wird noch weniger benötigt als bei Vario-Schneidwerken. Als jedoch die Erträge und somit auch die Wuchshöhen von Linien-Rapssorten zunahm, ergab sich ein Gutflussproblem: Der Raps geriet nicht mehr mit den Fruchtständen voran zur Einzugsschnecke und wurde teilweise über die Schnecke hinweg gegen die Schneidwerkrückwand gefördert. Diesem Problem begegnet AGCO mit einer Raps-Leitschnecke über der Einzugsschnecke (Abb. 11). Beim Premiumflow-Schneidwerk von John Deere (Zürn) lässt sich die Einzugsschnecke hydraulisch schnell in eine sehr hohe Position bringen, um die Annahme des Rapses zu verbessern.



Abb. 11: Powerflow-Schneidwerk von MF (alte Version) mit Raps-Leitschnecke über der Einzugsschnecke

Zur Agritechnica wurden die Powerflow-Schneidwerke bei AGCO überarbeitet: Beim größten Schneidwerk mit 10,7 m Arbeitsbreite beträgt der Durchmesser der Einzugsschnecke jetzt 76,2 cm und ist somit der größte Durchmesser überhaupt. Die Durchmesserdiffenz von Schneckenrohr und Schnecke ist nach Angaben von MF um 41 % höher als bei einem folgenden Wettbewerber. Dadurch soll sich die zusätzliche Rapschnecke erübrigen [26, 35].

Bei größerem Schneckendurchmesser wird bei allen Schneckenschneidwerken zwangsläufig der Freiraum zwischen Einzugsschnecke und Einzugskanal größer. In Abb.12 wird nur die Zunahme des Schneckendurchmessers verdeutlicht. Real wurde auch der Durchmesser der vorderen Umlenkrolle der Schrägfördererkette erhöht, so dass sich hier ein größerer Freiraum als im Bild ergibt. Unter schwierigen Erntebedingungen mit kurzem und feuchtem, also schwerem Stroh kann sich dort Material stauen und nicht mehr gleichmäßig von der Einzugskette angenommen werden. Diesen Zielkonflikt zu lösen, ist

keine einfache Aufgabe. Je mehr Material von den Seiten zur Mitte geführt wird, desto kräftiger werden die beiden Gutströme dort gegeneinander gepresst. Das kompakte, schwere Paket wird von den Einzugsfingern nicht mehr in genügendem Maße zur Einzugschnecke geleitet. Im Extremfall muss sogar das Schneidwerk entkoppelt werden, um den Pflanzenblock zu entfernen. Die passende Einstellung der Einzugsfinger auf späteres „Eintauchen in die Schnecke“ kann Abhilfe schaffen. Diese Einstellung darf allerdings nicht übertrieben werden, weil das Pflanzenmaterial sonst über die Schnecke geworfen wird und wickelt. Eine konstruktive Lösungsvariante kann eine Zuführ-Fingerwalze vorne im Einzugskanal sein, die von Deutz-Fahr, Fendt und MF für einige Mähdreschertypen angeboten wird.

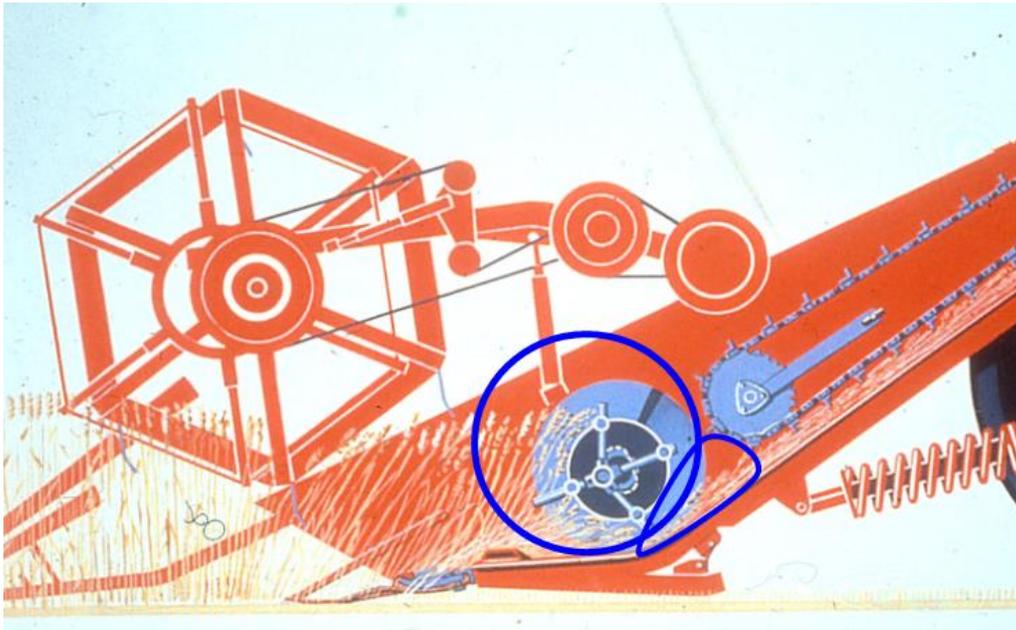


Abb. 12: Vergrößerung des Freiraumes zwischen Einzugschnecke und Einzugskette bei zunehmendem Durchmesser der Einzugschnecke (Werkbild Fahr, verändert)

Große Arbeitsbreiten führen zwangsläufig zu höheren **Schneidwerkmassen**. Daher fertigt BISO-Schrattecker die Schneidwerke der Baureihe Ultralight 800 mit maximalen Schnittbreiten von 16 m in Leichtbauweise (Abb. 13). Für den Rahmen werden Aluminium-Bauteile verwendet, um Gewicht zu sparen. BISO fertigt bereits seit mehr als 10 Jahren Leichtbau-Schneidwerke. Doch die Gewichtsersparnis hält sich in Grenzen, weil viele Stahlbauteile nicht durch leichte Werkstoffe ersetzt werden können. Daher ist das 12,3 m breite Schneidwerk nur etwa 200 kg leichter als ein vergleichbares Schneidwerk aus konventionellen Werkstoffen [35].

Die Transportwagen für breite Schneidwerke sind zweiachsig und gebremst. Neben der Überbreite der meisten Mähdrescher ist beim Straßentransport mit Schneidwerk auch die Überlängengenehmigung gemäß § 70 StVZO und § 29, Abs. 3 StVO erforderlich. Einige Hersteller bieten Schneidwerkwagen mit mechanisch zwangsgelenkten Hinterrädern an. Dies erleichtert das Befahren von Kreisverkehren sowie das Einfahren in enge Wege in hohem Maße. Hinzu kommt der Effekt, dass das Heck des Schneidwerk-wagens im Blickfeld der Rückspiegel bleibt und demzufolge einfacher rangiert werden kann.



Abb. 13: Rückwand des BISO-Ultralight-Schneidwerkes (Version 2009) aus Aluminium

Wann die Arbeitsbreiten an Vermarktungsgrenzen stoßen werden, ist noch nicht absehbar. Der Trend zu größeren Arbeitsbreiten ist nach wie vor ungebrochen. Denn die Vorteile sind naheliegend: Unter sonst gleichen Bedingungen weniger Wendemanöver und damit Wendezeiten, geringere Erntegeschwindigkeit und somit reduzierter Dieserverbrauch sowie ein gleichmäßigerer Gutfluss mit der Folge einer höheren Kornabscheidung der Dresch- und Trennorgane, also Druschleistung. Ein breiteres Schneidwerk ist zwar teurer, es erhöht aber insgesamt die Effizienz des Mähdrusches. Daher ist im Zweifelsfalle immer das breitere Schneidwerk die vorzüglichere Variante.

3. Dresch- und Abscheidesysteme

Seit die letzte RKL-Schrift [41] zu diesem Thema verfasst wurde, hat die Industrie keine grundsätzlich neuen Dresch- und Abscheidesysteme in den Markt gebracht. Die Dresch- und Trennsysteme in Mähdreschern werden nach wie vor gemäß Abb. 14 gegliedert. Oft ist den Medien zu entnehmen, dass die Rotor-Mähdrescher in Hybrid- und sogenannte „reine Rotor-Mähdrescher“ unterschieden werden. Diese Art der Bezeichnung lässt sich wissenschaftlich nicht begründen. Denn es werden u. a. auch im englischsprachigen Raum alle rotierenden Werkzeuge (Trommeln, Rotationsabscheider usw.) als „cylinder“, „threshing drum“, „rotary separator“ und „axial rotor“ bezeichnet. Daher ist die Teilung der Rotor-Mähdrescher in Hybrid- und Axialrotor-Mähdrescher sachgerecht. Oft werden Axialrotor-Mähdrescher als Axialfluss- oder Axialflow-Mähdrescher bezeichnet. Da beide Bezeichnungen jedoch von CASE geschützt sind, ist diese Bezeichnung für diese Mähdrescherbauart von Wettbewerbern nicht zu empfehlen. Auch wird einstweilen in moderne und alte Dresch- und Abscheidesysteme unterschieden. Rückblickend auf die letzten 40 Jahre Mähdrescherentwicklung gibt es keine grundsätzlich modernen oder alten Dreschwerke. Denn die grundsätzlichen Systeme existieren allesamt seit mindestens den 70er

Jahren und früher. Weiterentwicklungen erfolgten jedoch im Detail. Anders ausgedrückt: Dreschen und Abscheiden können alle Systeme gut. Der Unterschied liegt in der Auslegung auf die Komponenten „Schlagen“, „Reiben“, „Zentrifugieren“ und „Schwerkraft-Abscheiden“ und somit in der Gesamt-Dresch- und Abscheideleistung.

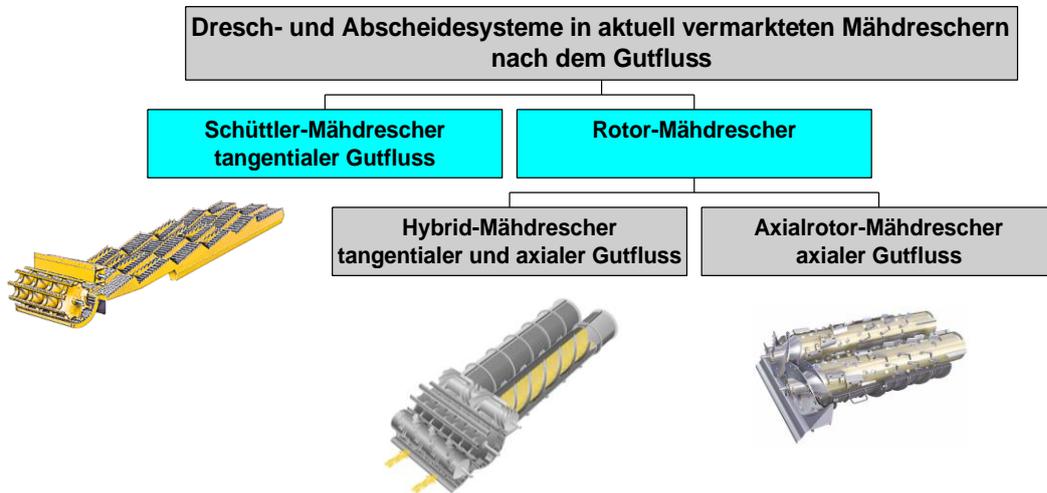


Abb. 14: Gliederung der Dresch- und Trennsysteme in Mähdreschern nach dem Gutfluss (Werkbilder Claas, New Holland)

Wie hat sich das Marktangebot seit 2010 verändert? Bei den Schüttler-Mähdreschern haben sich wenige Veränderungen ergeben (Abb. 15). Das konventionelle Dreschwerk wird in Schüttler-Mähdreschern mit größter Leistungsspannweite verkauft. Es findet sich in Vier-, Fünf- und Sechs-Schüttler-Mähdreschern. **Claas** verbaut dieses Dreschwerk nur noch im kleinsten Avero 160 mit einer Dreschkanalbreite von 1,06 m und im Tucano 320 mit 1,32 m Kanalbreite [9]. Alle anderen Mähdrescher sind mit Beschleuniger-Dreschwerken ausgerüstet.

Als neuer Anbieter tritt **Rostselmash** auf. Die Schüttler-Mähdrescher werden mit Standard-Dreschwerk und 80 cm Dreschtrommeldurchmesser gebaut. Die Fünf-Schüttlermaschine verfügt über eine Dreschkanalbreite von 1,48 und die Vier-Schüttlermaschine über eine Breite von 1,18 m [45]. Die Schüttler sind somit breiter als bei allen anderen Wettbewerbern. Bezüglich Druschleistung sind die beiden Mähdrescher folglich in den oberen Bereich der Vier- (Vector 420) und Fünf-Schüttler-Klasse (Acros 580) einzuordnen.

Deutz-Fahr vermarktet im unteren Leistungssegment nicht mehr die Mähdrescher von Sampo mit Beschleuniger-Dreschwerk, sondern nur noch Fünf- und Sechs-Schüttler-Mähdrescher mit konventionellem und Zentrifugalabscheider-Dreschwerk mit 1,27 und 1,52 m Dreschkanalbreite [47].

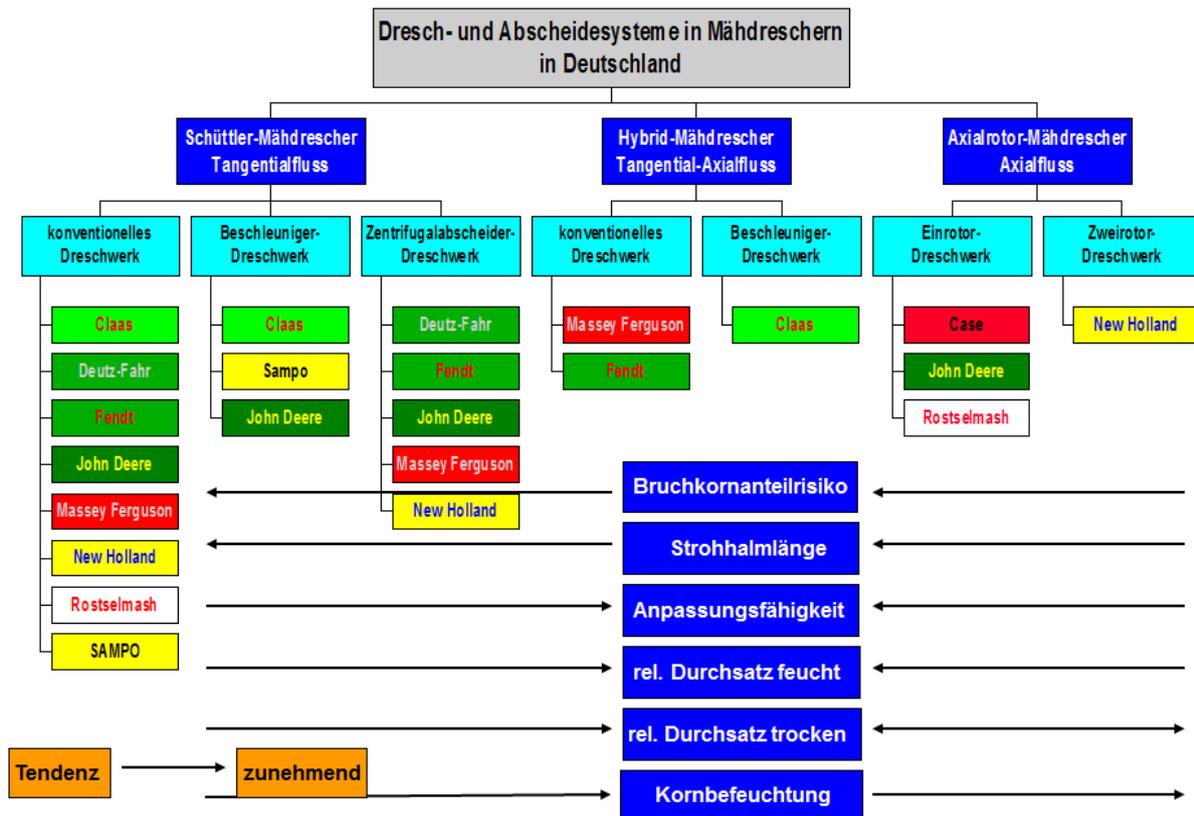


Abb. 15: Derzeit angebotene Dresch- und Trennsysteme in Mähdreschern der verschiedenen Hersteller nach dem Gutfluss und ihre tendenziellen spezifischen Einsatzparameter

John Deere vermarktet die W-Serie mit 1,4 und 1,67 m Dreschkanalbreite mit konventionellem Dreschwerk und 66 cm Dreschtrommeldurchmesser als Fünf- und Sechs-Schüttler-Mähdrescher. Die Mähdrescher mit 60er Dreschtrommel und 1,30 bzw. 1,56 m Kanalbreite aus Südamerika (vor Einführung der Z-Serie in Zweibrücken gebaut) werden nicht mehr angeboten – ein Beispiel für die Abschottung des europäischen Marktes vor Maschinen mit Motoren, die nicht den hiesigen Abgasnormen entsprechen. Statt dieser Mähdrescher werden jetzt von Sampo gekaufte Modelle mit 1,11 (Fünf-Schüttler) und 1,33 m Kanalbreite (Sechs-Schüttler) angeboten. Das Modell W 440 ist mit Standard-Dreschwerk und der bei Sampo üblichen 50er Dreschtrommel ausgerüstet. Die Maschinen der T-Serie sind mit von oben beschicktem Zentrifugalabscheider ausgerüstet. John Deere vermarktet somit als einziger Hersteller alle drei Versionen von Schüttler-Dresch- und Abscheidesystemen [21].

Fendt und **MF** vermarkten baugleiche Mähdrescher. Mit Standarddreschwerk sind Fünf- und Sechschüttler-Maschinen mit Dreschkanalbreiten von 1,34 und 1,60 m versehen. In denselben Kanalmaßen werden auch Zentrifugalabscheider-Dreschwerke verbaut, die alternativ bei trockenen Erntebedingungen auch als Standard-Dreschwerk genutzt werden können. Der Mähdrescher mit acht Schüttlern und einer Kanalbreite von 1,68 m (Fendt 84er und 83er, MF Centora) ist nur mit Zentrifugalabscheider-Dreschwerk erhältlich [26, 27].

New Holland bietet die Modelle der TC-Baureihe (Dreschkanalbreite 1,04 und 1,3 m) und der CX 50er und 60er Baureihe (Dreschkanalbreite 1,30 und 1,56 m) mit Standard-Dreschwerk und 60,07 cm Dreschtrommeldurchmesser an. Auf Wunsch sind diese Maschinen mit Zentrifugalabscheider erhältlich [29, 30]. Dieser ist in der CX 70er und 80er Baureihe, ebenfalls mit 1,30 und 1,56 m Dreschkanalbreite

und einem Dreschtrommeldurchmesser von 75 cm, mit einem Durchmesser von 72 cm in Serie verbaut [28, 31].

Claas fertigt zwei verschiedene Beschleuniger-Dreschwerke. Eines mit einem Dreschtrommeldurchmesser von 45 cm in Breiten von 1,06, 1,32 und 1,58 m in den verschiedenen Typen Avero und Tucano. Und eines mit 60 cm Dreschtrommeldurchmesser mit 1,42 und 1,70 m Breite in den Lexion Typen [9, 10].

Oft werden die verschiedenen Mähdrescher anhand der technischen Daten der Dreschwerke, vor allem der Korb-Abscheidefläche verglichen. Dies ist jedoch sachlich nicht korrekt. Denn gemäß Abb. 16 haben die zusätzlichen Rotoren ganz unterschiedliche Aufgaben und wirken sich auch auf die Konstruktion des Mähdreschers aus.

Der **Zentrifugalabscheider** wurde bereits in den 70er Jahren von New Holland patentiert. Er wird entweder hinter der Wendetrommel, oder hinter einer Wendeabscheidetrommel (Korb unter der Wendetrommel) oder hinter einer Überkopf-Leittrommel (John Deere T) eingebaut. Abgesehen von den MCS-Modellen von Fendt und MF – dort ist der Zentrifugalabscheider oberhalb der ersten Schüttlerfallstufe angeordnet – werden die Schüttler um die Baulänge des Zentrifugalabscheiders gekürzt. Somit bleiben die Chassismaße des Mähdreschers im Vergleich zur Version mit Standard-Dreschwerk gleich.

Aufgabe des Zentrifugalabscheiders ist es, möglichst viel Restkorn aus dem Stroh abzuseiden, um somit die Schüttler zu entlasten. Es sind zwei verschiedene Drehzahlen und bis zu fünf (Deutz-Fahr) verschiedene Abstände des Rotors zum Abscheidekorb einstellbar. Beim MCS-System von Fendt und MF kann der gesamte Abscheidekorb weggeschwenkt werden, wenn die Kurzstrohbelastung der Reinigung zu hoch wird [41, 9, 21, 26, 30, 47].

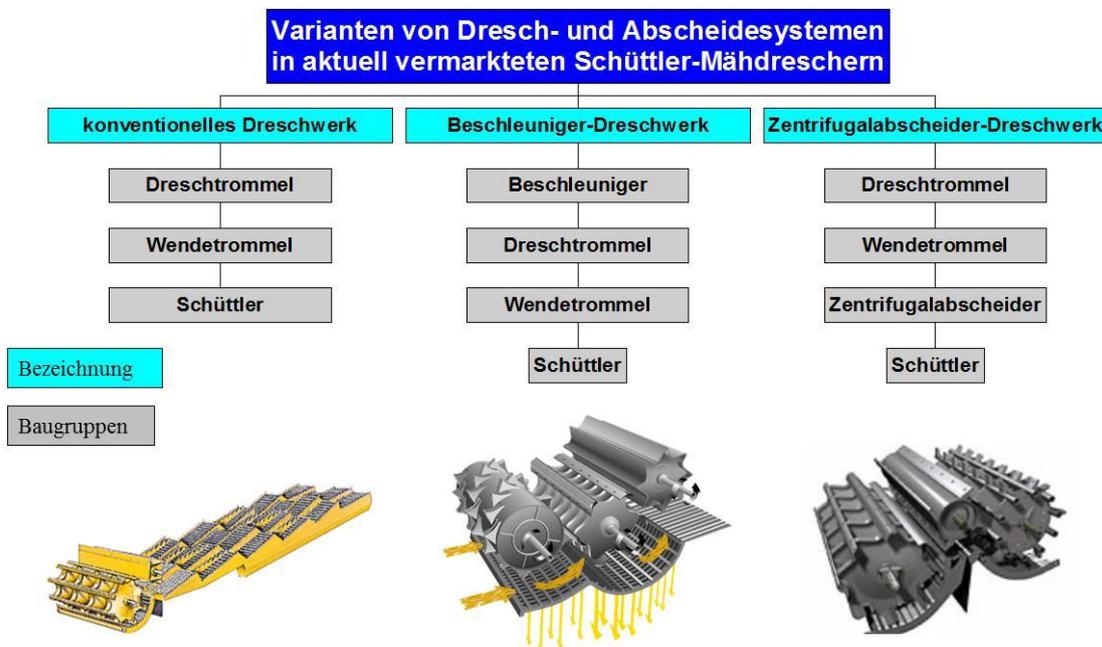


Abb. 16: Prinzipieller Aufbau der verschiedenen Dreschwerke in Schüttler-Mähdreschern – ganz unterschiedliche Aufgaben der zusätzlichen Rotoren (Werkbilder Claas, New Holland)

Beim **Beschleuniger-Dreschwerk** bleiben die Chassis- und Schüttlermaße im Vergleich zum Standard-Dreschwerk unverändert. Der Beschleuniger verlängert den Mähdrescher nach vorne. Er ist mit einem Vorkorb versehen und rotiert grundsätzlich mit 80 % der Umfangsgeschwindigkeit synchron mit der Dreschtrommel. Gemäß Namensgebung beschleunigt er den Gutstrom, so dass ein schnellerer Durch-

fluss durch den Dreschspalt und somit eine höhere Kornabscheidung am Dreschkorb erreicht wird. Außerdem wird am Vorkorb bereits Korn abgeschieden, mit dem Dreschwerk und Schüttler gar nicht mehr belastet werden. Darüber hinaus bleibt der Zuführwinkel des Erntegutes zur Dreschtrommel immer gleich – bei allen anderen Tangential-Dreschtrommeln ändert er sich bei unterschiedlicher Höhe des Erntevorsatzes -, wodurch die Annahme des Erntegutes immer gewährleistet ist. Das wiederum erlaubt eine Verlängerung des Dreschkorbes nach vorne und somit größere Umschlingungswinkel, also Dreschweglängen.

Ein Beschleuniger-Dreschwerk verfügt über keine zusätzlichen Einstellmöglichkeiten, weil neben der Drehzahl auch die Körbe synchronisiert sind, beim Verstellen der Dreschwerkeinstellungen also immer die Beschleunigereinstellungen gleichzeitig verändert werden. Um die Reibung beim Dreschen zu steigern (Entgrannung, Entspelzung), kann der Vorkorb geschlossen werden. Beschleuniger-Dreschwerke können meistens mit einer um etwa 5 m/s reduzierten Trommelumfangsgeschwindigkeit im Vergleich zum Standard- oder Zentrifugalabscheider-Dreschwerk eingesetzt werden. Das sind bei einer 45er Dreschtrommel (Claas Avero, Tucano) 212 U/min, bei einer 50er Dreschtrommel (Sampo, John Deere) 191 U/min und bei einer 60er Dreschtrommel (Claas Lexion) 159 U/min. Insgesamt kann daher nicht von Prospektaten, wie der Dresch- und Abscheidekorbfläche auf die Leistungsfähigkeit verschiedener Mähdrescher geschlossen werden. Innerhalb einer Leistungsklasse kann nur der Feldvergleich Druschleistungsunterschiede zeigen.

Hybrid-Mähdrescher (Abb. 14 und 15) werden nur noch von AGCO und Claas vermarktet. John Deere hat die Fertigung der Mähdrescher der C-Serie (früher CTS = Cylinder Tine Separator) eingestellt. Diese Maschinen hatten eine Dreschkanalbreite von 1,40 m und gehörten daher nicht zur obersten Leistungs-kategorie. Auch hatte John Deere nicht mehr in die Weiterentwicklung investiert, so dass die Anzahl der Stop-Einstellungen viel höher war als bei vergleichbaren Wettbewerbsmodellen und zu umständlich [10, 26].

Der MF Delta, baugleich mit dem Fendt XP94, basiert auf der Schüttlermaschine mit 1,68 m Dreschkanalbreite. Die acht Schüttler wurden durch zwei Abscheiderotoren ersetzt und der Zentrifugalabscheider wurde zu einer Zuteiltrommel umfunktioniert. Die Rotoren sind 4,2 m lang, ihr Durchmesser beträgt 47,5 cm und die Drehzahlen betragen 360 bis 1000 U/min (9 bis 25 m/s). Die Länge ist identisch mit den Rotoren von Claas und der Durchmesser ist 3 cm größer [26].

Seit 2012 vermarktet Claas sein Topmodell Lexion 780. Wesentliches Merkmal sind der sechste Abscheidekorb und die höhere Rotordrehzahl von 450 bis 1250 U/min (10,5 bis 29 m/s). Alle anderen Lexion-Hybrid-Mähdrescher von Claas sind mit fünf Abscheidekörben und Rotordrehzahlen von 360 bis 1050 U/min (8,4 bis 25 m/s) ausgerüstet [10].

2011 stellte Claas den Tucano mit einem Abscheiderotor anstelle der sonstigen sechs Schüttler mit einer Dreschkanalbreite von 1,58 m auf der Agritechnica vor. 2014 wurde der Mähdrescher mit Korntankobentleerung und einem Variator für den Rotorantrieb erweitert - um nur einige Details zu nennen. Der Rotor ist ebenfalls 4,2 m lang, hat allerdings mit 57 cm den größten Durchmesser. Seine Drehzahl beträgt 480 bis 920 U/min (14,3 bis 27,5 m/s) [9].

Axialrotor-Mähdrescher werden nur noch von CNH und John Deere bei uns angeboten. Der von Deutz-Fahr auf der Agritechnica 2009 vorgestellte, von Vassalli aus Argentinien stammende 7545 RTS wurde nicht ins Vermarktungsprogramm aufgenommen. Gleiches gilt für die AGCO-Mähdrescher MF Fortia und Fendt 9460 R. Ohne eine Anpassung der Rotortechnik, speziell der Werkzeuge und einen massiven

Eingriff in Motor- und Antriebstechnik sind die Marktchancen dieser Mähdrescher in Regionen mit hohen Strohfeuchten und –erträgen gering.

Case IH setzt nach wie vor in allen Modellen auf den 2,79 oder 2,64 m langen Einzelrotor mit einem Durchmesser von 76,2 cm. Als erster Hersteller brachte Case einen Rotor mit Dresch- und Abscheidesegmenten nach Europa, um seine Mähdrescher an hiesige Bedingungen anzupassen [5]. Auch die Rotoren der CR-Mähdrescher von New Holland sind 2,64 m lang [32]. Denn Rahmen und weitere Baugruppen wie die Reinigung sind bei New Holland und Case baugleich bzw. größtenteils baugleich. Jedoch verbaut New Holland zwei verschiedene Rotordurchmesser: 43 cm bei 1,3 m und 56 cm Durchmesser bei 1,56 m Chassis- bzw. Kanalbreite.

New Holland hat ähnlich wie Case die Werkzeuge der Rotoren verändert. Die sogenannten **Twin Pitch-Rotoren** sind jetzt mit Dresch- und Trennsegmenten anstelle der Leisten ausgerüstet. Zur besseren Erntegutannahme werden zwei statt vorher drei Schneckengänge im Einzugsbereich montiert. Und als letzter Hersteller präsentierte New Holland zur Agritechnica 2013 eine Zuführtrommel mit darunter befindlicher Steinfangmulde. Diese Zuführtrommel ist im Topmodell CR 1090 serienmäßig verbaut und dient als Gutbeschleuniger mit der Folge höherer Durchsätze. Diese „Dynamic Feed Roll“ ist auch für die leistungsschwächeren Typen erhältlich [32].

John Deere baut seine Axialrotor-Mähdrescher für den hiesigen Markt seit der Einstellung der Produktion der C-Serie in Zweibrücken. Es werden fünf Typen, S 660 bis S 690 mit jeweils demselben Rotor angeboten. Der Rotor ist 3,12 m lang und sein Durchmesser beträgt 76,2 cm. Der bis zur Mitte des Dreschbereiches konisch gefertigte Rotor ist nach wie vor durch Zinken im Abscheidebereich gekennzeichnet. Ziel der Konstruktion ist auch hier das Schaffen von viel Platz für hohe Durchsätze. Hinzu kommt das für John Deere typische, exzentrische Rotorgehäuse. Die Durchflussgeschwindigkeit des Strohs im Abscheidebereich kann als Non-Stop-Einstellung durch Änderung des Winkels der Leitschienen an die jeweiligen Erntebedingungen angepasst werden [22].

Als neuer Anbieter von Axialrotor-Mähdreschern ist Rostselmash zu verzeichnen. Der Einrotor-Mähdrescher (76,2 cm Rotordurchmesser, 3,2 m Rotorlänge) verfügt über mindestens zwei Besonderheiten: Im Schrägförderer befinden sich Förderwalzen anstelle einer Einzugschette. Und das Rotorgehäuse besteht ausschließlich aus Dresch- und Abscheidekörben. Weil sich abgeschiedenes Material aufbauen würde, dreht sich das Korbgehäuse gegenläufig um den Rotor. Mit einer Motorleistung von 360 kW und einer Schnittbreite von 9 m ist der Torum 760 [45] nicht in die oberste Leistungsklasse einzustufen. Es bleibt abzuwarten, wie sich das System unter unseren Erntebedingungen verhalten wird.

Bezüglich der **tendenziellen Bewertung der verschiedenen Dresch- und Abscheidesysteme** (Abb. 15) hat sich seit 2010 [41] grundsätzlich nichts geändert. Das Risiko des **Kornbruches** ist nach wie vor bei den Axialrotor-Mähdreschern am geringsten - d. h., der Fahrer muss die Rotordrehzahl nicht so intensiv wie beim Tangential-Dreschwerk beachten. Es nimmt jedoch logischer Weise zu, je mehr Platz die Konstrukteure für das Stroh zwischen Rotor und Gehäuse schaffen. Dies kann aber nur bei Mais und Bohnen mit hoher Trockenmasse kritisch werden. Der Drusch ist mehr reibend als schlagend. Bei den Mähdreschern mit Tangential-Dreschwerk ist dieses Risiko bei Hybridmaschinen am geringsten, weil diese am sanftesten mit der größten Strohmasse im Dreschspalt dreschen.

Die **Strohhalmlänge** ist unter sonst gleichen Bedingungen bei Axialrotor-Mähdreschern am geringsten – eben aufgrund des mehr reibenden als schlagenden Drusches. Der möglichst sanften Behandlung des Strohs sind Axialrotor-Mähdreschern engere Grenzen gesetzt als Hybrid-Mähdreschern (s. Kap. 6).

Die **Anpassungsfähigkeit** von Hybrid-Mähdreschern an unterschiedliche Erntebedingungen ist am größten, weil die Baugruppen für das Dreschen und Trennen unabhängig voneinander mit verschiedenen Drehzahlen eingestellt werden. Hinzu kommt die Veränderung der Abscheidefläche mit Abdeckklappen, entweder als Stop- oder als Non-Stop-Einstellung.

Entsprechend verhält es sich mit der **Druschleistung unter schwierigen Erntebedingungen**. Wenn alle anderen Mähdrescher abends oder nachts ihre Arbeit beenden müssen, kann der Hybrid-Mähdrescher noch weiterernten. Zwar nimmt der Motorleistungsbedarf zu, aber der Auflauf des Ausfallgetreides bestätigt später immer wieder das unter schwierigen Bedingungen nicht so sehr zunehmende Kornverlustniveau wie bei anderen Mähdreschern. Unter üblichen Einsatzbedingungen mit Strohfeuchten über 20 % und üblichen Stroherträgen ist der Durchsatz eines Hybrid-Mähdreschers der obersten Leistungsklasse absolut der höchste mit Gesamt-Durchsätzen im Weizen von über 150 t/h. Das lässt sich u. a. einfach begründen: Das Dreschwerk des Hybrid-Mähdreschers wird an die Erntebedingungen, entsprechend der Druscheignung angepasst. Wird das Stroh zäh und feucht, so kann es mit Hilfe höherer Abscheiderotor-Umfangsgeschwindigkeiten schneller transportiert werden.

Beim Axialrotor-Mähdrescher sind die Rotor-Umfangsgeschwindigkeiten im Dresch- und Trennbereich identisch. Die Durchflussgeschwindigkeit kann nur durch den Anstellwinkel der Leitschienen im oberen Gehäusebereich geändert werden. Weil das feuchte Stroh aber höhere Reibungsbeiwerte aufweist und zerriebenes Stroh ins Rotorgehäuse gepresst wird, verringert sich die Gutflussgeschwindigkeit nach hinten und die Gutschichtdicke nimmt zu. Damit nehmen der Leistungsbedarf zu und die Kornabscheidung ab.

Günstige Erntebedingungen sind vorteilhaft für Axialrotor-Mähdrescher, weil das Stroh einfacher zu verarbeiten ist, also der Gutfluss durch das Rotorgehäuse nicht behindert wird. Unter derartigen Bedingungen werden dann Korndurchsatz-Weltrekorde gefahren wie aktuell in der vergangenen Ernte mit einem New Holland CR 1090 [32]. Doch auf reale Erntebedingungen sind derartige Marketingaktionen nicht übertragbar. Es wird eine so lange Stoppel gemäht wie eben möglich, um Strohdurchsatz gegen Korndurchsatz zu ersetzen – Korn lässt sich eben einfacher verarbeiten als Stroh. Und weil der Transport des kurzen Materials im Schnecken-Schneidwerk ungleichmäßig wird, wurde ein Draper verwendet. Aber trotzdem ist eine Durchschnittsleistung von etwa 100 t/h Weizen als Meilenstein zu bewerten.

Ein vergleichsweise selten greifender Parameter ist die **Befeuchtung des Kornes** durch aus den Nichtkornbestandteilen (NKB) herausgepresstes Wasser. Dies kommt vor allem in Beständen mit nassem Stroh und/oder Spätverunkrautung vor. Aufgrund des mehr reibenden Drusches wird das Korn eines Axialrotor-Mähdreschers am stärksten befeuchtet, weil Stroh und Unkräuter am stärksten zerrieben werden. Das Standard-Dreschwerk beaufschlagt das Stroh mit der geringsten Energie, entsprechend gering dürfte der Wasserübergang sein. Wenn die Befeuchtung von Weizen beim Tangential-Dreschwerk ein Prozent beträgt (15 % Kornfeuchte beim Handdrusch, 16 % Kornfeuchte Bunkerprobe), kann sie erfahrungsgemäß und aufgrund von Stichprobenmessungen unter denselben Bedingungen beim Axialrotor-Dreschwerk knapp zwei Prozent (15 % Kornfeuchte beim Handdrusch, 16,9 % Bunkerprobe) betragen. Ergebnisse von Reihenuntersuchungen zu diesem Thema könnten die Erfahrungen validieren. Vor dem Hintergrund zunehmender Unkrautresistenzen und abnehmender Wirkstoffauswahl mag dieses Problem zukünftig stärker in den Vordergrund treten.

4. Einstellassistenten und -regeltechniken - Kundennutzen

Dass die an die jeweiligen Erntebedingungen angepassten Einstellungen eines Mähdreschers einen großen Einfluss auf seine Arbeitsleistung und Arbeitsqualität haben, ist allgemein bekannt. Daher implementieren die Mähdrescherhersteller bereits seit den 90er Jahren die **Standardeinstellungen** in die Informationssysteme ihrer Maschinen (Abb.17). Erntet der Fahrer mit diesen Einstellungen, liegt er zumindest nicht vollständig neben den für die jeweilige Frucht erforderlichen Einstellungen. Er kann auch seine eigenen Einstellungen programmieren und entsprechend der Erntebedingungen wieder abrufen. Problematisch ist bei dieser Vorgehensweise das Finden der optimalen Einstellungen, so dass meist nur versierte Fahrer weit von den Grundeinstellungen abweichen. Diese Art der Maschineneinstellung wird von einigen Marketingabteilungen als „automatische Mähdreschereinstellung“ bezeichnet, obwohl gar keine Assistenz- oder Regeltechniken vorhanden sind.

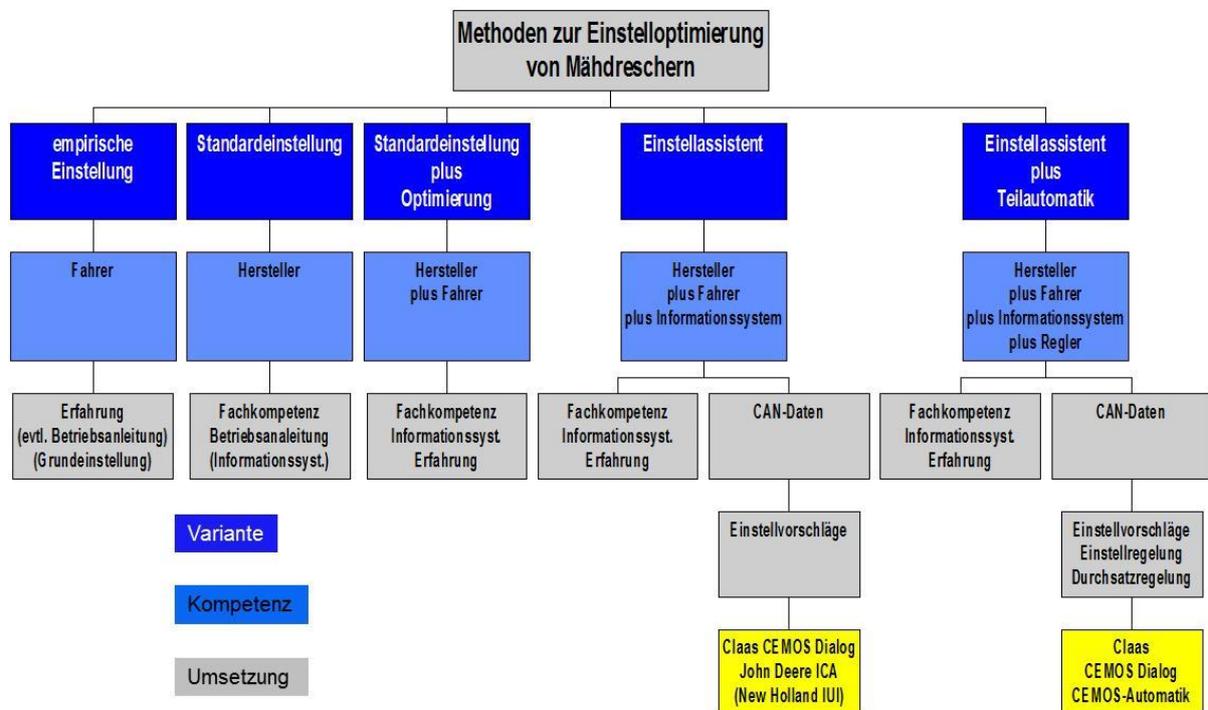


Abb. 17: Methoden zur Einstellung und Einstelloptimierung von Mähdreschern – aktuell angebotene Systeme zur Einstelloptimierung und Teilautomatisierung von Einstellungen [nach: 37]

Je weiter die aktuellen Erntebedingungen von den Erntebedingungen abweichen, die der Hersteller den von ihm empfohlenen Standardeinstellungen zugrunde gelegt hat, desto mehr wird eine Einstelloptimierung erforderlich. Untersuchungsergebnisse an der FH-Bingen zeigen, dass unter schwierigen Erntebedingungen die Differenz zwischen der Druschleistung mit Standardeinstellung und optimierter Einstellung desselben Mähdreschers immer mehr zunimmt. Hinzu kommen Qualitätsverluste durch zu hohen Körnerbruch und zu unsauberes Korn.

Demzufolge werden Mähdrescher, die immer nur mit den Standardeinstellungen des Herstellers eingesetzt werden, nur unter bestimmten, diesen Einstellungen entsprechenden Erntebedingungen maximal genutzt. Das kommt jedoch leider nur selten vor, zumal die Erntebedingungen während eines Erntetages wechseln können. Nimmt die Leistungsfähigkeit eines Mähdreschers zu – und die Betriebe investieren zunehmend in mehr Druschkapazität bei abnehmender Mähdrescherzahl pro Betrieb –, so nimmt das Risiko unzureichender Druschleistung und Arbeitsqualität bei nicht optimierter Mähdreschereinstellung zu. Hinzu kommt das Problem der zunehmenden Überforderung von Fahrern, weil immer mehr Einstellmöglichkeiten in die Maschinen eingebaut werden, um das technische Leistungspotenzial maximal zu nutzen. Das Risiko der Fehleinstellungen nimmt also zu.

Daher entwickelten die Hersteller Claas, New Holland und John Deere sogenannte **Einstellassistenten**. Das System CEMOS von Claas wurde zur Agritechnica 2009 mit einer Goldmedaille prämiert und wird seit 2010 vertrieben. Der Fahrer kann sämtliche Einstellungen des Mähdreschers vom Erntevorsatz bis zum Häcksler interaktiv mit dem Dialogsystem optimieren. Das Intelligent User Interface von New Holland beinhaltet nur die Non-Stop-Einstellungen des Mähdreschers selbst – das sind alle Einstellungen, die während der Fahrt veränderlich sind (Dreschwerk und Reinigung). Das System wurde zur SIMA 2009 vorgestellt und prämiert, auf der Agritechnica 2009 ausgestellt und wird aktuell nicht vermarktet. Zur Agritechnica 2013 stellte John Deere seinen Einstellassistenten ICA (Interactive Combine Adjust) (Abb. 18) vor [10, 41, 50].

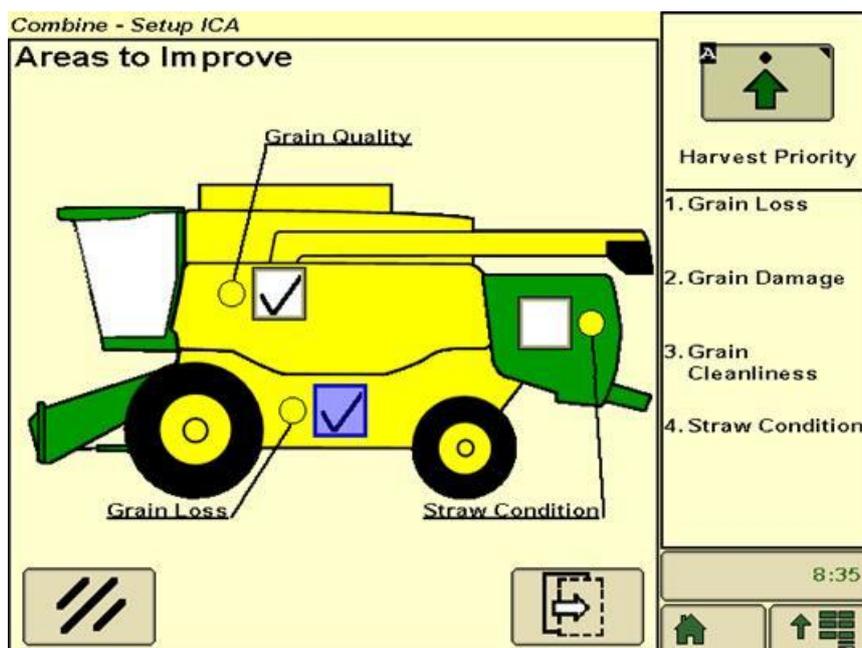


Abb. 18: John Deere Einstellassistent ICA – Ansicht Bildschirm der zu verbessernden Bereiche für die Optimierung (Werkbild John Deere)

Einstellassistenten und -automaten revolutionieren geradezu die Druschfruchternte. Einstellassistenten werden aktuell nur von Claas (CEMOS Dialog) und John Deere (ICA) angeboten, den Einstellregler für Reinigung und Restkornabscheidung (CEMOS-Automatik) gibt es nur bei Claas. Für den Kaufinteressierten stellt sich natürlich die Frage nach dem Kundennutzen dieser Systeme.

Erste Untersuchungsergebnisse zum Effekt von CEMOS (Claas elektronisches Maschinenoptimierungssystem) an einem Mähdrescher der obersten Leistungsklasse in der Vorserie 2009 ergaben, dass der

jährliche Kundennutzen je nach Qualifikation des Fahrers und Erntebedingungen zwischen 3 000 und 15 000 € betragen kann [41, 49]. Neben den Mehrleistungen beim Durchsatz sind diese Werte auch durch reduzierte Bruchkornanteile und höhere Kornsauberkeit, also auch durch reduzierte Händlerabzüge bedingt.

Es kommt jedoch auch vor, dass sich keine Mehrleistung ergibt. Dann zeigt eine Optimierung keinen Effekt, weil die Erntebedingungen etwa deckungsgleich mit den Erntebedingungen für die Standardeinstellungen sind. Würden sich in jedem Fall positive Effekte einer Einstelloptimierung ergeben, so wären die Standardeinstellungen falsch. Sie sollten jedoch immer als Ausgangsbasis für eine Einstelloptimierung dienen. Es ist durchschnittlich von 5 bis 10 % Mehrleistung gegenüber der Ernte mit Standardeinstellung bei intensiver Nutzung des Assistenten auszugehen.

Das John Deere ICA-System (Abb.18) bezieht sich nur auf den Mähdrescher und nicht auf den Erntevor-satz. Es ist recht einfach zu bedienen. Ein besonderes Merkmal ist die Vorgabe einer Erntestrategie. Es kann zwischen minimalen Kornverlusten und möglichst geringem Kornbruch sowie hoher Kornsauberkeit und möglichst langem Stroh gewählt werden. Hat der Fahrer eine Strategie gewählt, so nimmt das System die passende Grundeinstellung vor. Von dieser ausgehend können dann einzelne Optimierungsmaßnahmen durchgeführt werden [50].

Alle Einstellassistenten sind jedoch mit dem Nachteil behaftet, dass der Fahrer sie umso seltener bedient, je extremer die Erntebedingungen werden, so z. B. bei der Ernte von liegendem Getreide, weil die möglichst verlustarme Aufnahme des Erntegutes seine ganze Konzentration erfordert. Dies gilt auch für lange Arbeitstage – die Motivation, den Assistenten zu bedienen, nimmt ab.

Der **Einstellautomat** von Claas, das System CEMOS-Automatik (Abb. 19) baut auf CEMOS auf: Zusätzlich zur Optimierung mit CEMOS regelt er die Einstellungen der Restkornabscheidung, also Rotordrehzahl und Rotorklappenpositionen. Das ist der Bereich Auto Separation. Der zweite Bereich, das Auto Cleaning regelt in der Reinigung die Gebläsedrehzahl sowie die Obersieb- und Untersiebweite. In Kombination mit dem Durchsatzregler wird der Mähdrescher passend zur gewählten Strategie kontinuierlich ausgelastet. Die Strategie ist entweder durchsatzmaximierend, qualitätsmaximierend oder eine Mischung aus beidem. Es kann sogar eine Dieselsparstrategie gewählt werden, die gleichzeitig die Strohqualität erhöht. Diese wird jedoch seltener genutzt, weil meistens das mehr geerntete Druschgut wertvoller ist als der eingesparte Dieselmotorkraftstoff.

Das gesamte Assistenz- und Regeltechnikpaket kostet für die beiden Top-Mähdrescher Lexion 770 und 780 knapp 24 000 € Aufpreis, also etwa so viel wie in den 70er Jahren ein ganzer Mähdrescher der Fünf-Schüttler-Klasse in Grundausstattung in D-Mark kostete. Heute ist die Neuentwicklung von Mess- und Regeltechnik jedoch kostenintensiver als früher die Weiterentwicklung eines ganzen Mähdreschers, weil nicht nur die Löhne und Materialkosten gestiegen sind, sondern auch der Gesamtaufwand. Denn die Endprodukte sollen für die verschiedensten Märkte und Erntesituationen tauglich sein.



Abb. 19: Schema der Funktionsweise des Einstellreglers für die Restkornabscheidung und Reinigung – CEMOS Automatik von Claas (Werkbild Claas)

Die Frage nach dem Nutzen der neuen Technik ist daher mehr als naheliegend. Es liegen eigene Versuchsergebnisse aus zwei Ernten mit der Assistenz- und Regeltechnik vor. Grundsätzlich gelten die beschriebenen Zusammenhänge zwischen den Erntebedingungen und den Einstell- und Durchsatzwerten auch für den Automaten. Daher kann der Kundennutzen nicht in Form einer absoluten Zahl, flächenbezogen in €/ha oder massebezogen in €/t ausgedrückt werden. Auch ist es sachlich nicht korrekt, einzelne Versuchsergebnisse auf eine gesamte Kampagne hochzurechnen. Daher werden in den folgenden Kalkulationsbeispielen Spannweiten oder Mindestwerte genannt. Zugrunde gelegt wurde ein Mähdrescher, Claas Lexion Typ 770 mit 12 m Schneidwerk und einer Nutzungsdauer von 8 Jahren, der jährlich etwa 7 000 t Getreide und Raps in einem Betrieb mit einer Fruchtfolge, Erträgen und Erlösen (Stand 2013) gemäß Tab. 1 erntet.

Tab. 1: Den Kostenkalkulationen zugrunde liegende Fruchtfolge und Erlöse

Druschfrucht/Kennwert	[ha/a]	[%]	[t/ha]	[t]	[€/t]	Summe:[T €]
Weizen	500	54	9	4500	180	810
Gerste	50	5	8	400	160	64
Roggen	100	11	8	800	180	144
Raps	275	30	4,5	1238	390	483
Summe/Mittelwert	925	100	7,50	6938	216,31	1500,6

Die Untersuchungen aus den Jahren 2012 und 2013 weisen Mehrleistungen durch den Automaten gegenüber den Standardeinstellungen des Hybrid-Mähdreschers in der Gersten- und Roggenernte von bis zu 15 % aus [15, 48]. Es ist durchschnittlich von 5 bis 10 % Leistungszunahme bei gleichem Kornverlustniveau auszugehen. Vor allem auf Schlägen mit heterogenen Erntebedingungen

zeigt sich der Vorteil der Automatik gegenüber fixer Einstellung und auch gegenüber der Optimierung durch CEMOS, weil sie die Einstellungen von Rotoren und Reinigung kontinuierlich anpasst. D. h., die Kornqualität und das Kornverlustniveau bleiben gleich; bei ständig an der Leistungsgrenze arbeitendem Mähdrescher. Bei Erträgen von 9 t/ha Weizen und 4,5 t/ha Raps beträgt die Mehr-Flächenleistung durch den Automaten somit zwischen 45 und 90 ha pro Saison. Bei einem Lohnunternehmerpreis von 100 bis 120 €/ha ergibt sich ein Nutzen von 4 500 bis 10 800 €/a, wenn diese Mehrfläche alternativ vom Dienstleister geerntet werden müsste.

Die erntekostenfreien Leistungen (Erlös abzüglich Mähdrusch-Vollkosten) verdeutlichen den Kundennutzen in höherem Maße: Wird beispielhaft eine Mehrleistung von knapp 6 % angesetzt, so lassen sich durch den Automaten jährlich 10 Dreschwerkbetriebsstunden (Dwh) (Einsatzzeit 170 statt 180 Dwh/a) einsparen. Der Groß-Mähdrescher erntet durchschnittlich einen Druschfruchterlös von knapp 8 500 €/Dwh. Somit ergibt sich bei Vollkosten von fast 550 €/Dwh eine erntekostenfreie Leistung von 7 950 €/Dwh. Daher sichert der Automat in den gesparten 10 Dwh eine erntekostenfreie Mehrleistung von knapp 79 500 €/a. Diese Mehrleistung ist beachtlich und ein Beleg für die Reduktion des Ernterisikos.

Dies wiederum verdeutlicht das nächste, einfache Beispiel: Beträgt die Preisdifferenz zwischen Brot- und Futterweizen 20 €/t und kann durch die Mehrleistung des Mähdreschers von 10 % eine anteilige Erntegutmasse von ebenfalls 10 %, z. B. durch die Ernte vor dem nächsten Regen, gegen diesen Preisabfall gesichert werden, so beträgt der Mehrerlös für diese 450 t/a Weizen insgesamt 9 000 €/a. In einem Extremjahr wie 2010 mit Preisdifferenzen von bis zu 70 €/t zwischen Brot- und Futterweizen kann der Mehrerlös für eine gesicherte Qualität dieser Weizenmasse sogar insgesamt 31 500 € betragen. Ähnliches gilt für die Trocknungskosten, wenn gemäß diesem Beispiel 10 % des Weizens nicht getrocknet werden müssen und je nach Feuchtigkeit 10 bis 20 €/t Trocknungskosten anzusetzen wären, so ergäbe sich eine Einsparung von 4 500 bis 9 000 €/a.

Die kontinuierlichere Mähdrescherauslastung durch den Einstellautomaten hat insgesamt eine bessere Effizienz und damit höhere Tagesleistungen des Mähdreschers zur Folge. Der Motor bleibt gleichmäßig hoch ausgelastet und der Automat bewahrt die Maschine vor steigenden Kornverlusten. Versuchsfahrten bei deaktiviertem Durchsatzregler und aktiviertem Automaten zeigen, dass die Verlust-Durchsatz-Kennlinie eine geringere Steigung aufweist. D. h., bei zunehmenden Kornverlusten regelt der Automat je nach Erntebedingungen die Rotordrehzahl höher oder er schließt die Rotorklappen, wenn die Reinigung mit viel Kurzstroh beaufschlagt wird, oder er öffnet das Untersieb bei reduzierter Obersieböffnung – der Vielfalt der Einstellkombinationen sind nur durch die Eckwerte Grenzen gesetzt [15]. Es kann vorkommen, dass mit größerer Untersieb- als Obersiebweite geerntet wird und das Arbeitsergebnis einwandfrei ist. Insgesamt ist dieser Sachverhalt mit dem Effekt eines Lenkautomaten zu vergleichen. Dieser sorgt für eine gleichbleibende Schnittbreite und damit Zufuhr von Erntegut über den ganzen Tag hinweg.

Beim Anmähen eines Schlages bringt der Automat eine Vorteilskombination: Der Fahrer kann sich vollkommen auf den Erntevorsatz konzentrieren, während die Regeltechnik dafür sorgt, dass sauberes Korn in den Bunker gelangt. Der Automat sichert auch die Funktion der Reinigung. Wenn z. B. nicht ganz reifes, dickeres Korn verarbeitet werden muss, reduziert er die Überkehr und schützt sie somit vor Verstopfung. Denn vor allem an Feldrändern sind die Erntebedingungen z. B. durch Beschattungen und wechselnde Bestandesdichten besonders unterschiedlich. Will der Fahrer dann noch die Einstellungen anpassen, muss er die Kontrolle des Schneidwerkes vernachlässigen und die Aufnahme von Fremdkörpern wie Äste, Steine usw. kann die Folge sein. Somit werden Ausfallzeiten und Reparaturkosten reduziert. Besonders auf ungleichmäßig geformten Schlägen mit Hindernissen im Schlag wirkt sich dieser

Vorteil deutlich aus, weil der Anteil der Vorgewendeflächen bei 12 m Arbeitsbreite dann bereits etwa 10 % der Schlagfläche betragen kann.

Die Erntegutqualität ist bei aktiviertem Einstellautomaten grundsätzlich besser als bei der Ernte mit Standardeinstellwerten. Dieser Sachverhalt ist naheliegend, weil der Automat passend zur Belegung der Reinigung mit Kurzstroh- und Spreu (Nichtkornbestandteile NKB) sowie Korn die entsprechenden Sieböffnungsweiten und Gebläsedrehzahlen wählt, also bei Über- und Unterbelegung mit den jeweiligen Anteilen an Korn und NKB entsprechend reagiert. Dazu dienen natürlich neben den Verlustsensoren auch die Sensoren zur Messung des Korn- und NKB-Anteils in der Überkehr. Im Ergebnis beträgt der NKB-Anteil in Weizen oft weniger als 0,1 % der Probenmasse. Wer bei derartiger Kornsauberkeit noch immer den bekannten Händlerabzug von 1 % der Gesamtmasse akzeptiert, verschenkt eben knapp 1 % seines Getreides. Im gegebenen Beispiel wären dies 0,9 % von 4 500 t Weizen zu einem Preis von 180 €/t, also insgesamt 7 290 €/a.

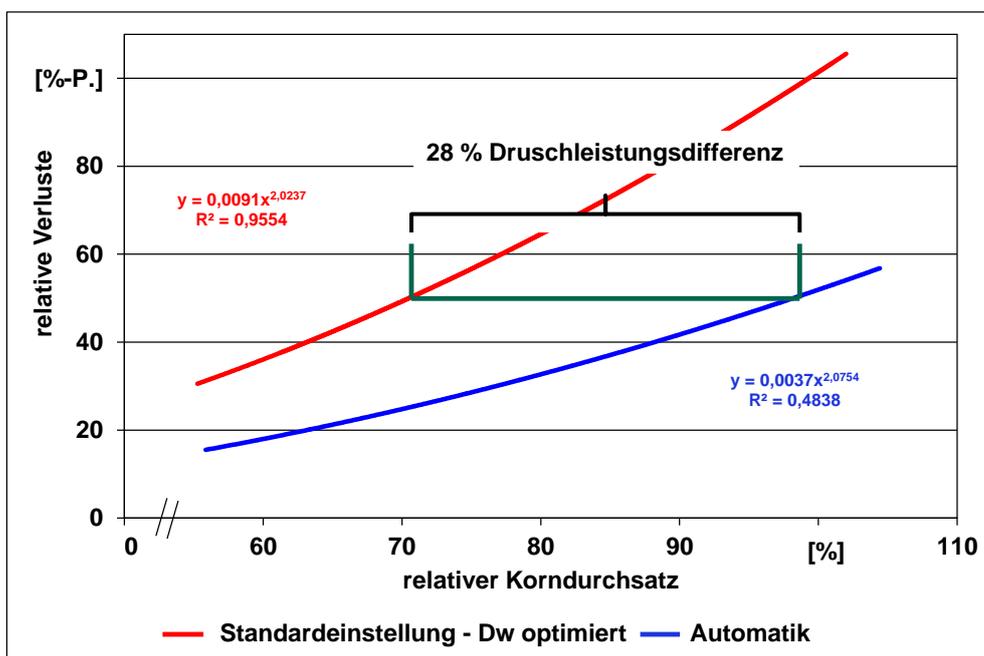


Abb. 20: Relative Kornverluste von Raps über relativem Korndurchsatz des Hybrid-Mähdreschers Claas Lexion 780 bei Standardeinstellung von Rotoren und Reinigung und optimierter Dreschwerkeinstellung und bei aktiviertem Einstellregler (CEMOS Automatik) bei unveränderter Dreschwerkeinstellung

Beachtliche Ergebnisse zeigten die Versuche in der Rapserte: Im Extremfall wurden bei einer hohen Strohfeuchte von 61 % Mehrleistungen von 28 % gemessen (Abb. 20) [15, 36]. Für die Verlust-Durchsatz-Kennlinien wurde der Durchsatzregler deaktiviert, weil sich mit aktiviertem Regler keine Kennlinie erstellen lässt. Denn der Durchsatz kann dann nicht vom Fahrer stufenweise verändert werden. Die Dreschwerkeinstellungen wurden optimiert, so dass der Kennlinienvergleich dieses Beispiels nur die Mehrleistung durch den Automaten gegenüber den Standardeinstellungen von Restkornabscheidung und Reinigung zeigt. Die blaue Funktion ist durch ein Bestimmtheitsmaß von lediglich 48 % gekennzeichnet. Derartig geringe Bestimmtheitsmaße ergeben sich immer bei aktiviertem Einstellregler, weil er die Einstellungen während der Messfahrten ändert. Bei zunehmendem Durchsatz werden die Einstellungen derart geändert, dass die Verlust-Durchsatz-Kennlinie möglichst flach verläuft.

Weniger als 2 % Besatz (NKB) im Raps sind kein Problem, vor allem nicht, wenn die Strategie „hohe Druschqualität“ gewählt wurde. Dann wurden Besatzwerte von weniger als 0,5 % gemessen [48]. Hinzu kommt die gleichzeitige Reduktion der Kornverluste. Diese wurden gegenüber den Ergebnissen bei Standardeinstellung oft halbiert. Aus einer realistischen Reduktion des NKB-Anteiles im Korn auf 1 % oder sogar darunter resultiert ein um 0,5 % höherer Auszahlungspreis. Bei einer Erntemasse von 1 200 t/a und einem Rapspreis von 390 €/t würde sich allein hierdurch ein Mehrerlös von 23 400 €/a ergeben. Doch leider honoriert der Handel sauberes Korn in zu geringem Maße, so dass viele Landwirte lieber die Strategie „NKB knapp unter 2 %“ wählen und sich somit den Besatz quasi bezahlen lassen.

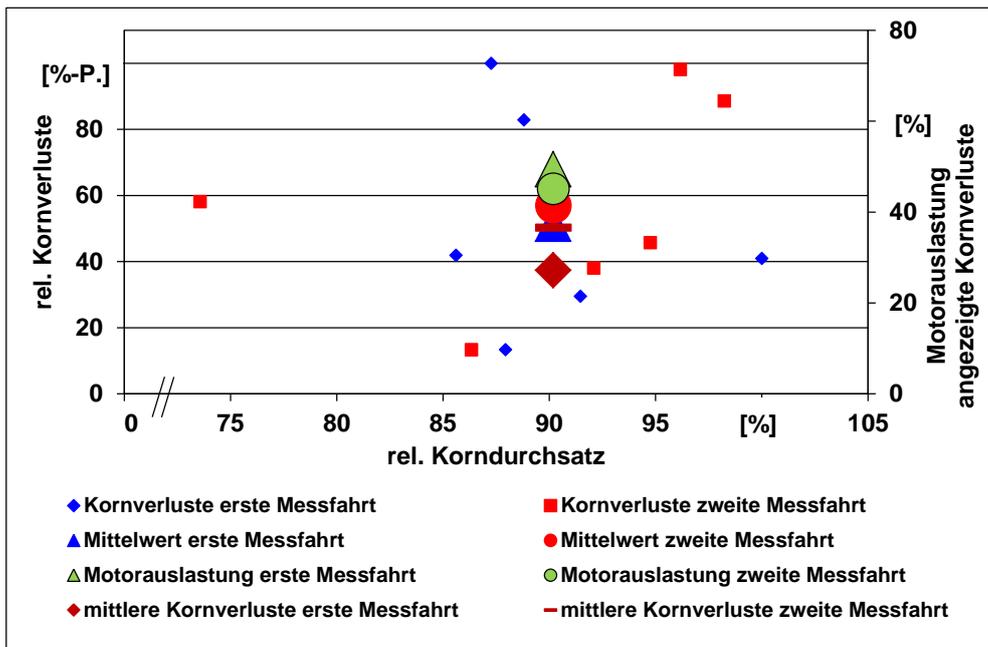


Abb. 21: Gemessene relative Kornverluste über relativem Korndurchsatz sowie mittlere Motorauslastung und mittlere angezeigte Kornverluste eines Hybrid-Mähdreschers (Claas Lexion 770) bei optimierter Dreschwerkeinstellung und bei aktiviertem Einstellregler (CEMOS Automatik) bei unveränderter Dreschwerkeinstellung – zwei Messfahrten nebeneinander in inhomogenem Weizen bei Schwadablage [38]

Ebenfalls realistisch ist eine **Reduktion der Kornverluste** um mindestens 0,5 %. Dies ergibt gemäß dem Beispiel eine zusätzlich gelieferte Rapsmasse von 6 t/a. Daraus resultiert wiederum ein Mehrerlös von 2 457 €/a bei einem Basispreis von 390 €/t plus 0,5 % Preisbonus für sauberes Korn. Zusätzlich widerlegen die Versuchsergebnisse die allgemeingültige Meinung, dass Einstellungen für sauberen Raps die Kornverluste erhöhen. Mit aktiviertem Automaten wurden grundsätzlich die Kornverluste reduziert, gleichgültig ob die Siebweiten und die Gebläsedrehzahl gegenüber der Standardeinstellung erhöht oder reduziert wurden.

Ein nicht zu vernachlässigender Aspekt ist das „gute Gefühl“ des Fahrers. Er erntet psychisch entspannter, wenn er sicher ist, einen Mähdrescher mit einem Investitionsvolumen von immerhin etwa 0,5 Mio. € zumindest nahezu an seiner technischen Grenze zu fahren, und dieses bei geringen Kornverlusten und hoher Erntegutqualität. Das Beispiel in Abb. 21 zeigt, wie der Mähdrescher in einem inhomogenen Bestand auf einem Schlag mit 1000 m Furchenlänge bei zwei Messfahrten an der vorgegebenen Grenze arbeitet. In solchen Fällen mit aktiviertem Durchsatzregler können keine Verlust-Durchsatz-Kennlinien

sondern nur Einzel- und Mittelwerte abgetragen werden. Das Beispiel zeigt, wie trotz einiger Abweichungen der Einzelwerte, bedingt durch unterschiedliche Stroherträge, die Mittelwerte nur geringe Unterschiede bei identischem Durchsatz aufweisen.

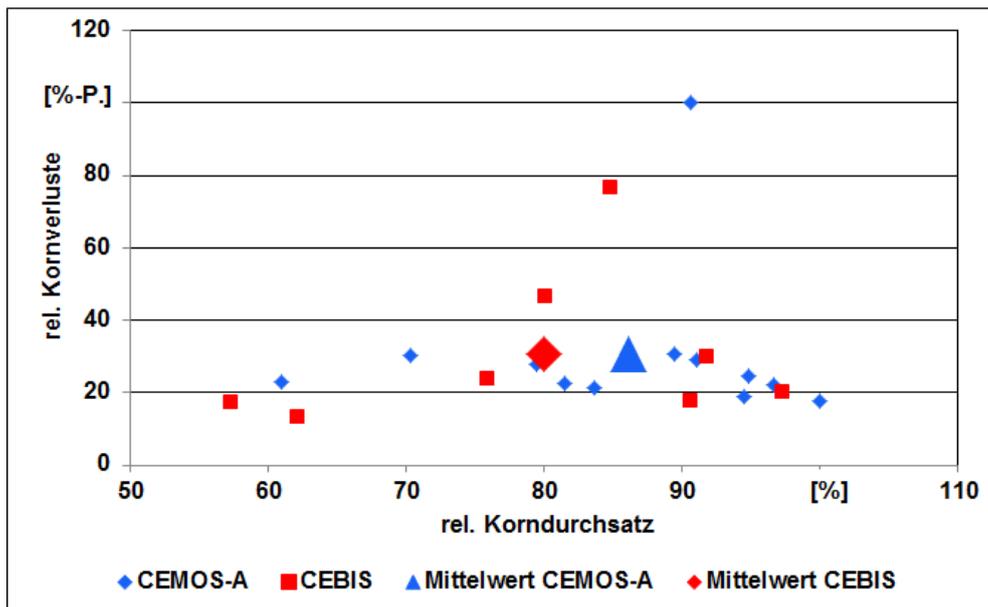


Abb. 22: Gemessene relative Kornverluste (100 % = 1,01 % absolut) über relativem Korndurchsatz eines Hybrid-Mähdreschers (Claas Lexion 770) bei Standard-Einstellung (CEBIS-Werte) und bei aktiviertem Einstellregler (CEMOS A) – jeweils zwei Messfahrten nebeneinander auf 80 ha Weizenfläche (zwei hohe Verlustpunkte bei Schwadablage)

Die Mittelwerte im Beispiel der Abb. 22 zeigen eine Mehrleistung des Hybrid-Mähdreschers bei aktiviertem Einstellregler von gut 6 % gegenüber den Standardeinstellungen (CEBIS). Es sind die Mittelwerte der blauen und roten Punkte, die wiederum Mittelwerte von 4 Verlust-Messschalen darstellen. Insgesamt liegen den auf einer Weizenfläche von 80 ha gemessenen Ergebnissen 80 Einzelmessungen zugrunde. Der Korndurchsatz zu den jeweiligen Kornverlustmessungen wurde dem Datalogging entnommen. Die beiden hohen Verlustpunkte stammen von Messungen bei Schwadablage am Vormittag, beginnend mit der CEMOS-A Variante bei noch feuchtem Stroh, aber mehr zur Verfügung stehender Motorleistung. Mit Ausnahme dieser beiden Werte ist ein gleichmäßigeres Kornverlustniveau bei aktiviertem Automat (VK = 17,5 %) als bei den Ergebnissen mit Standardeinstellung (VK = 44 %) deutlich erkennbar.

Ein entspannter Fahrer konzentriert sich intensiver und über eine längere Zeit auf die übrigen Vorgänge beim Mähdrusch, wie die Kontrolle des Gutflusses zum und im Schneidwerk sowie den Verlauf des Überladens und der Wendemanöver und die Koordination beim Komplexeinsatz. Dieser Nutzen lässt sich jedoch ebenso wenig quantifizieren wie der Nutzen eines Tempomaten und/oder eines Automatikgetriebes in einem PKW.

Insgesamt belegen diese Beispiele, dass aufgrund der Vielzahl der variablen Einflussgrößen auf den Ernteerfolg keine Pauschalaussagen zum wirtschaftlichen Nutzen des Einstellautomaten getroffen werden können. Bevorzugt ein Betrieb höhere Druschleistung, wird er auf jeden Fall eine Mehrleistung realisieren, bevorzugt er Arbeitsqualität, kann er einen Zahlungsbonus des Handels nutzen – wenn es denn einen gibt. Der wirtschaftliche Nutzen besteht in der Regel nicht aus der Summe der aufgeführten Mehrleistungen. Er ist auch von den Fähigkeiten des Fahrers abhängig, den Mähdrescher ohne Einstellassistent und Einstellautomat zu optimieren. In den gegebenen Versuchen wurden Druschleistung und

Arbeitsqualität bei aktiviertem Einstellautomaten meistens mit den entsprechenden Werten bei Standardeinstellung verglichen, um den Einfluss des Fahrers auszuschließen, der immer wieder unterschiedlich ist. Doch die bisherigen Erfahrungen mit dem Einstellassistenten und dem Automaten zeigen, dass selbst versierte Fahrer die vorgeschlagenen und vom Automaten gewählten Einstellungen mit den Worten kommentieren: „Diese Einstellungen hätte ich jetzt nicht gewählt, die Maschine arbeitet aber besser als erwartet“.

Der Fahrer muss sich aber auch mit dem System befassen. So erfordert das Lernen des Automaten bei Erntebeginn oder Änderung der Erntebedingungen ein wenig Geduld. Denn in Abhängigkeit von der Frucht und den aktuellen Erntebedingungen prüft der Automat zunächst Einstellgrenzwerte. Dabei kommt es vor, dass der Durchsatzregler die Erntegeschwindigkeit verringert und sich der Fahrer die Frage stellt, warum der Einstellautomat nun den Mähdrescher ausbremst, obwohl er den Durchsatz maximieren soll. Nach Wendemanövern lernt das System auf Basis der zuletzt gespeicherten Werte weiter. Die Lernphase dauert umso länger, je mehr Wendevorgänge sich in ihr befinden. Wechseln dann noch die Bedingungen mit unterschiedlichen Strohfeuchten von z. B. teilweise liegendem Getreide oder kommen im Extremfall noch wechselnde Hangverhältnisse hinzu, so kann der Regler an seine Grenzen geraten. Dann empfiehlt sich das Lernen der Eckwerte auf einem anderen Teilschlag.

Zu beachten ist auch, dass der Einstellautomat eine mangelhafte Dreschwerkeinstellung nur ganz selten kompensieren kann. Wird zu sanft gedroschen wird, erhöht sich zwangsläufig die Überkehrmenge, um unausgedroschene Fruchtstände nachzudreschen. Wird zu scharf gedroschen und somit Bruchkorn und Bruchstroh erzeugt, so kann der Automat daran nichts ändern. Er stellt die Rotoren und die Reinigung so ein, dass die Reinigung nicht durch NKB überlastet wird. Aus diesem Grunde wurde bei der Wirtschaftlichkeitskalkulation zum Einstellautomaten der Bruchkornanteil nicht berücksichtigt. Im Rahmen der Versuche blieb er auch bei Standardeinstellung mit meist weniger als 1 % weit unter dem gemäß BLE als Grenzwert für beginnende Preisabschläge vorgegebenen Bruchkornanteil von 3 %.

Wer den Einstellautomaten intensiv nutzen möchte, sollte den Gutfluss zum und im Schneidwerk und die Optimierung der Dreschwerkeinstellung keinesfalls vernachlässigen. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für ein maximales Druschergebnis. Der Einstellautomat befreit den Fahrer also nicht von der Aufgabe, den Gesamtprozess zu kontrollieren und gegebenenfalls optimierend einzugreifen.

Einstellassistenten und der Einstellautomat sind sogenannte maschinengestützte Intelligenz-Systeme.

Ein anderer Weg der Mähdrescheroptimierung basiert auf dem **Teleservice**. Claas bietet dazu seit langer Zeit das Telematics an [11]. Neben der Überwachung aller Maschinenfunktionen erfolgt auch eine Arbeitszeitauswertung. Es ist sogar eine Mähdrescherliga (combine league) verfügbar. Fahrer werden mit ihren Maschinenleistungen gerankt und können testen, ob z. B. die Einstellungen von Maschinen mit höherer Druschleistung auch unter ihren Erntebedingungen eine Leistungssteigerung bringen. Die Arbeitszeitauswertung ist bei entsprechender Nutzung von hohem Wert, um Schwachstellenanalysen im Verfahren durchzuführen und um überbetrieblich leistungsbezogen abzurechnen, was noch nicht ausreichend genutzt wird. Teleservice-Informationssysteme zur Einsatzoptimierung bietet AGCO derzeit für seine Mähdrescher nicht an [27].

John Deere arbeitet mit dem System Connected Combine [22]. Über das Teleservicesystem JDLink ist der Mähdrescher verbunden mit der Einsatzzentrale oder einem Fachmann beim Händler. Diese können von extern in das Informationssystem einsehen und bei Bedarf Hilfestellung bei der Maschineneinstellung geben. Das AFS von CASE (Advanced Farming Systems) ist ähnlich aufgebaut [5]. Gleiches gilt für New Holland. Dort heißt das System PLM Connect [32]. Es wird zwar eine Verbindung zwischen zwei Mähdreschern gezeigt, aber nicht näher beschrieben.

Zur Agritechnica 2011 stellte New Holland das System „remote data charing“ vor: Der Mähdrescher einer Flotte mit den optimalsten Einstellungen (mit dem besten Fahrer) überträgt seine Einstellungen automatisch auf die baugleichen anderen Mähdrescher, so dass immer alle Mähdrescher mit den Einstellungen des besten Fahrers arbeiten. Voraussetzung hierfür ist allerdings neben der Baugleichheit ein einheitlicher Verschleißzustand sowie ganz korrekte Nullpositionen der verschiedenen Baugruppen (Dreschkörbe, Abscheidekörbe, Siebe). In den aktuellen Produktinformationen [28, 32] findet sich das System in der 2011 vorgestellten Version nicht?

New Holland hat für das System OptiSpeed zur letzten Agritechnica eine Silbermedaille bekommen. Neben der hangneigungsabhängigen Gebläsedrehzahl bei Bergauf- und Bergabfahrt wird jetzt auch die Schüttlerwellendrehzahl bergauf reduziert und bergab erhöht. Diese Regeltechnik um nur +/- 20 Umdrehungen Differenz zur normalen Schüttlerwellendrehzahl von 220 U/min reduziert jeweils die Kornverluste bzw. erhöht die Druschleistung. Unabhängige Untersuchungsergebnisse liegen noch nicht vor. Für verschiedene Früchte wie z. B. Mais werden entsprechende Basisdrehzahlen vorgegeben, um die Förderung der Nichtkornbestandteile auf den Schüttlern zu optimieren und somit auch die Restkornabscheidung [28, 32]. Diese im Vergleich zu den beschriebenen komplexen Dialog- und Regeltechniken recht einfache Regeltechnik ist ein Beleg für fortwährend kleine Innovationen, die den Mähdrusch ständig effizienter machen.

Gleiches gilt für den Wind- und Neigungssensor für den Radialverteiler von Claas [10]. Das System ist einfach und kostengünstig; es hat aber einen sehr großen Nutzen. Der Fahrer wird entlastet. Wer den Sensor einmal genutzt hat, möchte nicht wieder darauf verzichten.

Diese „kleinen“ Innovationen, die hier noch um weitere ergänzt werden könnten, nutzen ausschließlich dem Kunden. Die „großen“ Innovationen, basierend auf Satellitentechnik und Teleservice sind allesamt zwar von großem Nutzen für den Landwirt oder Lohnunternehmer, sie bergen aber auch die Gefahr der Datennutzung durch Dritte in sich. Spätestens seit dem NSA-Skandal hat diesbezüglich beim Landwirt auch die Sensibilität zugenommen – Big Data heißt der Slogan. Ein Landwirtschaftsbetrieb, der von der Bodenbearbeitung über die Bestellung und Pflege bis hin zur Ernte alle Daten per GPRS oder UMTS zum Server überträgt, kann für Betriebsmittelzulieferer sehr interessante Daten liefern.

Wen wundert es dann noch, wenn in den USA bereits das sogenannte „Prescriptive Farming“ betrieben wird. Die „Datensammler“ können z. B. Betriebsdaten mit Wetter- und Bodendaten kombinieren und daraus Einsatzempfehlungen, also Rezepte für den Betriebsleiter entwickeln [4]. Wer die Rezepte erstellt, bestimmt auch die Betriebsmittel – ähnlich der mit dem Arzt abgestimmten Medikamente, die eine Apotheke verkauft -, was die fachlich basierte Individualität eines guten Betriebsleiters sicherlich einschränkt. Andererseits generieren die großen Betriebsmittelanbieter zusätzliche Gewinne durch das Schaffen von Abhängigkeiten. Ob diese Art der Landwirtschaft ein Modell der Zukunft auch bei uns sein wird, ist hoch zweifelhaft.

5. Bewertung der Druschleistung und Arbeitsqualität

Die **Druschleistung** eines Mähdreschers steht als Kaufkriterium nach wie vor an erster Stelle. Eine genauere Betrachtung dieser sogenannten Druschleistung zeigt, dass es sehr viele unterschiedliche Ansätze und Bezugsgrößen gibt. Meistens ist damit der Korndurchsatz pro Stunde oder pro Tag gemeint. Denn dieser wird per Ertragsmessung, ob im Informationssystem des Mähdreschers oder per Wägung auf der Brückenwaage, gemessen. Demzufolge ist es ein einfach nachvollziehbarer Kennwert.

Ein für den Landwirt schwer nachvollziehbarer Kennwert ist der **NKB-Durchsatz**, der Durchsatz an Nicht-Korn-Bestandteilen. Dies ist der viel aussagekräftigere Kennwert, weil das Stroh und die Spreu den Durchsatz eines Mähdreschers in viel größerem Maße beeinflussen als das Korn. Dazu ein Beispiel gemäß Tab. 2: Im Rahmen der vielen Untersuchungen an Mähdreschern der vergangenen Jahre zeigte sich ein Unterschied zwischen den Korn:NKB-Verhältnissen von verschiedenen Winterweizen von 1 : 0,46 bis 1 : 1,52; ein sehr kurzer B-Weizen in Küstennähe und ein langer E-Weizen im südlichen Mitteldeutschland. Der jeweils eingesetzte und vergleichbare Hybrid-Mähdrescher erntete in Küstennähe 56 t/h Weizen bei einem Verlustniveau von 0,5 %. Bei gleichem Verlustniveau erntete der Mähdrescher im südlichen Mitteldeutschland 41 t/h, also 15 t/h weniger Korn. Mähdrescher 2 setzte jedoch 2,42 mal mehr NKB durch, so dass sein Gesamtdurchsatz (Korn plus NKB) 21,6 t/h höher war als der des MD 1, dessen Druschleistung ohne Berücksichtigung des NKB-Durchsatzes höher eingestuft worden wäre.

Tab. 2: Beispiele für unterschiedliche Durchsätze aufgrund verschiedener Korn:NKB-Verhältnisse bei technisch gleichen Hybrid-Mähdreschern

Kennwert	MD 1	MD 2
Fruchtart	B-Weizen	E-Weizen
Korn:NKB-Verhältnis [1 : ...]	0,46	1,52
Kornverluste [%]	0,5	0,5
Korndurchsatz [t/h]	56	41
NKB-Durchsatz [t/h]	25,76	62,32
Gesamt-Durchsatz [t/h]	81,76	103,32

Das Problem hierbei besteht in der Unbekannten „Stroh und Spreu“. Denn der NKB-Ertrag wird normalerweise nicht gemessen und kann demzufolge dem Landwirt auch nicht als Bezugsgröße dienen. Nur die DLG misst im Rahmen ihrer Mähdrescherprüfung durch Wägung den NKB-Ertrag durch Auffangen sämtlicher Abgänge des zu prüfenden Mähdreschers in Behältern des sogenannten Nachdreschers [12]. Eine andere Methode ist das Messen des Korn:NKB-Verhältnisses durch Probennahme ganzer Pflanzen im Feld, Ausdreschen mit dem Ährendrescher im Labor, Wiegen der Bestandteile und anschließendes Berechnen des NKB-Durchsatzes. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, die NKB oberhalb jeder Verlustmessschale im Feld zu wiegen und die Kornverluste in Abhängigkeit vom NKB-Durchsatz (Abb. 23) abzutragen. Dies ist jedoch mit viel Arbeitsaufwand im Feld verbunden.

Anzumerken ist, dass das Korn:NKB-Verhältnis bei Mähdrescheruntersuchungen nicht dem Korn:Stroh-Verhältnis bei Pflanzenbauuntersuchungen gleich zu setzen ist. Bei Letzterem handelt es sich um die Gesamttrockenmasse der NKB. Im Gegensatz dazu ist für die Mähdrescherprüfung ausschließlich die Frischmasse der von der Maschine verarbeiteten NKB von Bedeutung. D. h., das Korn:NKB-Verhältnis ändert sich auch bei unterschiedlicher Strohfeuchte.

Wissenschaftlich ist dies die korrekte Darstellungsweise einer Verlust-Durchsatz-Kennlinie (Abb. 23). Aus Gründen der Vergleichbarkeit und der Vermeidung von Wettbewerbsdiskussionen werden die Kornverluste und der NKB-Durchsatz in v. H. angegeben. Das Verlustniveau von 22 %-Punkten entspricht in diesem Falle tatsächlich dem 1 % Verlustniveau.

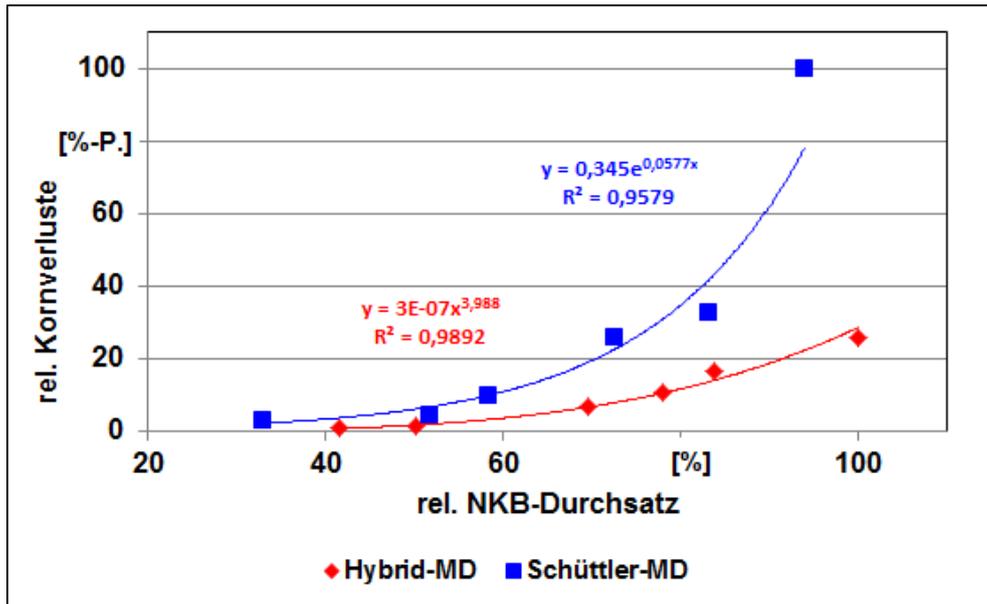


Abb. 23: Relative Kornverluste (100 % = 4,2 % absolut) über relativem NKB-Durchsatz eines Hybrid-Mähdreschers und eines vergleichbaren Schüttler-Mähdreschers

Die **Kornverluste** misst die DLG auch mit Hilfe des Nachdreschers. Die Ausdrusch-, die Restkornabscheidungs- (Schüttler- oder Rotorverluste) und die Reinigungsverluste werden separat erfasst und gewogen [12]. Dagegen können mit der eigenen Schalenmethode (Abb. 24) nur die Gesamtverluste gemessen werden. Die Ausdruschverluste werden durch Bonitur der gedroschenen Fruchtstände ermittelt und zu den Restkornabscheidungs- (Schüttler oder Rotor/en) und Reinigungsverlusten hinzuaddiert [38].



Abb. 24: Platzieren der Verlust-Messschalen mittig unter dem Mähdrescher und gleichzeitige Entnahme einer Kornprobe an der Bunkerbefüllschnecke

Bei der Messung der **Kornverluste per Schale** ist die korrekte Bezugsfläche entscheidend. Dazu wird zunächst der Wurfweitenfaktor [38] berechnet. Dies ist der Quotient aus Dreschkanalbreite und Arbeitsbreite bei Schwadablage bzw. Wurfweite der Verlustkörner bei Häckslerbetrieb und Arbeitsbreite.

Bei Häckslerbetrieb muss die Wurfweite der Verlustkörner durch seitlich neben dem Mähdrescher abgelegte Messschalen bestimmt werden. Dies erhöht den Arbeitsaufwand und die möglichen Ungenauigkeiten der Messungen, weshalb vorzüglich bei Schwadablage gemessen wird.

Die auf den Messschalen liegenden Verlustkornmassen (g/Schale) werden einfacher Weise in Masse pro Flächeneinheit (g/m²) umgerechnet und auf den Ertrag (g/m²) bezogen. Das Ergebnis sind die ertragsbezogenen Kornverluste. Ein Messpunkt ist das Ergebnis der Mittelwertberechnung aus 4 einzelnen Proben. Den beiden Verlust-Durchsatz-Kennlinien in Abb. 23 liegen somit insgesamt 48 Einzelproben zugrunde. Es werden jeweils 4 Messschalen pro Messtrecke bei 6 Messtrecken pro Messfahrt, also 24 Schalen pro Messfahrt unter den Mähdrescher gelegt. Diese Schalen liegen vor Beginn einer Messfahrt auf einem kleinen Wagen (Abb. 24), der vom Mähdrescher gezogen wird. Die Schalen sind mit einer Schnur versehen, um sie passend platzieren zu können. Nachteil dieser Vorgehensweise ist die mangelhafte Arbeitssicherheit. Vorteilhaft ist, dass am Mähdrescher nichts montiert oder demontiert werden muss [38].

Für den Landwirt ist diese Verfahrensweise natürlich viel zu aufwendig. Es liegt daher nahe, eine Verlustprüfschale der Fa. Feiffer [14] zu nutzen. Damit ist eine näherungsweise Verlustbestimmung möglich, indem die Verlustkörner in die entsprechenden Kästchen geschoben werden. Alternativ lassen sich auch andere Schalen nutzen und wie oben beschrieben die gewogenen Kornverluste pro Schale in ertragsbezogene Verluste umrechnen. Dazu dient die einfache Formel: **Kornverluste (%) = Masse Verlustkörner pro Schale (g/Schale) x Dreschkanalbreite bei Schwadablage bzw. Wurfweite bei Häckslerbetrieb (m) / Ertrag (t/ha) x Schnittbreite (m) x Messschalenfläche (m²).**

Meistens werden jedoch nur die Körner pro Flächeneinheit hinter dem Mähdrescher oder auf einer Messschale gezählt. Dann muss mit Hilfe der TKM nach folgender Formel gerechnet werden: **Kornverluste (%) = Anzahl Körner pro Schale x Dreschkanalbreite bei Schwadablage bzw. Wurfweite bei Häckslerbetrieb (m) x TKM (g/1000 Körner) x 0,001 / Ertrag (t/ha) x Schnittbreite (m) x Messschalenfläche (m²).** Für die jeweiligen Mähdrescher lässt sich mit Hilfe einer Tabellenkalkulation eine einfache Tabelle gemäß Tab. 3 erstellen, anhand derer die Kornverluste näherungsweise bestimmt werden können.

Tab. 3: Hilfstabelle zur Bestimmung des Kornverlustniveaus von 1 % bei einem Ertrag von 9 t/ha, einem TKM von 45 g/1000 Körner und einer Wurfweite der Verlustkörner von 0,7 der Schnittbreite, bei unterschiedlichen Schnitt- und Dreschkanalbreiten

Dreschkanalbreite [m]	Schnittbreite [m]	Schwadablage Häckslerbetrieb (0,7 x Schnittbr.) [Verlustkornzahl pro m ²]	Schwadablage Häckslerbetrieb (0,7 x Schnittbr.) [Verlustkornzahl pro Zollstockfläche]
1,3	5	769	286
	7	1077	286
	9	1385	286
1,5	7	933	286
	9	1200	286
	11	1467	286
1,7	9	1059	286
	10,5	1235	286
	12	1412	286

Vielen Landwirten reicht eine einfache Sichtkontrolle der Kornverluste hinter dem Mähdrescher. Dann wird immer wieder die Frage gestellt, wie viele Körner pro Handfläche auf dem Boden liegen dürfen. Jedoch sind Handflächen unterschiedlich groß und sie lassen sich nur schwierig auf die Ackerfläche projizieren.

Abhilfe kann gemäß Abb. 26 ein einfaches Hilfsmittel schaffen – der Zollstock, den viele Landwirte ohnehin mit sich tragen. Daraus ist rasch ein Quadrat mit den Maßen 18,5 x 18,5 cm geformt. Dies kann als Referenzfläche für mehrere Stichproben genutzt werden. In Tab. 3 sind für diese Methode die Kornzahlen für diese „Zollstockfläche“ (0,034225 m²) angegeben. Diese Methode ist zwar im Vergleich zu den beschriebenen ungenauer, aber viel genauer als das einfache Freiblasen einer unbekanntenen Fläche, Zählen der Körner und anschließendes Schätzen.

Wichtig für eine **überschlägige Verlustbestimmung** ist das Erfassen der Kornverluste neben dem Mähdrescher. Eigene Untersuchungen [13] haben ergeben, dass die Kornverluste bei Häckslerbetrieb entgegen aller Vermutungen im Stroh-Kaff-Gemisch nicht immer auf die ganze Arbeitsbreite verteilt werden, oft sogar nur auf eine Breite von 4 m, auch bei großen Arbeitsbreiten von mehr als 9 m. Dies ist abhängig vom Spreu- und Strohverteilsystem und von der Stoppelhöhe. Besonders Raps-Verlustkörner werden nur schmal verteilt.



Abb. 25: Bewertung von Kornverlusten mit Hilfe eines Zollstockes

Spreuverteiler hinter der Reinigung können je nach Hersteller und Einstellung bei Arbeitsbreiten unter 9 m die Verlustkörner sogar zur Seite bis in den stehenden Bestand oder bis fast zum nebenliegenden Schwad schleudern. Daher ist bei einer Verlustprüfung sowohl die Konstruktion als auch die Einstellung der Häckselgut- und Spreuverteilterchnik zu beachten.

Kompliziert wird die Verlustprüfung bei Rotor-Mähdreschern. Je feuchter das Stroh, desto weiter werden das Stroh und die darin befindlichen Verlustkörner in Drehrichtung des Rotors geschleudert [13].

Bei Axialrotor-Mähdreschern mit einem Rotor (CASE, John Deere) und Hybrid-Mähdreschern mit einem Rotor (Claas Tucano) dreht dieser in Fahrtrichtung gesehen rechts herum. Folglich werden die Rotor-Kornverluste mehr links abgeworfen, wenn die Erntebedingungen schwierig werden. Bei Häckslerbetrieb kann der Großteil der Kornverluste links neben dem Mähdrescher liegen. Gleiches gilt für Twinrotor-Mähdrescher (New Holland) und den nicht mehr gebauten Hybrid-Mähdrescher John Deere C: Der linke Rotor dreht rechts und der rechte Rotor links herum. Folge: Eine breite Verteilung der Rotorverluste zu beiden Seiten. Auflaufende Verlustkörner werden später nicht mehr dem Mähdrescher angelastet, sondern evtl. als Aufnahmeverluste interpretiert.

Drehen dagegen die Rotoren gegenläufig nach innen (linker Rotor links und rechter Rotor rechts herum), was beim Claas Lexion und MF Delta bzw. Fendt X der Fall ist, so entsteht ein schmales Verlustband. Das später in Streifen auflaufende Verlustgetreide wird direkt ursächlich dem Mähdrescher zugeordnet und meistens in seiner Höhe überbewertet, weil die Körner eben nicht breitflächig verteilt wurden. Daher empfiehlt sich vor allem bei Rotor-Mähdreschern auch neben dem Mähdrescher zu prüfen. Denn breit verteilte Kornverluste werden nicht unter- und schmal verteilte Kornverluste nicht überbewertet, wenn bekannt ist, wo die Verlustkörner hingeschleudert wurden.

Auf das Problem des mehr linksseitigen Auswurfes beim Einrotor-Mähdrescher hat Claas beim neuen Tucano 570 konstruktiv reagiert. Ein von der Kabine aus verstellbares Leitblech sorgt für einen mittigen Auswurf des Strohs und somit auch für eine gleichmäßige Verteilung des Häckselgutes. Bei Schwadablage kann der Fahrer damit auch einstellen, ob das Schwad schmal und kompakt oder als quasi Doppelschwad abgelegt werden soll [?]. Derartige Konstruktionen werden sicherlich auch für andere Rotor-Mähdrescher gewünscht, wenn bei höheren Strohpreisen mehr Stroh geerntet bzw. die Querverteilung des Strohs weiter optimiert werden wird.

Der **Bruchkornanteil** ist immer wieder ein viel diskutiertes Thema. Zu bedenken ist hier jedoch, dass gemäß BLE erst ab 3 % Bruchkorn die Abzugstabelle beginnt. Der Anteil gebrochenen Kornes in den Kornverlusten beträgt bei untersuchten Schüttler- und Hybrid-Mähdreschern weniger als 20, meist sogar weniger als 10 %. D. h., mehr als 80 bzw. 90 % des gesamten, erzeugten Bruchkornes befindet sich im Bunker. Dies ist bei der Gesamtbewertung von Bruchkorn zu berücksichtigen [9]. Daher ist in erster Linie interessant, wie der Getreidehandel Bruchkornanteile abrechnungsmäßig bewertet bzw. welche Art der Kornanalyse praktiziert wird und wie sich dies auf die Getreideabrechnung auswirken kann.

Dazu wurden im Rahmen einer Projektarbeit an der FH Bingen [2] 66 Kornproben (48 Weizenproben und 18 Gerstenproben) analysiert. Zunächst wurde der Bruchkornanteil aus 100 g Originalprobe von Hand selektiert. Das ist die übliche Analyseverfahren, um den vom Mähdrescher erzeugten Kornbruch zu messen. Dieselben Proben wurden dann per Schüttelsieb fraktioniert. Aus der Verkaufsware – bei Gerste < 3,5 und > 2,2 mm Langloch, bei Weizen < 3,5 und > 2 mm Langloch – wurde der Bruchkornanteil nochmals per Hand ausgelesen. Dies ist die von der BLE vorgegebene Methode [39]. Außerdem wurde der Anteil Korn < 2,2 mm (Gerste), < 2 mm (Weizen) und > 1 mm gewogen. Dies ist der Anteil des Getreides, den der Landhandel per Probenreiniger selektiert und als Bruch- und Kümmerkorn ausweist.

Abb. 26 zeigt die funktionalen Zusammenhänge zwischen den beiden Letztgenannten und der erstgenannten Analyseverfahren. Zwischen der BLE-Methode und der Analyse aus der Original-Kornprobe besteht ein erwartungsgemäß hoher Zusammenhang. Der Bruchkornanteil gemäß BLE ist geringer als der aus der Originalprobe, weil ein Teil der Kornbruchstücke durch das 2,2 mm (Gerste) bzw. 2,0 mm (Weizen) Sieb hindurchfällt und daher nicht mehr gezählt wird. Diese Methode ist für einen Betrieb, der gereinigtes Getreide einlagern bzw. vermarkten will, empfehlenswert.

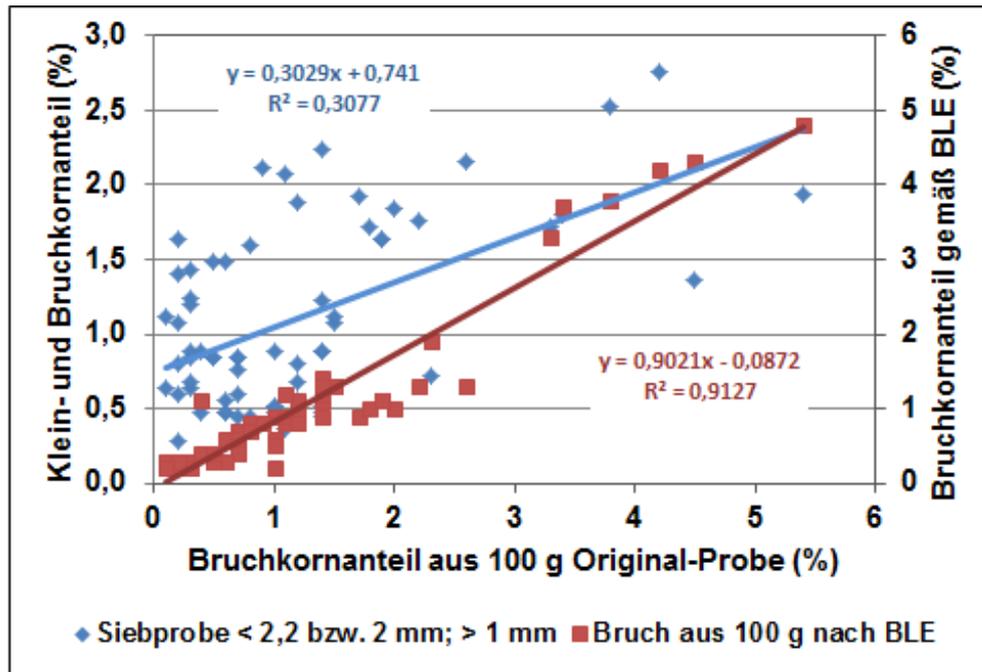


Abb. 26: Funktionale Zusammenhänge zwischen Siebanalyse und Bruchkornanalyse nach Siebung gemäß BLE und Selektion von Bruchkorn aus der Original-Kornprobe

Die Ergebnisse der Siebanalyse korrelieren nur in geringem Maße positiv mit den Analyseergebnissen aus den Original-Kornproben. Im Bereich geringer tatsächlicher Bruchkornanteile weist die Siebanalyse sehr häufig zu hohe Bruchkornanteile aus. Und im Bereich hoher tatsächlicher Bruchkornanteile weist die Siebanalyse zu geringe Bruchkornanteile aus. Bei 6 Proben mit tatsächlich mehr als 3 % Bruchkornanteil wurden weniger als 3 % Bruch- und Kümmerkornanteil ausgesiebt. Das Ergebnis dieser Untersuchungen bestätigt nochmals die Ergebnisse aus [39]. Die Siebanalyse ist zur Bestimmung des Bruchkornanteils einer Getreideprobe sachlich nicht die richtige Methode. Dennoch bedient sich der Agrarhandel dieser Methode, weil das händische Probenauszählen zu arbeitsaufwendig ist. Daher empfiehlt sich zur Kontrolle möglicher Abzugswerte dennoch die Analyse per Schüttelsieb oder Laborreiniger.

6. Bewertung der Strohernte bei Nutzung verschiedener Mähdrescher

Je nach Mähdreschertyp und Art der Strohnutzung ist es möglich, die Spreu ins Stroh zu blasen oder seitlich ins Feld zu blasen, wenn sie nicht mitgeerntet werden soll. Dieses sogenannte Strohmanagement hat zur Folge, dass entweder der Großteil des Reinigungsabganges geerntet wird oder nicht. Bei Strohbergung wird auf jeden Fall der größte Teil des Langstrohs geerntet. Die Strohverluste sind abhängig vom Kurzstrohanteil und von der Verfahrensweise (Abb. 27). Muss das Stroh zum Trocknen gewendet oder gelüftet werden, so ist auf jeden Fall mit einem Verlust an Kurzstroh zu rechnen, weil das zwischen den Stoppeln zu Boden fallende Kurzstroh nicht von der Pickup der Ballenpresse aufgenommen wird. Wie hoch diese Verluste sind, ist vom Kurzstrohanteil im Langstroh bzw. in den Gesamt-NKB abhängig.

Sehr einfach umsetzbar ist die Ernte von trockenem Stroh direkt hinter dem Mähdrescher. Je nach Verwendung des Strohs erfolgt das Pressen meistens mit aktiviertem Schneidwerk. Da das Stroh nicht mehr

nachtrocknen muss, ist die Schwaddichte unbedeutend. Diese Variante der Strohbergung kommt jedoch relativ selten vor, weil das Stroh beim Mähdrusch meistens mehr als 15 bis 20 % Wassergehalt aufweist. Bei dieser Feuchte wird es zwar in Grenzfällen noch gepresst, jedoch ist es das Ziel, das Stroh mit einem Wasseranteil von weniger als 15 % zu ernten, um möglichst hohe Pressdichten bei Erhalt der Strohqualität zu erreichen. Oberhalb dieses Feuchtegehaltes muss das Stroh nachtrocknen. In eigenen Versuchen mit Mähdreschern wurden schon Wassergehalte des Strohs von mehr als 70 % gemessen.

Dann ist eine **Trocknungszeit** erforderlich, die neben der Verdunstungsrate auch von der Strohoberfläche im Schwad bzw. von der Schwaddichte abhängig ist. Je dichter das Stroh im Schwad liegt, desto länger dauert die Nachtrocknung und desto häufiger ist ein Wendevorgang mit dem meistens vorhandenen Schwader oder ein Lüftvorgang mit dem sogenannten Schwadlüfter [1] erforderlich. Rotor-Mähdrescher zerkleinern das Stroh stärker als Schüttler-Mähdrescher. Dieses kürzere Stroh liegt dichter im Schwad und erfordert somit eher einen Wende- oder Lüftvorgang zum Nachtrocknen. Dieser hat wiederum höhere Strohverluste zur Folge, weil Kurzstroh zwischen den Stoppeln dicht auf den Boden fällt, das von der Pickup der Ballenpresse nicht aufgenommen wird.

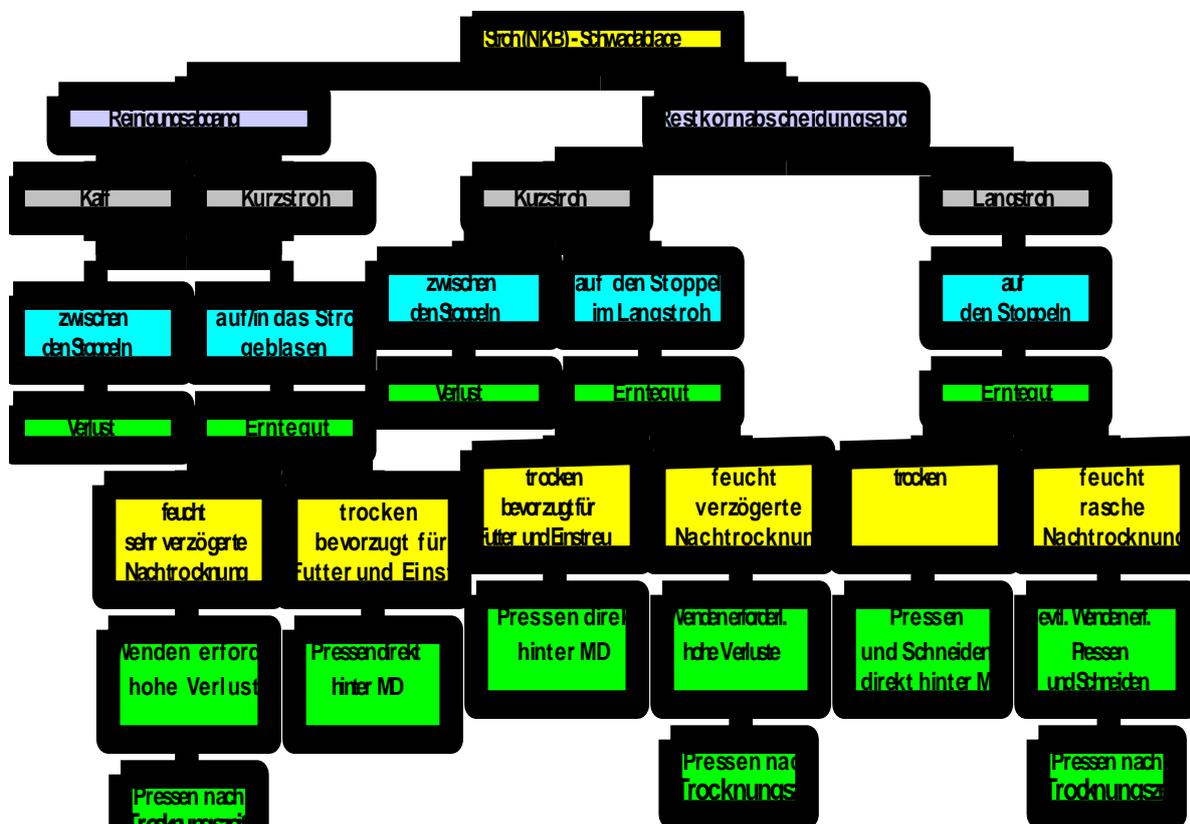


Abb. 27: Struktur der Strohernte – Bestandteile im Strohschwad, mögliche Strohverluste sowie Trocknungsverhalten nach der Ernte

Deshalb legen einige Hersteller das Stroh bereits mit dem Mähdrescher **breit oder in breiten Schwaden** ab. Case bietet die Möglichkeit, das Stroh einfach mit einem Paddelverteiler auf Arbeitsbreite zu streuen [5]. Nach der Trocknungszeit wird es geschwadet und gepresst. Je nach Witterungsverlauf entfällt das Wenden des Strohs. Wie viel Stroh bei dieser Verfahrensweise verloren geht, wurde noch nicht gemessen. Zur Breitablage von Stroh bietet Agribroker [1] einen sogenannten Strohlüfter an. Dies ist ein Paddelverteiler, der an die Strohhäube des Mähdreschers montiert wird und das Stroh breit verteilt. Derartige Verteiler wurden in England bis Ende der 80er Jahre genutzt, bevor die Strohverbrennung

verboten wurde. In Argentinien sind alle Mähdrescher mit Paddelverteilern ausgerüstet, weil die schweren Direktsaatmaschinen nachfolgend das aufliegende Stroh bei der Saat der Folgefrucht mit ihren vorlaufenden Waffelscheiben und Doppelschneidscheibenaggregaten zerschneiden.

Eigene Feldversuche in der Ernte 2014 [23] ergaben, dass der vom Mähdrescher erzeugte **Kurzstrohan- teil** nicht nur von der Mähdreschereinstellung und dem Dresch- und Trennsystem, sondern auch vom Durchsatz abhängt, wie Abb. 28 zeigt. Gemessen wurde bei brüchigem Weizenstroh mit 14,5 % Feuchte der Kurzstrohan- teil, der zwischen den Stoppeln zu Boden fällt (rote Funktion). Dieser Kurzstrohan- teil wird nicht geerntet und beträgt in diesem Beispiel durchschnittlich 226 kg/ha. Er ändert sich bei zu- nehmendem Durchsatz unbedeutend. Der Kurzstrohan- teil im Langstroh – das ist in diesen Untersu- chungen das durch ein Schüttelsieb mit den Maschenweiten 50 x 240 mm fallende Stroh – steigt mit zunehmendem Durchsatz von fast 1 000 auf 1 700 kg/ha an. Dies ist ein Beleg für die zunehmende Strohbelastung durch den Dreschvorgang, je mehr Stroh sich im Dreschspalt befindet. Der Kornbruch nimmt gleichzeitig durch die größere polsternde Strohmasse ab. Erstmals wird hiermit die negative Korrelation mit der positiven belegt.

Die Ergebnisse gemäß Abb. 28 belegen auch den logischen Zusammenhang zwischen der Strohbelas- tung (Kurzstrohan- teil) und dem Durchsatz. Wenn das gleiche Dreschwerk in einer Schüttler- und in ei- ner Rotormaschine verbaut wird, ist das Stroh des Hybrid-Mähdreschers unter sonst gleichen Bedin- gungen allein durch den höheren Durchsatz im Dreschwerk kürzer als das der Schüttlermaschine. Hinzu kommt dann die Strohbelastung durch den/die Rotor/en.

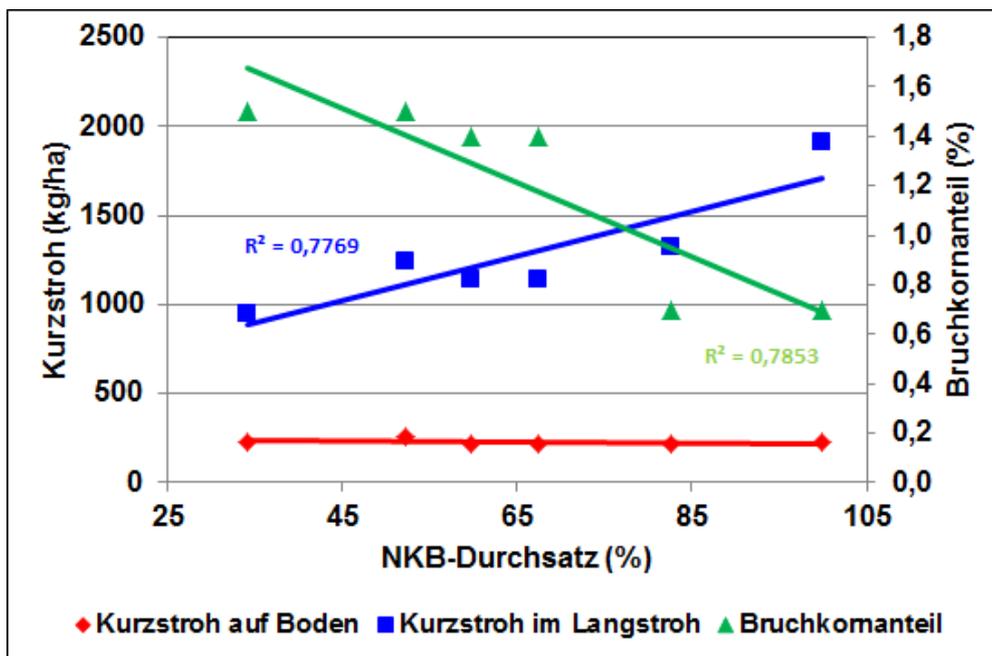


Abb. 28: Kurzstrohertrag und Bruchkornanteil über relativem NKB-Durchsatz eines Hybrid-Mähdreschers in Weizen

Die beschriebenen Zusammenhänge werden durch die Ergebnisse gemäß Abb. 29 nochmals verdeut- licht. Es wurde die von einem Schüttler-Mähdrescher verursachte Strohlänge mit der von einem Einro- tor-Hybrid-Mähdrescher mit baugleichem Dreschwerk erzeugten Strohlänge verglichen. Die Strohfeuch- te betrug 23,5 % und der NKB-Ertrag betrug 6,9 t/ha. Der Schüttler-Mähdrescher erzeugte durchschnitt- lich 27,5 %-Punkte weniger Kurzstroh im Langstroh als der Hybrid-Mähdrescher. Bemerkenswert ist jedoch, dass der Kurzstrohan- teil zwischen den Stoppeln bei beiden Mähdreschern etwa gleich hoch

war. Diese ähnlich hohen Kurzstrohanteile zwischen den Stoppeln mit kaum nennenswerten Unterschieden zwischen der Schüttler- und der Hybridmaschine wurden auch in anderen Untersuchungen bestätigt.

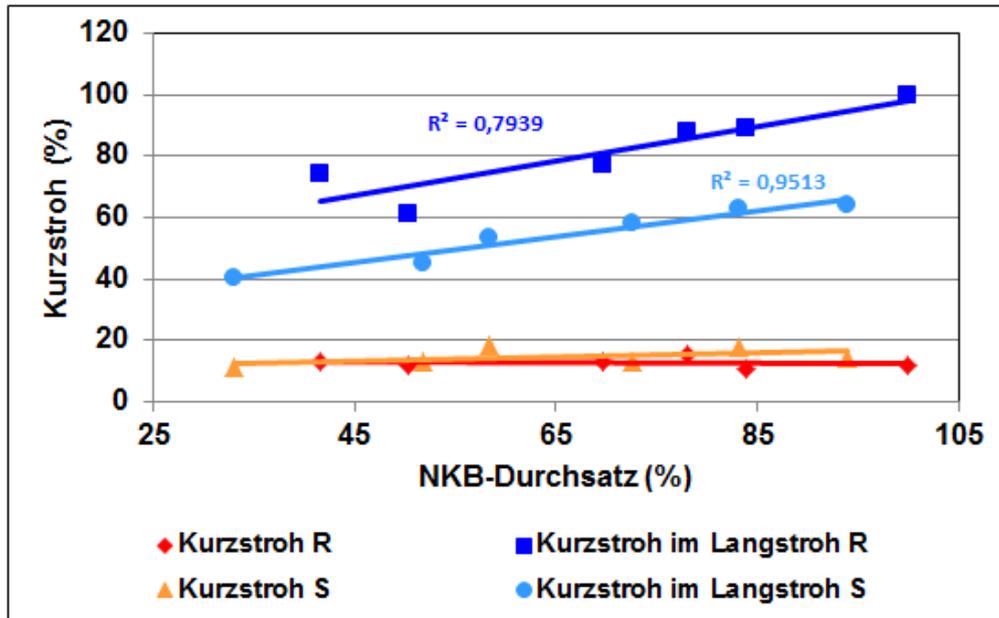


Abb. 29: Relativer Kurzstrohertrag über relativem NKB-Durchsatz eines Schüttler- (S) und eines Hybrid-Mähdreschers (R) mit baugleichem Dreschwerk in Weizen [23]

Für den strohvermarktenden Landwirt ergibt sich daraus folgendes Ergebnis: Wenn das im Schwad liegende Stroh nicht gewendet oder gelüftet werden muss, so ergeben sich bei beiden Mähdreschern nahezu identische Stroherträge. Die Kurzstroh- und Spreumasse zwischen den Stoppeln ist bei beiden Mähdreschern ebenfalls nahezu gleich. D. h., durch die Nutzung des Hybrid-Mähdreschers ergeben sich keine Strohverluste, der monetäre Ertrag bleibt gleich. Erst durch einen Wende- oder Lüftvorgang erhöht sich das Risiko von Strohverlust durch aus dem Langstroh auf den Boden fallendes Kurzstroh.

Vergleichende Untersuchungen in Gerste und Weizen ergaben maximale höhere Strohverluste des Hybrid-Mähdreschers von 1 000 bzw. 300 kg/ha als bei der vergleichbaren Schüttlermaschine, wenn das Stroh gewendet/gelüftet werden muss. Wie gesagt, kann der Strohverlust aber auch gegen Null gehen. Insgesamt zeigten die Untersuchungen, dass der Kurzstrohanteil im Langstroh mehr von der Zähigkeit des Strohs als von der Mähdreschereinstellung abhängt. Mit reduzierter Rotordrehzahl lässt sich das Stroh zwar schonen, aber dies kann auch den Gesamtdurchsatz reduzieren, weil die Abscheideverluste zunehmen.

Es lassen sich folgende Empfehlungen für stroherntende Betriebe ableiten:

- Mit einem Hybrid-Mähdrescher lässt sich bei angepasster Rotordrehzahl vergleichsweise langes Stroh ernten.
- Strohverluste im Vergleich zum Schüttler-Mähdrescher sind erst zu erwarten, wenn das Stroh gewendet oder gelüftet werden muss.
- Erst bei überständigem und entsprechend brüchigem Stroh sind etwa 500 bis 1 000 kg/ha höhere Kurzstrohmassen im Schwad des Hybrid-Mähdreschers im Vergleich zur Schüttlermaschine zu erwarten.
- Das kürzere Stroh im Schwad trocknet vor allem in nassen Ernteperioden verzögert ab. Darauf sollte verfahrenstechnisch durch Anlegen eines Vorrates von hochwertigem Stroh reagiert werden, wenn

nicht das gesamte Stroh einer Erntekampagne vermarktet/genutzt wird. Unter ungünstigen Bedingungen für die Strohernte kann dann auf die teure (Wenden/Lüften) Strohbergung mit erhöhten Kurzstrohverlusten verzichtet werden.

Da die sogenannte „**Strohqualität**“ bisher nicht definiert ist (Abb. 27), ergeben sich immer wieder diesbezügliche Diskussionen. Landwirte bevorzugen einerseits langes Stroh, weil dies im Schwad gut nachtrocknet. Wenn das Stroh ohnehin trocken ist, darf es auch kürzer sein, weil es sich später einfacher handhaben lässt, z. B. als Einstreu. In Regionen mit hohem Viehbesatz soll möglichst viel Stroh geerntet, also möglichst viele Nährstoffe sollen abtransportiert werden. In Regionen mit geringem Viehbesatz bzw. in viehlosen Betrieben wird der Düngewert des Strohs in die Gesamtkalkulation einbezogen. Wenn dann bei der Strohernte ein gewisser Anteil NKB im Feld verbleibt, ist das nicht nachteilig.

Manchmal werden geringe Stroherträge dem Einsatz von Rotor-Mähdreschern zugeschrieben, vor allem in Norddeutschland. Die Untersuchungsergebnisse und Erfahrungen zeigen, dass dies oft eine subjektive Einschätzung ist. Denn oft ist das Korn:NKB-Verhältnis weiter nördlich geringer als im mittleren und südlichen Teil Deutschlands.

Das **Korn:NKB-Verhältnis** wird mit Hilfe eines sogenannten Ährendreschers (s. Kap. 5) bestimmt. Dazu wird eine repräsentative Getreideprobe auf Stoppelhöhe im Feld abgeschnitten. Diese Frischmasseprobe wird gewogen, gedroschen und das Korn und/oder die NKB wird/werden einzeln zurückgewogen. Das ist natürlich für den Landwirt zu umständlich. Näherungsweise kann er das Korn- bzw. Ähren:Stroh-Verhältnis bestimmen, indem er von einer zuvor gewogenen Frischmasseprobe Getreide die Ähren abschneidet und dann einen oder beide Anteile einzeln nochmals wiegt. Diese Vorgehensweise kann als Vorhersage für den Strohverkauf dienen, um unangenehme Überraschungen bei der Abrechnung vorzubeugen. Wenn bei einem Ertrag von 8 t/ha Korn dieses Verhältnis 1 : 0,5 beträgt (s. Tab. 2, Kap. 5), so beträgt der Strohertrag auf jeden Fall weniger als 4 t/ha.

Wenn das Stroh zusätzlich trocken und brüchig ist, reagieren erfahrene Fahrer von **Schüttler-Mähdreschern** mit sanfterem Drusch, also geringerer Trommeldrehzahl und größerer Dreschspaltweite bei möglichst gesteigertem Durchsatz. Bei manchen Mähdreschern wird auch der Korbausgang separat weitergestellt, sofern die Dreschfähigkeit des Getreides dies erlaubt. Bei Schüttlermaschinen mit Zentrifugalabscheider wird der Abscheidespalt zwischen diesem Rotor und dem Abscheidekorb vergrößert. Je nach Konstruktion des Dreschwerkes wird dann auch der Spalt zwischen Wende-Abscheidetrommel und dem darunter befindlichen Korb vergrößert. Bei einigen Modellen von AGCO (Fendt/MF) können die Körbe sogar ganz weggeschwenkt werden.

Fahrer von **Hybrid-Mähdreschern** reagieren zusätzlich mit reduzierter Rotordrehzahl. Außerdem kann mit geöffneten, bei sehr geringer, oder geschlossenen Abscheidekorbplatten bei höheren Drehzahlen reagiert werden. Wird die Restkornabscheidung reduziert, so reduziert sich auch die Gesamt-Druschleistung. Doch oft ist dann auch gleichzeitig die Witterung beständig, so dass die Einbußen bei der Druschleistung nicht zu Erlöseinbußen durch überständiges Korn führen.

Fahrer von **Axialrotor-Mähdreschern** können ebenso wie bei Tangentialdreschwerken mit sanfterem Drusch reagieren (Rotordrehzahl, Dreschspaltweite). Darüber hinaus müssen sie Werkzeug nutzen, um z. B. die Anzahl der Dreschsegmente auf dem Rotor zu reduzieren, den Abscheidekorb zu wechseln oder seine Grundeinstellung ändern, oder den Abscheidekorb unter der Auswurftrömmel abzusenken. Die Anzahl der Non-Stop-Einstellungen zur Strohschonung ist also sehr begrenzt. Ist das Stroh sehr brüchig und überständig, kann es vorkommen, dass quasi kein Langstroh ins Schwad gelegt wird. Ein großer Teil des Strohs liegt zwischen den Stoppeln und schiebt sich sogar vor der Pickup der Ballenpresse auf. Aber

auch für Axialrotor-Mähdrescher gilt: Die Beschaffenheit des Strohs im Schwad ist mehr von den Stroh-eigenschaften als von der Einstellung des Mähdreschers abhängig.

7. Hinweise zur Rapserte

Bei der Rapserte wird sehr häufig im wahrsten Sinne des Wortes „im Dunkeln getappt“, weil die Verlustkörner auf dem Boden meist nur sehr schwierig zu erkennen sind. Doch gerade bei der Rapserte lassen sich durch Optimierungen noch vergleichsweise große Potenziale erschließen.

Hohe Kornerträge lassen sich mit hohen – ca. 50 Pflanzen pro m² - als auch mit geringen Bestandesdichten – ca. 20 Pflanzen pro m² - erzielen, weil Raps durch ein sehr hohes kompensatorisches Wachstum gekennzeichnet ist. Bestände mit geringen Pflanzendichten lassen sich schwieriger ernten als Bestände mit hohen Pflanzendichten. Denn das Stroh weist größere Stängeldurchmesser auf. Dieses Stroh erfordert einerseits hohe Antriebsleistungen und es kann zu Annahmeproblemen beim Strohhäcksler kommen, weil es im Annahmetrichter Brücken baut. Daher sollte das Stroh zur Ernte möglichst abgereift sein, wichtiger ist jedoch die Schotenreife.

Diese erfordert Geduld. Ein einsetzender, geringer Teilausfall der oberen Schoten wird durch den Ertrag der reifen, unteren Schoten weit mehr als kompensiert. Wer diese Geduld nicht aufbringt, schafft sich mehrere Probleme gleichzeitig:

- Er verzichtet auf Ertrag, wenn die unteren Schoten noch grün sind, weil diese nicht gedroschen werden, sondern den Mähdrescher mit dem Stroh verlassen.
- Außerdem erhöht sich die Kornfeuchte, weil das Korn teilweise unreif ist und zusätzlich das Wasser aus dem feuchten Stroh beim Drusch die reifen und trockenen Körner befeuchtet.
- Das noch unreife Stroh mit einem Wassergehalt von häufig mehr als 80 % ist so schwer, dass die Kornabscheidung reduziert wird, sich die Druschleistung also verringert bzw. die Körnerverluste erhöhen.
- Außerdem können Stücke des schweren Strohs ins Korn gelangen.
- Zudem kann ein Teil des Kornes ins Mark der grünen Stängel gepresst werden, so dass sich hierdurch ebenfalls die Verluste erhöhen.
- Und letztlich wird der Gutfluss in der Maschine ungleichmäßig. Durch diese höhere und ungleichmäßige Belastung erhöhen sich der Dieserverbrauch und die Reparaturkosten des Mähdreschers.

Der **Gutfluss** muss gleichmäßig und die Aufnahmeverluste müssen minimal sein. Dazu ist die richtige Einstellung der Höhe der Einzugsschnecke erforderlich. Die Hersteller deklarieren hier um 5 bis 10 mm höhere Maße als bei Getreide. Gemessen wird von der Schneidwerkmulde bis zu den Schneckenwindungen. Wird die Einzugsschnecke nicht höher gestellt, nimmt sie den Raps weniger gut an und es kommt zu ungleichmäßigem Gutfluss. Außerdem ist das Annahmevermögen verringert und es kommt öfter zu Verstopfungen bzw. zum Stillstand der Schnecke. Bleibt die Einzugsschnecke in Getreideposition, so wird der Gutfluss oft mit der Haspel unterstützt, was zu höheren Aufnahmeverlusten führt. Viele Fahrer belassen die Einzugsschnecke auch für die Getreideernte in Rapsposition. Dies kann bei strohreichten Getreidebeständen einerseits vorteilhaft für den Gutfluss in Form gleichmäßiger Annahme durch die Einzugsschnecke sein. Andererseits können Verstopfungen im Schrägförderer öfter vorkommen, weil die Einzugsschnecke auch ungleichmäßig fließendes Material dort hinfördert. Die Überlastsicherung des Schrägförderers wird in höherem Maße beansprucht.

Mit allen Schnecken-Schneidwerktypen lassen sich bei richtiger Einstellung die Aufnahmeverluste minimieren. Je größer die Tischlänge, desto weiter kann die Haspel nach vorne eingestellt werden, ohne Aufnahmeverluste durch vor dem Messer auf den Boden fallende Körner zu verursachen. Bei Schneidwerken mit in der Länge verstellbaren Schneidischen (Vario-Schneidwerke) ist es besonders wichtig, die Haspel in Nullposition der Horizontalverstellung zu belassen. Denn Vario-Schneidische sind im ausgefahrenen Zustand kürzer als konventionelle Schneidische mit Verlängerung. Eine um nur 10 cm nach vorne versetzte Haspel kann die Aufnahmeverluste durch platzende Schoten verfünffachen. Deshalb sollte sie in hinterer Position verbleiben.

Bei Schneidwerken mit Förderband-Schneidisch (Power- oder Premium-Flow) ist der Gutfluss umso gleichmäßiger, je kürzer der Raps ist. Dann fallen die Pflanzen mit dem Fruchtstand voran unter die Einzugsschnecke. Dagegen kann langer Raps sogar über die Schnecke hinweggeschoben werden. Die beiden Hersteller reagieren darauf sowohl mit zusätzlichen Leitschnecken, als auch mit veränderbaren Übersetzungsverhältnissen am Bandantrieb (s. Kap.2).

Zur Optimierung der Maschineneinstellung, also der Einstellung von Dreschwerk, Reinigung und Restkornabscheidung, gibt es unterschiedliche Ansätze, die bereits im Kap. 4 beschrieben wurden. Da bisher nur zwei Hersteller einen Einstellassistenten und einer einen Teilautomaten anbietet, muss bei allen anderen Mähdreschern die Einstelloptimierung manuell vorgenommen werden, wenn nicht mit Standardwerten geerntet werden soll. Diese Optimierung ist anhand von Hersteller-Standardereinstellungen, aber auch auf Basis der in Tab. 4 für die verschiedenen Dreschtrommel- und Rotordurchmesser gelisteten Drehzahlen möglich. Denn bei den Einstellwerten für Raps in den verschiedenen Betriebsanleitungen der Hersteller fallen direkt sehr unterschiedliche Werte auf. Diese lassen sich einerseits auf die verschiedenen Dresch- und Abscheidesysteme zurückführen. Andererseits berücksichtigen einige Hersteller die große Spannweite der Erntebedingungen und geben entsprechende Spannweiten bei der Grundeinstellung an. Diese können dem Fahrer aber oft nicht konkret helfen.

Tab. 4: Ausgangsdrehzahlen bei jeweils mittlerer Umfangsgeschwindigkeit der verschiedenen Dreschwerk-Bauarten für die Einstelloptimierung bei der Rapsernte [nach: 5, 9, 10, 21, 26, 28, 45, 47]

Dreschwerktyp	Hersteller	Trommel-/Rotor- durchmesser (cm)	Drehzahl (U/min) bei Umfangs- geschwindigkeit von ...
			20 m/s
konventionelles und Zentrifugal- abscheider- Dreschwerk	Claas	45	849
	John Deere	66	579
	New Holland	75	509
	Rostselmash	80	477
	Sampo	50	764
	verschiedene*	60	637
* Deutz-Fahr, Fendt, MF, New Holland			
			17,5 m/s
Beschleuniger- Dreschwerk	Claas	45	743
	Claas	60	557
	Sampo	50	668
			22,5 m/s
Axialrotor- Dreschwerk	Case	76,2	564
	John Deere	76,2	564
	New Holland	43	999
	New Holland	56	767

In Tab. 4 sind Ausgangsdrehzahlen für die Einstelloptimierung der verschiedenen Dreschwerke und Dreschtrommel- bzw. Rotordurchmesser gelistet. Beim konventionellen Dreschwerk und beim Zentrifugalabscheider-Dreschwerk ist eine Umfangsgeschwindigkeit der Dreschtrommel von 20 m/s eine gute Basis für eine Einstelloptimierung. Daraus ergeben sich die entsprechenden Drehzahlen der Trommeln für die hersteller- und typenspezifischen Dreschtrommeln. Viele Hersteller nennen höhere Drehzahlen, bei denen jedoch die Gefahr des zu hohen Körnerbruches besteht. Raps sollte möglichst sanft behandelt werden. Er muss nicht wie Getreide aus dem Fruchtstand geschlagen und gerieben werden.

Axialrotor-Mähdrescher werden meistens mit höheren Umfangsgeschwindigkeiten der Rotoren betrieben als Tangential-Mähdrescher, weil sie das Korn mehr reiben. Daher wurde die Umfangsgeschwindigkeit der Rotoren in der Tabelle um 2,5 m/s höher angesetzt als bei konventionellen Dreschwerken. Die entsprechenden Drehzahlen sind als Anhaltswerte zu verstehen, da die Hersteller in ihren Betriebsanleitungen und Informationssystemen sowohl höhere als auch geringere Drehzahlen als Standardeinstellung angeben. Wer die genannten Drehzahlen als Ausgangsbasis für eine Einstelloptimierung nutzt, begeht sicherlich keinen nennenswerten Fehler.

Beschleuniger-Dreschwerke erlauben reduzierte Drehzahlen gegenüber konventionellen und Zentrifugalabscheider-Dreschwerken, weil einerseits am ersten Korb bereits Korn abgeschieden wird und andererseits die Gutflussgeschwindigkeit bei gleicher Trommeldrehzahl höher ist. Daher wurde die Ausgangsbasis für die Dreschwerkeinstellung auf eine Umfangsgeschwindigkeit von 17,5 m/s gesetzt. Auch hier sind Abweichungen zu den Standardeinstellungen der beiden Hersteller gegeben.

Über die optimale Dreschspaltweite beim Rapsdreschen wird viel diskutiert. Die Spaltweiten betragen in den Tabellen der Hersteller für die Grundeinstellungen meist zwischen knapp 20 bis 30 mm. Viele Hersteller nennen gerade bei Raps keine konkreten Einstellwerte. Dann ist auch hier die passende Einstellung für viele Fahrer schwierig zu finden, weil sie nicht wissen, von welcher Standardeinstellung sie ausgehen sollen. Ein guter Richtwert für Dreschspaltweite sind etwa 20 bis 25 mm. Hat der Raps eine geringe Tausendkornmasse bei einem geringen Ertragsniveau, so können auch geringere Spaltweiten erforderlich werden. Bei hohem Ertrag und Durchsatz sind dagegen auch Spaltweiten um 40 mm möglich.

Viele Fahrer meiden die großen Spaltweiten, weil dann im Falle einer Verstopfung des Dreschwerkes kein Spielraum zum weiteren Öffnen des Dreschspaltes zur Verfügung steht, um die Verstopfung zu beseitigen. Sie verzichten damit jedoch auf Maximalleistungen und –arbeitsqualitäten in gleichmäßigen Hohertragsbeständen. Beim Einfahren in den Bestand ist sicherlich Vorsicht geboten, um schlagartige Überbelastungen des Dreschwerkes zu vermeiden. Hat sich jedoch ein gleichmäßiger Gutfluss eingestellt, so kann ein Mähdrescher auch bei großer Spaltweite und geringer Dreschtrommel- bzw. Rotordrehzahl problemlos bis zur Leistungsgrenze ausgelastet werden, jedoch unter einer Voraussetzung: Die Antriebstechnik muss vollkommen funktionsfähig sein [34].

8. Fahrwerke und Ausstattungskombinationen

Bei der Entwicklung von Laufwerken steht das Ziel der maximalen Bodenschonung bei Einhaltung von Transportbreitenbegrenzungen im Vordergrund. Einerseits wird dies mit speziell für Erntemaschinen entwickelten Vorderachsreifen realisiert, die bei geringer Breite eine besonders lange Aufstandslänge aufweisen (z. B. Michelin CerexBib oder MITAS SVT CHO u. A.). Andererseits werden auch die Durchmesser der Lenkachsreifen vergrößert und mit Reifendruck-Steuerungsanlagen versehen. Dazu hat

Claas eine Trapezlenkerachse für die großen Lexion-Rotor-Modelle entwickelt, die sich bei Lenkeinschlag und Neigung jeweils zum kurveninneren Rad bewegt, damit dieses nicht gegen Reinigung und Antriebe gerät. Die Konstruktion schafft Platz für größere Bereifung bei vergrößertem Lenkwinkel [10].

Der Ausrüstungsgrad von Groß-Mähdreschern mit Raupenlaufwerken nimmt zu. Dies hat folgende Gründe: Neben der Bodenschonung bleiben auch Mähdrescher mit breitem Chassis (Sechs-Schüttler-Chassisbreite) innerhalb der meistens noch genehmigungsfähigen Transportbreitengrenze von 3,5 m. Darüber hinaus bewegt sich der Mähdrescher vor allem bei vollem Kornbunker viel weniger seitlich hin und her, so dass der Erntevorsatz viel präziser über die Bodenoberfläche geführt wird. Dies zeigt sich direkt am gleichmäßigen Stoppelbild.

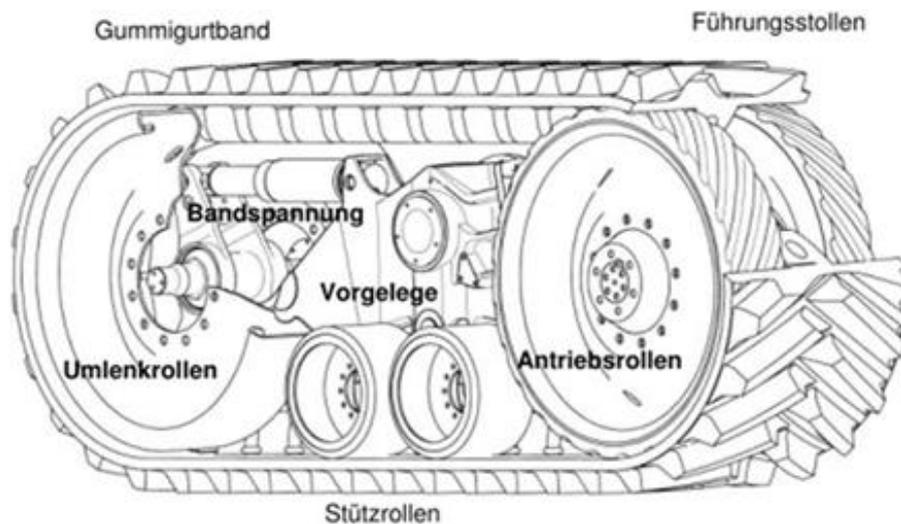


Abb. 30: Schema des kraftschlüssigen Raupenlaufwerkes der Fa. Claas [16]

Es werden kraftschlüssige Laufwerke (Abb. 30), die nur von Claas verwendet werden, und formschlüssige Triangel-Laufwerke (Abb. 31), von allen anderen Herstellern, teils zugekauft, genutzt. Bei kraftschlüssigen Laufwerken wird die Umfangskraft des Antriebsrades ausschließlich durch Reibungskräfte übertragen. Bei formschlüssigen Fahrwerken greifen die Querspeichen des Antriebsrades zwischen die Antriebsstollen des Laufbandes. Diese Verzahnung von Antriebsrad und Laufband ist erforderlich, weil unter sonst gleichen Bedingungen bei dem geringen Umschlingungswinkel von nur 90 Grad kraftschlüssig nur halb so hohe Umfangskräfte übertragen werden könnten wie beim Claas-Laufwerk mit einem Umschlingungswinkel von 180 Grad.

Ist der Pendeldrehpunkt das Antriebsrad (Abb. 31), so entstehen bei Schub- und Zugkräften entsprechend der Hebelverhältnisse Stützkkräfte auf den vorderen bzw. hinteren Umlenkrollen und daher dort erhöhte Bodendrücke. Die Vertikalkräfte werden nicht mehr gleichmäßig über der Bandlänge verteilt. Dies ist der Grund für die Neigung des Auffahrens dieser Laufwerke bei wenig tragfähigen Böden. Von vielen Mähdrescherfahrern wird das zwar positiv bewertet. Der Sachverhalt führt aber unter normalen Bodenbedingungen zu erhöhten Bodendrücken.

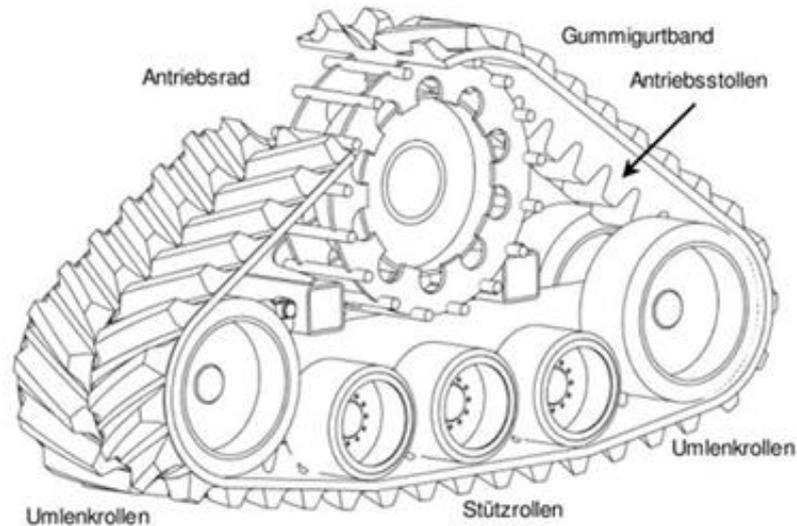


Abb. 31: Schema des formschlüssigen Raupen-Triangel-Laufwerkes versch. Hersteller [16]

Um die Belastungsspitzen auf den Boden zu reduzieren, wurden bei vielen Triangel-Laufwerken die Drehpunkte tiefer gelegt (Abb. 32). Der Pendeldrehpunkt befindet sich unterhalb des Antriebsrades fast auf der Höhe der Achsen der vorderen und hinteren Umlenkrolle. Die beiden Stützrollenpaare sind hydropneumatisch gefedert, ebenso wie die vordere Umlenkrolle, die das Laufband spannt. Bei hohen Zugkräften nehmen bei dieser Konstruktion die Vertikalkräfte auf die vordere Umlenkrolle und damit dort die Bodendrücke zu [16].

Um die Rangierfähigkeit des Mähdreschers bei Kurvenfahrten zu erhöhen, montiert Case New Holland die Stützrollen tiefer als die Umlenkrollen (Abb. 32). Diese komprimieren jedoch den Boden entsprechend, bevor das Band unter den Umlenkrollen trägt. Dies erhöht den Bodendruck insgesamt, da ohnehin unter den Stützrollen Bodendruckspitzen gemessen wurden [40]. Gleiches galt für die Aufstandsflächenverkürzung des Laufwerkes von Harain [17], die John Deere bei diesen Raupenlaufwerken nicht anbietet [22].

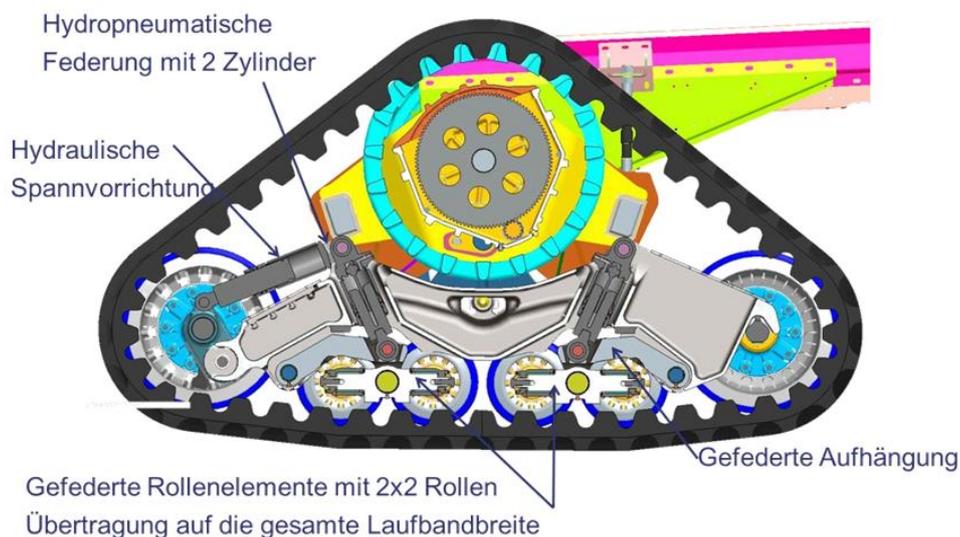


Abb. 32: Schema des formschlüssigen Raupen-Triangel-Laufwerkes der Fa. New Holland (Werkbild New Holland)

Die hydropneumatisch gefederten Umlenk- und Stützrollen erhöhen bei allen Raupenlaufwerken den Fahrkomfort. Die damit verbundene, verbesserte Straßenlage erlaubt höhere Fahrgeschwindigkeiten, so dass einige Mähdreschertypen mit kraftschlüssigem Bandlaufwerk 40 km/h [10] fahren und Mähdrescher mit formschlüssigem Laufwerk bis zu 30 km/h [28, 32] dürfen. Zu beachten ist jedoch, dass sich die Durchschnittsgeschwindigkeit beim Transport nicht um 10 km/h im Vergleich zur Version mit einer Maximalgeschwindigkeit von 30 km/h erhöht, sondern je nach Wegesituation nur um etwa 2 bis 4 km/h.

Für **Rotor-Mähdrescher der obersten Leistungsklasse** mit breiten Schneidwerken empfiehlt sich auf jeden Fall das **Raupenlaufwerk**. Claas verkauft das 12 m Schneidwerk für die beiden Spitzenmodelle nur in Kombination mit dem Raupenlaufwerk. Wem das Raupenlaufwerk für einen Sechs-Schüttler-Mähdrescher zu teuer ist, der sollte überlegen, ob er nicht sinnvoller in einen Rotor-Mähdrescher mit schmalerem Fünf-Schüttler-Chassis und breiten Reifen investiert. Dann hat er insgesamt mehr Druschleistung gekauft. Es bietet sich auch an, anstelle eines Sechs-Schüttler-Mähdreschers mit konventionellem Dreschwerk eine Fünf-Schüttlermaschine mit zusätzlichem Abscheiderotor zu kaufen, die dann vor allem unter Feuchtstrohbedingungen die Druschleistung einer Sechs-Schüttler-Maschine aufweist. Die Mähdrescher auf Fünf-Schüttler-Chassisbreite bleiben mit 800er Breitreifen meistens noch innerhalb einer Transportbreite von 3,5 m.

Für kraftschlüssige Raupenlaufwerke sind neben dem Standardband mit 63,5 cm Breite auch breitere Bänder mit 73,5 und 89 cm Breite erhältlich. Mähdrescher mit Fünf-Schüttler-Chassis bleiben beim 73,5 cm breiten Laufband noch innerhalb der Transportbreite von 3,49 m. Die Mähdrescher mit Sechs-Schüttler-Chassis sind bei Nutzung des 89 cm breiten Laufbandes 3,99 m breit [10] – interessant für arrundierte Betriebe. AGCO gibt für die Acht-Schüttler-Maschine und den Hybrid-Mähdrescher bei Nutzung des Triangel-Laufwerkes mit 66 cm Bandbreite eine Transportbreite von 3,5 m an [26]. Diese Transportbreite nennt auch New Holland bei Nutzung des SmartTrax Laufwerkes mit 24 Zoll (61 cm) Bandbreite an Mähdreschern mit Sechs-Schüttler-Chassis. Es ist auch ein Laufband mit 28,5 Zoll Breite (71 cm) erhältlich, mit dem die Mähdrescher mit Fünf-Schüttler-Chassis innerhalb der Transportbreite von 3,5 m bleiben [28,32]. Case vermarktet die gleichen Triangel-Laufwerke wie New Holland bei gleichen Transportbreiten [5]. John Deere deklariert in den technischen Daten seiner Axialrotor-Mähdrescher der S-Serie – Fünf-Schüttler-Chassisbreite – weder Transport- noch Bandlaufwerkbreiten [22]. Insgesamt nehmen ähnlich wie bei Radlaufwerken die Optionen zu, so dass je nach Chassisbreite und Transportbreitensituation bzw. regionaler Situation der Genehmigung von Fahrten mit überbreiten Maschinen passende Bänder für maximale Bodenschonung genutzt werden können.

Die Ausstattungskombination „**Fahrwerk-Seitenhangausgleich plus Raupenlaufwerk**“ schließt sich aus. Gemäß Abb. 33 fährt ein Mähdrescher mit verdrehbaren Portalachsen auch am Seitenhang waagrecht. Dies hat zur Folge, dass die Räder bergseitig tiefer in den Boden eindringen als talseitig. Es entsteht eine stufige Spur, durch die das Seitenhangabrutschen verringert wird. Wenn anstelle der Räder ein Bandlaufwerk montiert wird, werden bergseitig die Vertikalkräfte ebenfalls in höherem Maße auf das Laufband übertragen. Folglich nehmen die Seitenkräfte auf die Führungsnocken bzw. Umlenk- und Stützrollen zu. Das Laufband tendiert dazu, von den Rollen „abzulaufen“ - der Effekt ist etwa mit der Fahrt eines Kettenfahrzeuges in einem Hohlweg zu vergleichen, der zu Schäden am Laufwerk führt. Hoher Verschleiß bzw. Reparaturkosten des Mähdreschers wären die Folge.



Abb. 33: Mähdrescher mit Fahrwerk-Seitenhangausgleich am Seitenhang – Maschine mit Vorderrädern waagrecht, Pendel-Hinterachse bodenparallel (Werkbild Massey Ferguson)

Um Mähdrescher mit Bandlaufwerk am Seitenhang nutzen zu können, müssten die Laufwerke mit einem Lenkergestänge bodenparallel geführt werden, was die Transportbreite und die Kosten sowie die Gefahr des Seitenhangabrutschens erhöhen würde. Da dies nicht praktikabel ist, sind für die Ernte am Seitenhang Mähdrescher mit Reinigungs-Hangausgleich die einzige Kaufoption, wenn ein Bandlaufwerk genutzt werden soll.

Da die Genehmigungsverfahren für überbreite Landmaschinen [nach 46], je nach Bundesland und Landkreis immer restriktiver verlaufen, d. h., über einer Transportbreite von 3,5 m fast keine Genehmigungen mehr erteilt werden, werden Mähdrescher mit Chassisbreite „Sechs-Schüttler“ zukünftig in höherem Maße mit Bandlaufwerken ausgerüstet werden. Zusätzlich zu den bisher genannten Vorteilen der präziseren Vorsatzführung ist auch die verbesserte Geländegängigkeit in stark kuppertem Gelände zu nennen. Unter derartigen Bedingungen sollte der Mehrpreis des Bandlaufwerkes im Vergleich zum Radlaufwerk mit Allradantrieb vorgenommen werden. Raupen-Mähdrescher ohne Allradantrieb sind meistens geländegängiger als Radmaschinen mit Allradantrieb, was den Mehrpreis für die Raupe relativiert.

9. Ansätze ökonomischer Bewertungen

Mähdruschkosten werden meistens noch flächenbezogen in €/ha ausgewiesen. Auch rechnen die meisten Lohnunternehmer flächenbezogen in €/ha ab. Das KTBL weist die Maschinenkosten zeitbezogen (€/h) aus [24]. Für den Landwirt, gleichgültig, ob Eigenmechanisierer oder Dienstleistungskunde stellt sich die Frage der Sachgerechtigkeit verschiedener ökonomischer Ansätze. Denn vor allem im überbetrieblichen Einsatz gerät die flächenbezogene Kalkulation nach Erntejahren mit schwierigen Druschbedingungen zunehmend in die Kritik.

Tab. 5: Für die Kalkulationen unterstellte Fruchtfolge, Erträge und Erlöse

Frucht	Anteil (%)	Ertrag (t/ha)	Erlös (€/t)
Weizen	50	9	185
Gerste	15	8	150
Roggen	15	8	180
Raps	20	4,5	360
gew. Mittel		7,8	198,1

Die verschiedenen Möglichkeiten der Kostenkalkulationen werden nachfolgend an einem Beispiel „Schüttler-Mähdrescher versus Hybrid-Mähdrescher“ dargestellt. Dabei wird unterstellt, dass die Mähdrescher unter den in Tab. 5 beschriebenen Fruchtfolge-, Ertrags- und Erlösbedingungen ernten. Es werden lediglich Getreide und Raps geerntet, auf eine zusätzliche Körnermaisernte wurde in diesem Beispiel verzichtet. Aus den Fruchtfolgeanteilen und Einzelerträgen ergibt sich ein mittlerer Ertrag von 7,8 t/ha. Aus den Einzelerlösen und Anteilen ergibt sich ein mittlerer Erlös für die Druschfrüchte von 198,10 €/t. Das Stroh bleibt im Feld.

Tab. 6: Kennwerte für die Kalkulationsansätze und deren Ergebnisse bei 150 Dreschwerkbetriebsstunden pro Jahr (Restwert, Reparaturkosten empirisch) unter den Bedingungen gemäß Tab. 5

Beispiel-Mähdrescher		
Kenngröße bei jährlich 150 Dreschwerkbetriebsstunden (Dwh)	Schüttler-MD	Hybrid-MD
Anschaffungspreis (A) [€]	320000	360000
Wiederverkaufsprozentsatz [%]	47	44
entspricht Restwert [€]	153267	157966
Nutzungsdauer (N) [a]	10	10
Zinssatz (i) [%]	3	3
Versicherung inkl. Bruchversicherung [€/a]	1500	1500
Reparaturkosten [€/ha]	12,40	15,69
Kampagneleistung [ha/a]	273	363
Erntearbeitszeit [h/ha]	0,55	0,41
Motorleistung [PS]	313	360
Dieselpreis [€/l]	1,20	1,20
Schmierstoffe anteilig zum Diesel [%]	1	1
mittlerer Dieserverbrauch [l/t]	2,10	2,00
Kosten der eigenen Akh (Brutto-Fahrerlohn) [€/h]	30	30
Maschinen-Fixkosten [€/a]	28344	32055
variable Maschinenkosten [€/a]	8725	12616
Gesamt-Mähdruschkosten [€/h]	279	338
mittleres Kornverlustniveau [%]	1,0	1,0
Verlustniveau plus Händlerabzug [%]	2,0	2,0
mittlere stündliche Erntegutmasse [t/h]	13,9	18,5
jährliche Erntegutmasse [t/a]	2089	2778
mittlerer monetärer Durchsatz (Erlös) [€/h]	2763	3674
monetärer Durchsatz (Erlös) [€/a]	414396	551146
Mähdruschkosten [€/ha]	154	140
Mähdruschkosten [€/t]	20,07	18,28
Mähdruschkosten [%] (des Ernteerlöses)	10,11	9,21
erntekostenfreie Leistung des Mähdreschers [€/h]	2486	3347

Tab. 6 zeigt die Vorgaben und Ergebnisse verschiedener Kalkulationsansätze, wenn beide Mähdrescher 10 Jahre genutzt werden und pro Jahr 150 Dreschwerkbetriebsstunden arbeiten. Der Anschaffungspreis wurde den Preislisten entnommen und gerundet [nach: 6, 7]. Die Schüttlermaschine ist mit einem 6 m breiten und die Hybridmaschine mit einem 7,5 m breiten Schneidwerk ausgerüstet. Da die Hybridmaschine einen höheren Durchsatz erzielt, wurden ihre Reparaturkosten höher und ihr Restwert niedriger angesetzt als bei der Schüttlermaschine. Der um 0,14 h/ha geringere Erntearbeitszeitbedarf der Hybridmaschine entspricht der mittleren Durchsatzdifferenz zwischen den Maschinen aus verschiedenen Untersuchungen [23].

Der Dieserverbrauch einer Hybridmaschine ist unter vergleichbaren Erntebedingungen aufgrund des höheren Durchsatzes und im Vergleich zum Motor der Schüttlermaschine mit anderem Drehmoment- bzw. Verbrauchsverhalten etwas niedriger als der der Schüttlermaschine. Für die Gesamtkosten wurde ein Fahrerlohn von brutto 30 €/h angesetzt. Beide Mähdrescher ernten mit gleichem Verlustniveau und identischer Kornqualität. Das unterschiedliche Verlust-Durchsatzverhalten wurde, abgesehen vom letzten Beispiel (Abb. 39), nicht berücksichtigt. Es wurde ein üblicher Händlerabzug von 1 % in Ansatz gebracht.

Die Gesamt-Mähdruschkosten des Hybrid-Mähdreschers sind 59 €/h höher als die der Schüttlermaschine. Flächenbezogen (€/ha), massebezogen (€/t) und erlösbezogen (v. H. des Erlöses) erntet der Hybrid-Mähdrescher jedoch kostengünstiger als die Schüttlermaschine, weil er mehr leistet. Denn seine erntekostenfreie Leistung (geernteter Erlös abzüglich Mähdrusch-Vollkosten) ist um 861 €/h höher als die der Schüttlermaschine.

Die flächenbezogene Vollkostenkalkulation in Abb. 34 zeigt, dass die Schüttlermaschine bei 150 Dreschwerkbetriebsstunden eine Kampagneleistung von 273 ha/a erzielt. Ihre Vollkosten betragen dann 152 €/ha und sind somit um 12 €/ha höher als der Lohnunternehmersatz. Um kostengleich zu arbeiten, müsste die Schüttlermaschine mindestens 325 ha/a ernten. Die Rotormaschine kann in 150 Dwh insgesamt 363 ha/a ernten und bietet somit einen Kostenvorteil gegenüber dem Lohnsatz von 5 €/ha.

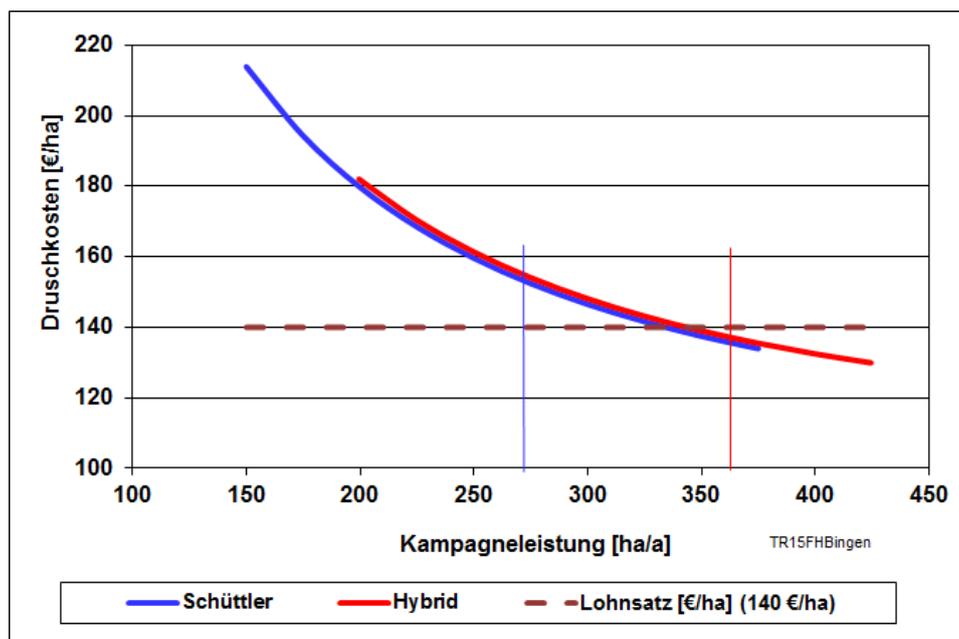


Abb. 34: Flächenbezogene Vollkostenkalkulation – Druschkosten über Kampagneleistung, Schüttler-versus Hybrid-Mähdrescher im Vergleich zu einem Lohnsatz von 140 €/ha

Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass Mähdrescher in Eigenmechanisierung hoch ausgelastet werden müssen, um unterhalb des Lohnsatzes zu ernten. Anders ausgedrückt: Ein Lohnsatz von 140 €/ha (inkl. Die-

sel) ist kostengünstig und somit sehr attraktiv. Bei dieser Art der Kostenkalkulation ändert sich nichts, wenn sich die folgenden Variablen ändern: Ertrag, Verlustniveau, Erlös.

Werden die Druschkosten zeitbezogen nach KTBL [24] kalkuliert, so ergibt sich gemäß Abb. 35 ein anderes Bild. Ausgehend vom Lohnsatz von 140 €/ha beträgt der Stundensatz für die Schüttlermaschine 255 €/h und der für die Rotormaschine 339 €/h. Es ergeben sich insgesamt wieder die gleichen ökonomischen Verhältnisse: Die Schüttlermaschine müsste mehr leisten, um wirtschaftlich zu sein. Und die Rotormaschine befindet sich gerade in der Gewinnzone. Auch an dieser Vollkostenkalkulation ändert sich bei Ertrags-, Kornverlust- oder Erlösänderung nichts.

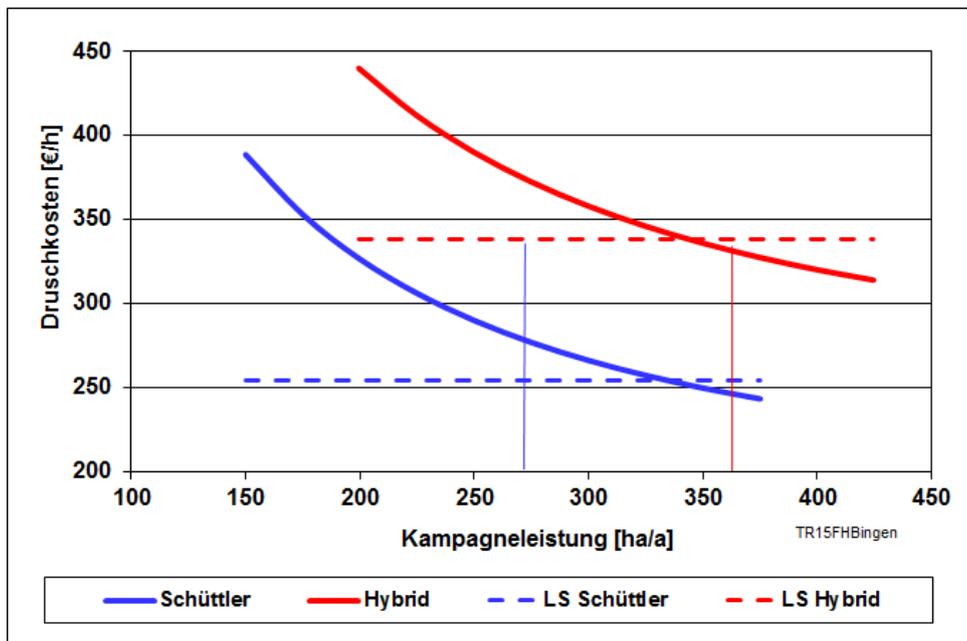


Abb. 35: Zeitbezogene Vollkostenkalkulation – Druschkosten über Kampagneleistung, Schüttler- versus Hybrid-Mähdrescher im Vergleich zu einem Lohnsatz (LS) von 140 €/ha, der aufgrund der unterschiedlichen Druschleistungen in zeitbezogene Lohnsätze von 255 €/h für die Schüttlermaschine und 339 €/h für die Rotormaschine umgerechnet wurde

Sehr deutlich wird allein optisch der unterschiedliche Lohnsatz für die unterschiedlich leistenden Maschinen. Einem Kunden einen Preisunterschied zwischen den beiden Mähdreschern von 89 €/h zu vermitteln, ist für einen Lohnunternehmer keine einfache Aufgabe, vor allem, wenn der Wettbewerber weiterhin flächenbezogen abrechnet. Daher tendieren Landwirte und Lohnunternehmer gleichsam zur einfacheren, flächenbezogenen Lohnsatzangabe, die vor allem unter schwierigen Erntebedingungen nicht mehr praktikabel ist. Die Betriebe mit hohen Druschleistungen subventionieren die für den Lohnunternehmer nicht kostendeckenden Betriebe mit niedrigen Druschleistungen.

Für den Landwirt sind Wirtschaftlichkeitsanalysen von Mähdreschern auf der Basis von Ernteerlösen viel wertvoller, weil sie die realen Verhältnisse im Betrieb spiegeln. Denn die Erntekosten müssen, wie alle anderen Kosten auch, vom Erlös und nicht von der Fläche oder von der Zeit getragen werden. Die Kalkulation der erntekostenfreien Leistungen ist daher diesbezüglich informativer. Abb. 36 zeigt die erntekostenfreien Leistungen der beiden Mähdrescher unter den bisher beschriebenen Bedingungen. Der mittlere aufgewachsene Ertrag beträgt 1.550,46 €/ha. Bei einem Prozent Kornverlust im Feld und einem Prozent Händlerabzug verbleibt ein monetärer Ertrag von durchschnittlich 1.519,45 €/ha, von dem alle Kosten beglichen werden müssen.

Die Funktionen (Abb. 36) zeigen die erntekostenfreien Leistungen, also die Erlöse pro Hektar abzüglich der Mähdresch-Vollkosten in Abhängigkeit von der Kampagneleistung. Bei den genannten Kampagneleistungen bei 150 Dreschwerk-Betriebsstunden ist die erntekostenfreie Leistung der Rotormaschine um etwa 16 €/ha höher als die der Schüttlermaschine. Die zeitbezogenen erntekostenfreien Leistungen betragen bei der Schüttlermaschine 2.480 €/h und bei der Rotormaschine 3.340 €/h.

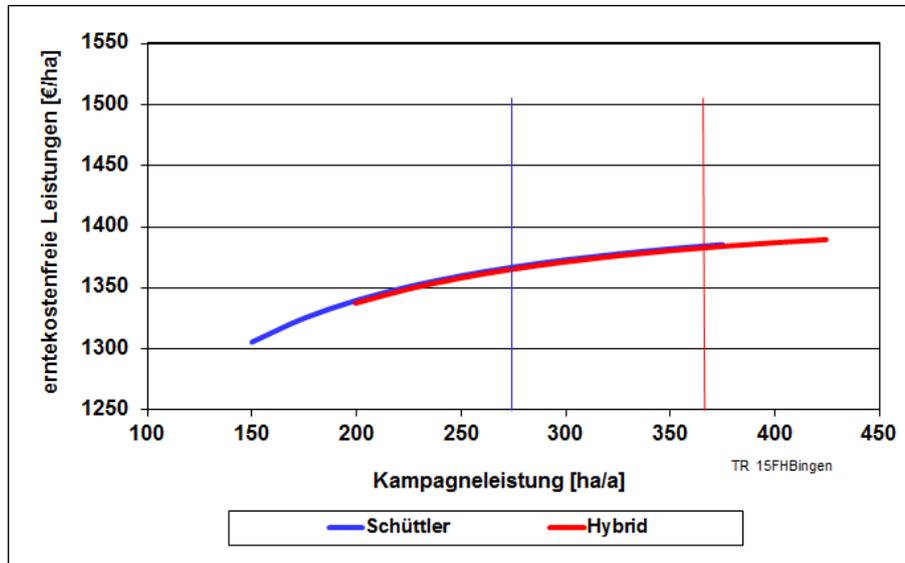


Abb. 36: Erntekostenfreie Leistungen über Kampagneleistung, Schüttler- versus Hybrid-Mähdrescher im Vergleich unter sonst gleichen Ernte- und Einsatzbedingungen; mittlerer geernteter Erlös: 1.519,45 €/ha

Werden die Erntebedingungen schwieriger, so hat dies einen großen Einfluss auf die erntekostenfreien Leistungen (Abb. 37). Im Beispiel wird nun davon ausgegangen, dass sich die Kornverluste der Schüttlermaschine um 1 % erhöhen. Aufgrund der hohen Druschleistungsdifferenz gelingt es, mit der Hybridmaschine 33 % des Weizens vor einer Qualitätsminderung und damit vor einem Preisabschlag von 10 €/t zu bewahren, indem er vor dem nächsten Regen geerntet wird.

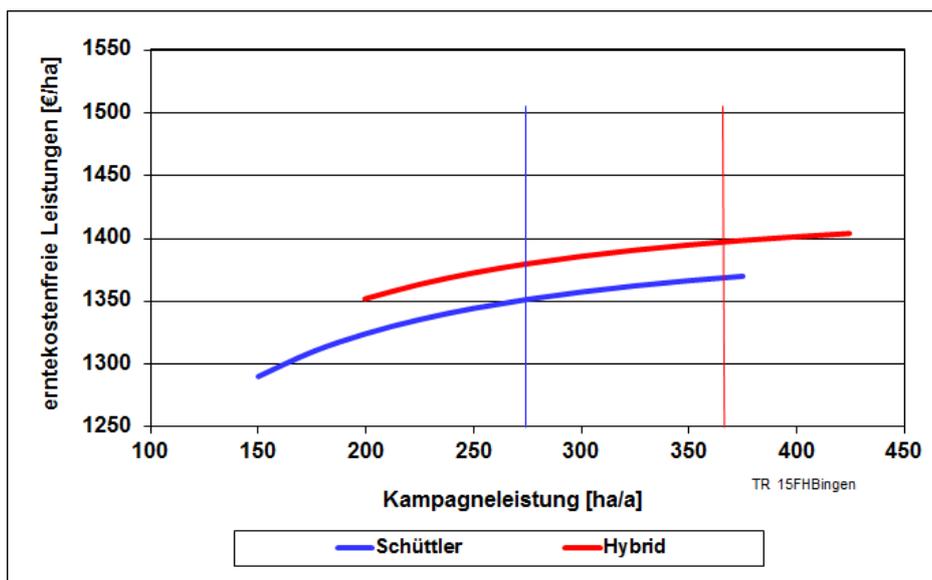


Abb. 37: Erntekostenfreie Leistungen über Kampagneleistung, Schüttler- versus Hybrid-Mähdrescher im Vergleich unter schwierigen Ernte- und Einsatzbedingungen mit erhöhten Kornverlusten und 10 €/t Preisabschlag bei einem Drittel des Weizens (Futterweizenqualität) beim Schüttler-Mähdrescher

Diese Erntebedingungen verändern die Erlössituation. Die Schüttlermaschine erntet nun durchschnittlich 1.490 €/ha. Die Rotormaschine dagegen 1.520 €/ha. Daraus resultieren erntekostenfreie Leistungen der Schüttlermaschine von 1.335 €/ha und der Rotormaschine von 1.380 €/ha. Die Kalkulation bestätigt Erfahrungswerte: Aufgrund der höheren Leistungsstabilität des Hybrid-Mähdeschers gelingt es, mit dieser Maschine die Ernte in höherem Maße zu sichern. Die zeitbezogenen erntekostenfreien Leistungen der beiden Mähdescher betragen nun 2.430 €/h (Schüttler-MD) bzw. 3.340 €/h (Hybrid-MD). Auch belegen die Kalkulationen den Trend der vergangenen Jahre: Viele Betriebe haben die Mähdruschkapazitäten erhöht, um die Ernte termingerecht einzubringen, d. h., zu sichern, vor allem Betriebe ohne eigene Trocknungskapazitäten.

Wird das Getreidestroh geerntet, so hat dies einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Beispiel-Mähdescher, weil sich der geerntete monetäre Ertrag erhöht (Abb. 38). Es wurde ein Strohpreis von 50 €/t veranschlagt. Gemäß [23] wurde ein mittlerer **maximal höherer Strohverlust** beim Hybrid-Mähdescher von 300 kg/ha Weizenstroh, 700 kg/ha Gerstenstroh, und 200 kg/ha Roggenstroh im Vergleich zum Schüttler-Mähdescher angesetzt. Der **Düngewert dieses Verluststrohs wurde nicht** in die Kalkulation einbezogen.

Der Dieserverbrauch der Schüttlermaschine reduziert sich um 20 % von durchschnittlich 2,10 l/t bei Häckslerbetrieb auf 1,68 l/t bei Schwadablage. Der Dieserverbrauch der Rotormaschine reduziert sich ebenfalls um 20 % von durchschnittlich 2,00 l/t bei Häckslerbetrieb auf 1,61 l/t bei Schwadablage. Der geringere Dieserverbrauch des Rotor-Mähdeschers im Vergleich zur Schüttlermaschine basiert auf der nach wie vor gegebenen Auslastung des Motors im Bereich des geringeren spezifischen Kraftstoffverbrauches (größerer Drehzahlabfall), so dass sich insgesamt eine höhere Effizienz dieser Maschine ergibt. Die Reparaturkosten wurden um 1 €/ha bei beiden Mähdeschern reduziert. Ansonsten ernten beide Mähdescher unter sonst gleichen Bedingungen.

Die Strohernte verändert wiederum die Erlössituation. Die Schüttlermaschine erntet jetzt durchschnittlich 1.750 €/ha. Die Rotormaschine erntet aufgrund der o. g. Strohverluste 1.735 €/ha. Daraus resultieren bei beiden Mähdeschern erntekostenfreie Leistungen von 1.600 €/ha mit nicht nennenswerten Differenzen. Die zeitbezogenen erntekostenfreien Leistungen der beiden Mähdescher betragen nun 2.900 €/h (Schüttler-MD) bzw. 3.800 €/h (Hybrid-MD). Die Rotormaschine kompensiert die monetären Strohverluste aufgrund ihrer höheren Leistungsfähigkeit.

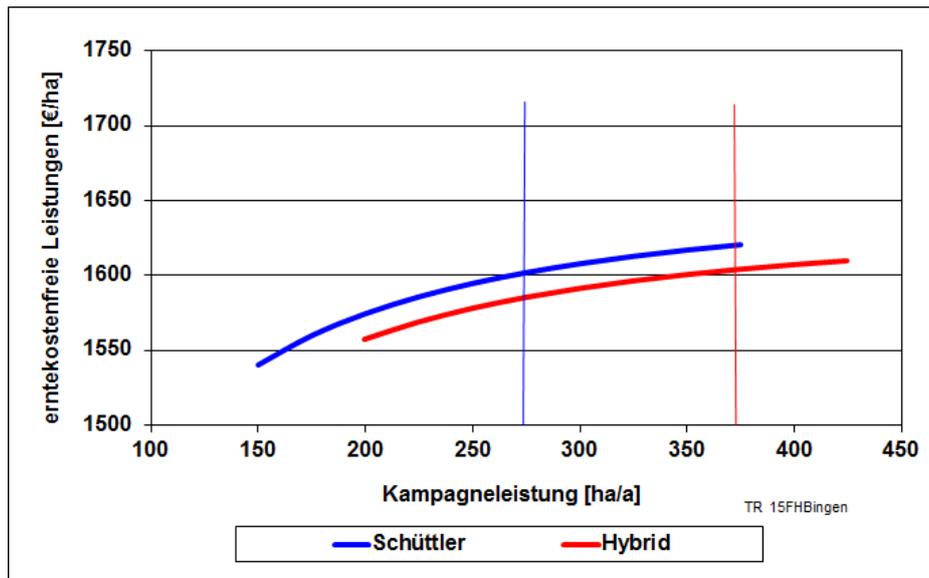


Abb. 38: Erntekostenfreie Leistungen über Kampagneleistung, Schüttler- versus Hybrid-Mähdrescher im Vergleich inklusive Strohernte bei einem Strohpreis von 50 €/t unter Berücksichtigung von Kurzstrohverlusten beim Hybrid-Mähdrescher

Die aufgeführten Beispiele verdeutlichen, dass zur ökonomischen Bewertung eines Mähdreschers viel weniger die eigentlichen Maschinenkosten, seien sie zeit- (€/h) oder flächenbezogen (€/ha), relevant sind, als vielmehr seine erntekostenfreien Leistungen. Abhängig von den regionspezifischen Witterungsbedingungen während der Erntezeit, kann es folglich sinnvoll sein, in höhere Druschkapazitäten zu investieren, die zwar die Mähdrusch-Vollkosten erhöhen, jedoch ein Mehrfaches dieser Kosten in Form von höheren Ernteerlösen durch qualitativ hochwertigere Erntegüter sichern. Die Vorgehensweise hat natürlich Grenzen. Daher investieren Landwirte in Regionen, in denen durchschnittlich eine feuchtere Ernte zu erwarten ist, in Trocknungskapazitäten. Das Investitionsverhalten, vor allem großer Marktfruchtbaubetriebe in den vergangenen 5 Jahren spiegelt diesen Sachverhalt: Die Einen haben die Druschkapazitäten erhöht, die Anderen die Konservierungskapazitäten.

Für Lohnunternehmer ist die Entscheidung für oder gegen eine bestimmte Dresch- und Abscheidetechnik schwieriger. Wenn ein wichtiger Kunde sich gegen das eine oder andere System entscheidet, ist dies ein entscheidender Kaufgrund. Abhilfe kann hier zukünftig nur die leistungsbezogene Abrechnung, also entweder zeitbezogen (€/h) oder die Mischkalkulation (€/ha + €/h) schaffen [43].

Die Kalkulationsmethode „erntekostenfreie Leistungen“ bietet sich an, um verschiedene **Durchsatz-Verlust-Kennlinien von Mähdreschern zu berücksichtigen**. Den Funktionen in Abb. 39 liegen die Kennlinien gemäß Abb. 23, Kap. 5 zugrunde. Die erntekostenfreien Leistungen gemäß Abb. 36 wurden verlustbereinigt. D. h., bei maximaler Auslastung der Hybridmaschine wurden Kornverluste von 1,02 % (25,82 %-Punkte bei 100 % in Abb. 23) und bei maximaler Auslastung der Schüttlermaschine wurden Kornverluste von 4,2 % (100 %-Punkte bei 93,9 % rel. Durchsatz in Abb. 23) in Ansatz gebracht. Dann ergibt sich der Funktionsverlauf gemäß Abb. 39.

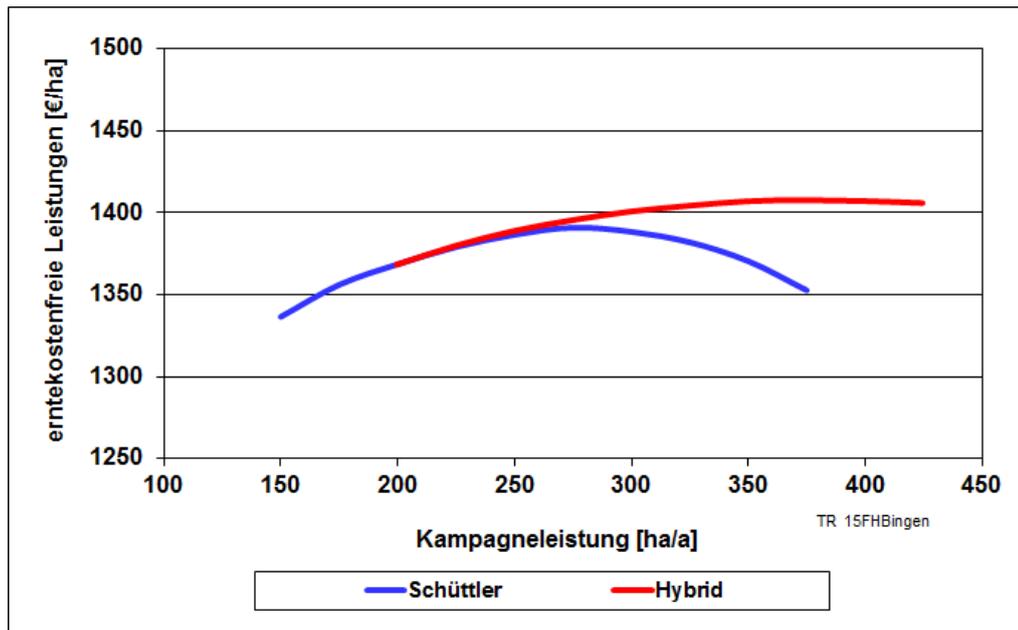


Abb. 39: Erntekostenfreie Leistungen über Kampagneleistung, Schüttler- versus Hybrid-Mähdrescher im Vergleich unter Berücksichtigung der Verlust-Durchsatz-Kennlinien gemäß Abb. 23 – bei max. Kampagneleistung wurden max. Kornverluste angesetzt

Die Schüttlermaschine erreicht ein Maximum der erntekostenfreien Leistungen von 1.391 €/ha bei einer Kampagneleistung von 275 ha/a. Darüber hinaus nehmen die Kornverluste in so hohem Maße zu, dass die erntekostenfreie Leistung sinkt. Ab dem Maximum von 1.391 €/ha sinkt die erntekostenfreie Leistung auf 1.353 €/ha bei höchster Auslastung und folglich auch ackerbaulich nicht mehr tragbarem Kornverlustniveau von 4,2 %.

Die Hybridmaschine erreicht dagegen ihr Maximum von 1.414,56 €/ha bei maximaler Auslastung. Da die Kornverluste gemäß Potenzfunktion (Abb. 23) ansteigen und ein Maximum von nur 1,02 % erreichten, reduzieren sie die erntekostenfreien Leistungen nicht. Der Funktionsverlauf zeigt folglich auch kein ausgeprägtes Maximum wie bei der Schüttlermaschine.

Diese Kalkulation bestätigt mit anderen Ausgangswerten die Kalkulation gemäß [42] sowie die erfahrungsgemäße Vorzüglichkeit der Verlust-Durchsatz-Kennlinie eines Hybrid-Mähdreschers bzw. sein nachgewiesenes geringes Kornverlustniveau unter schwierigen Erntebedingungen. Dies wird durch Erfahrungen in schwierigen Ernten und bei Nacharbeit bestätigt: Schüttler-Mähdrescher ernten dann mit durchschnittlich viel höherem Kornverlustniveau als Hybrid-Mähdrescher [44].

Dieses Kalkulationsbeispiel bestätigt nochmals die zu geringe Realitätsbezogenheit einfacher flächen- oder zeitbezogener Vollkostenkalkulationen für die Druschfruchternte. Sicherlich mögen allgemeine Anhaltswerte eine Richtschnur für eine Investition in einen Mähdrescher sein. So sollten Tonne Getreide und Raps und Jahr Nutzungsdauer nicht mehr als 8 bis 13 € in einen Mähdrescher investiert werden. Oder anders ausgedrückt sollte die Investition etwa 0,04 bis 0,05 € pro Euro jährlichem Fruchterlös (€/a) und Nutzungsdauer nicht überschreiten. Jedoch hilft in einem konkreten Fall nur die betriebsspezifische Kalkulation, weil neben den erntekostenfreien Leistungen des Mähdrescher selbstverständlich die Trocknungskapazitäten sowie die Abfuhrlogistik in die Gesamtkalkulation einbezogen werden müssen.

Fakt ist, dass allein mit zunehmender Komplexität bzw. technischer Ausstattung der Mähdrescher die Kostenkalkulation aufgrund der zunehmenden Anzahl Variablen ebenfalls immer komplexer wird. Die Wetter- und die Erlössituation zwingen den Landwirt oder Lohnunternehmer jedoch andererseits immer mehr zur Nutzung von Sicherheitszuschlägen, die wiederum betriebsspezifisch und regionsabhängig unterschiedlich hoch sein können.

10. Zusammenfassung

Die Verfahrenstechnik der Druschfruchternte ändert sich aufgrund der zunehmenden Volatilität von Marktpreisen der Druschfrüchte und der abnehmenden Zeitfenster für das Einbringen der Ernte mit hohen Qualitäten. Die Hersteller von Mähdreschern und Erntevorsätzen reagieren darauf mit Weiterentwicklungen vom Erntevorsatz bis zum Strohhäcksler über Einstellassistenten bis hin zu Teilautomatisierungen.

Bei Erntevorsätzen stellt sich die Frage, ob die Grenzen des Schneckenschneidwerkes erreicht sind und sich ein Trend zum Bandschneidwerk ergeben wird. Dieser ist trotz zunehmender Breite noch nicht gegeben, weil auf die das Erntegut verdichtende Wirkung der Einzugsschnecke unter hiesigen Erntebedingungen nicht verzichtet werden kann.

Die Dresch- und Abscheidetechniken konkurrieren in hohem Maße. Die Hersteller minimieren mögliche Nachteile unter verschiedenen Erntebedingungen durch technische Details. Die prinzipiellen Vor- und Nachteile ändern sich jedoch nicht. Bei zunehmenden Mähdreschergrößen, -massen und Vorsatzbreiten besteht immer mehr der Trend zu Bandlaufwerken. Bei den verschiedenen Varianten bestehen prinzipielle Vor- und Nachteile wie z. B. Unterschiede bei der unterschiedlichen Kraftverteilung auf die vorderen und hinteren Rollen.

Die Anzahl der Fahrerassistenzsysteme zur Einstelloptimierung nimmt erwartungsgemäß zu. Diese werden derzeit von Claas (CEMOS) und John Deere (ICA) angeboten. Über ihren Kundennutzen wird zwar viel diskutiert, weil sicherlich viele Fahrer hoch qualifiziert sind, jedoch ist er im Vergleich zu den Standardeinstellungen der Mähdrescher unumstritten. Nur Claas bietet die Teilautomatisierung (CEMOS-Automatik) für seine Hybrid-Mähdrescher an. Der Kundennutzen wurde mit Feldversuchsergebnissen eindeutig belegt. Dabei werden die Grenzen der klassischen Durchsatz-Verlust-Kennlinie aufgezeigt, die das tatsächliche Leistungspotenzial eines sich selbst einstellenden Mähdreschers nicht mehr darstellen kann.

Die sogenannte Strohqualität ist nicht definiert. Hier besteht Handlungsbedarf. Die unterschiedlichen Nutzungsarten sind dabei zu berücksichtigen. Untersuchungen zur Strohqualität können sich aktuell nur am maximal möglichen Strohverlust bei unterschiedlichen Dresch- und Abscheidesystem im Vergleich zum Schüttler-Mähdrescher orientieren. Die Strohverluste in Form von erzeugtem Kurzstroh im Langstroh eines Hybrid-Mähdreschers sind tatsächlich geringer als erwartet. Der über die Reinigung auf den Boden gelangende Kurzstrohanteil ist bei beiden Maschinen ähnlich. Dies erhöht die Wirtschaftlichkeit der leistungsfähigeren Hybridmaschine bei Nutzung mit Strohernte. Vermeintliche Strohverluste sind oft auf ein geringes Korn:NKB-Verhältnis zurückzuführen. Dieses wird meistens überschätzt.

Für die Wirtschaftlichkeit von Mähdreschern sind viel weniger die flächen- und zeitbezogenen Vollkosten als vielmehr die erntekostenfreien Leistungen wichtig. Denn diese berücksichtigen den Erlös und damit alle darauf wirkenden Faktoren, wie Kornverluste, Händlerabzüge und die Kornqualität, was die

betriebliche Realität besser spiegelt. Denn entscheidend ist, in welchem Maße die Ernte und damit das Einkommen des landwirtschaftlichen Betriebes durch den Mähdrescher gesichert wird. Flächen- und zeitbezogene Vollkostenkalkulationen können zwar grobe Richtwerte liefern. Jedoch ist für die betriebspezifische Verfahrenskostenkalkulation Handlungsbedarf gegeben, weil die Anzahl der einzubeziehenden Variablen aufgrund zunehmender Mähdrescher- und Verfahrenskomplexität ansteigt.

Ausblickend erhebt diese Schrift keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Themenkomplexe wie die verschiedenen Lenkungsarten oder die o. g. Betriebslogistik und das Flottenmanagement wurden nicht behandelt. Auch müssen Fragen bezüglich des zukünftigen Umganges mit Daten sowie der Genauigkeit von Daten beantwortet werden. So sind z. B. die Ansprüche an die Genauigkeit der Ertragskartierung, die als Basis für die N-Düngung dienen soll, gestiegen. Eine Fehleranalyse und mögliche Korrektur für eine Präzisierung der Ertragskartierung müssten daher nochmals vorgenommen werden. Doch zunehmende Arbeitsbreiten setzen welche Grenzen der Genauigkeit? Die Druschfruchternte ist und bleibt ein spannendes Betätigungsfeld.

11. Literatur

1. AGRIBROKER: Mähdrescher Hecklüfter. Verteileinrichtung für das Stroh bei Schwadablage. <http://www.agri-broker.de/195.html>. Stand: 06.2015
2. BAHR, K.: Vergleichende Untersuchungen zu verschiedenen Methoden der Deklaration des Bruchkornanteils. Projektarbeit FH-Bingen, 2015
3. BSC: Mulchgeräte für den Anbau an das Schneidwerk oder an den Einzugskanal. <http://www.bsc2kx.com/>. Stand:03.2015
4. BUNGE, J.: Big Data comes to the Farm, sowing mistrust. <http://www.wsj.com/articles/SB10001424052702304450904579369283869192124>. Stand:03.2015
5. CASE: Produktinformation Axialflow Mähdrescher, Serie 240 – 7240, 8240, 9240. http://www.caseih.com/de_de/Products/Maehdrescher/Pages/Maehdrescher.aspx. Stand: 03.2015
6. CLAAS: Preisliste Mähdrescher TUCANO der Fa. Claas. Harsewinkel 2015
7. CLAAS: Preisliste Erntevorsätze der Fa. Claas. Harsewinkel 2015
8. CLAAS: Erntevorsätze für Mähdrescher. [http://www.claas.de/produkte/maehdrescher /vorsatz -geraete/vorsatzgeraete/vario930-770](http://www.claas.de/produkte/maehdrescher/vorsatz-geraete/vorsatzgeraete/vario930-770). Stand: 02.2015
9. CLAAS: Produktinformation Mähdrescher Baureihen Avero und Tucano. <http://www.claas.de/produkte/maehdrescher>. Stand: 03.2015
10. CLAAS: Produktinformation Mähdrescher Baureihe Lexion 700. <http://www.claas.de/blueprint/servlet/blob/363838/1e1fa5584cbc7a79cc4beceaffa1a271/227651-dataRaw.pdf>. Stand: 03.2015
11. CLAAS: Claas Telematics – Leistung steigern. http://www.claas-e-systems.com/uploads/tx_clagrocom/DE_telematics_101201_web.pdf. Stand:03.2015
12. DLG: Flußdiagramm der Gutströme und Baugruppen des DLG-Nachdreschers. DLG Testzentrum Groß-Umstadt, 2005 (unveröffentlicht)
13. DÖRR, M.: Analyse der Querverteilung von Verlustkörnern am Mähdrescher Claas Lexion 770. Bachelorarbeit mit Sperrvermerk, Fachhochschule Bingen 2012
14. FEIFFER, A.: Beschreibung der Verlustprüfschale. <http://www.feiffer-consult.de/contents/de/d1.html>. Stand 03.2015
15. FEHL, J.: Der Einfluss einer teilautomatisierten Einstellung auf das Arbeitsergebnis eines Hybrid-Mähdreschers am Beispiel des CEMOS-Automatik. Bachelorarbeit mit Sperrvermerk, Fachhochschule Bingen 2013
16. FISCHER, C.: Physikalisch-mechanische Auswirkungen ausgewählter Schlepperfahrwerke auf das Bodengefüge im Weinbau unter besonderer Berücksichtigung neuartiger Vierraupenfahrwerke. Dissertation Universität Gießen 2014

17. GEISCHEDER, R.: Gefedertes Gummiraupenfahrwerk für schwere Landmaschinen mit automatischer Auflagekraftoptimierung. www.agroscope.admin.ch/aktuell/02720/02722/-.../index.html?.. Stand: 04.2015
18. GERINGHOFF: Produktinformation Schneidwerk Triflex. http://www.geringhoff.eu/de/produkte/getreideschneidwerke/triflex_bandschneidwerk.html. Stand: 02.2015
19. GERINGHOFF: Produktinformation Schneidwerk Harvest Star. http://www.geringhoff.eu/de/produkte/getreideschneidwerke/harvest_star_vario.html. Stand: 02.2015
20. JOHN DEERE: Erntevorsätze für Mähdrescher. https://www.deere.de/de_DE/products/equipment/combindes/headers/combine_headers.page. Stand: 02.2015
21. JOHN DEERE: Produktinformationen Mähdrescher. https://www.deere.de/de_DE/products/equipment/combindes/combindes.page. Stand: 03.2015
22. JOHN DEERE: Produktinformationen Mähdrescher S-Serie. http://www.deere.de/de_DE/docs/html/brochures/publication.html?id=a1bc86ab#44. Stand: 03.2015
23. KOUENE, P.: Vergleichende Untersuchungen zur Strohqualität eines Schüttler- und eines Hybrid-Mähdreschers. Bachelorarbeit mit Sperrvermerk, Ergebnisbericht, Fachhochschule Bingen 2014
24. KTBL: Maschinenkostenkalkulation MaKost. <http://daten.ktbl.de/makost/source.do#an-wendung>. Stand: 04.2015
25. MACDON: Erntevorsätze für Mähdrescher. <http://www.macdon.com/products/fd75-flexdraper-headers-for-combine>. Stand: 02.2015
26. Massey Ferguson: Produktleitfaden Mähdrescher Delta-Baureihe. <http://www.masseyferguson.com/EMEA/ZA/products/harvesting/combine/1771.aspx>. Stand: 03.2015
27. Massey Ferguson: Produktinformationen Mähdrescher. <http://www.masseyferguson.de/m%C3%A4hdreschern.aspx>. Stand: 03.2015
28. NEW HOLLAND: Technische Daten der Mähdrescher-Baureihe CX 70-80. http://agriculture.newholland.com/Germany/de/Products/Combine/CXElevation/Pages/products_techinfo.aspx. Stand: 03.2015
29. NEW HOLLAND: New Holland unveils the capacity boosting Dual Stream header concept. http://agronaplo.hu/files/2013/10/NH_Dual_Stream_Header_INB.pdf. Stand: 03.2015
30. NEW HOLLAND: Technische Daten der Mähdrescher-Baureihe CX50-60 Elevation. http://agriculture.newholland.com/Germany/de/Products/Combine/CX5000-6000Elevation/Pages/products_techinfo.aspx. Stand: 03.2015
31. NEW HOLLAND: Technische Daten der Mähdrescher-Baureihe TC 4-5. http://agriculture.newholland.com/Germany/de/Products/Combine/newTC/Pages/products_techinfo.aspx. Stand: 03.2015
32. NEW HOLLAND: Produktinformation Mähdrescher der Baureihe CR. http://agriculture.newholland.com/Germany/de/Products/Combine/Documents/CR_132007_DOO.pdf. Stand: 03.2015
33. RADEMACHER, TH.: Kürzer oder länger per Hydraulik. Vario-Schneidwerk von Claas. *profi*, Magazin für Agrartechnik, Heft 11, 1997, S. 48 - 50 (in englischer Sprache erschienen in *profi international*, Heft 2, 1998)
34. RADEMACHER, TH.: Management Rapserte – angepasste Mähdreschereinstellung als Erfolgsschlüssel. *Raps*, DLG AgroFood medien GmbH, 31. Jg., 2/2013, S. 36 – 41
35. RADEMACHER, TH.: Die Vielfalt nimmt zu. Erntevorsätze für Mähdrescher. *EILBOTE*, Heft 12, 2014, S. 12 – 15
36. RADEMACHER, TH.: Dreschen mit künstlicher Intelligenz. *Agrarmanager*, H. 6, 2014, S. 60 – 63
37. RADEMACHER, TH.: Der Einfluss von Adaptionsmaßnahmen an den Druschfruchtbestand auf das Arbeitsergebnis des Mähdreschers. VDI-MEG Tagung Landtechnik für Profis. Tagungsband, VDI-Bericht 2192, S. 43 – 61, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 2013, ISSN 0083-5560
38. RADEMACHER, TH.: Methodik zur Messung von Arbeitsqualität und Verlust-Durchsatz-Verhalten von Mähdreschern unter Feldbedingungen. VDI-MEG Kolloquium Landtechnik, Mähdrescher, Heft 40, Hohenheim 2013. <https://www.unihohenheim.de/qisserver/rds?state=medialoader>. Stand: 05.2015
39. RADEMACHER, TH.: Bruchkorn-Verlustverhalten von Mähdreschern. Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL), RKL-Schrift 41414, August 2011, S. 833 – 859
40. RADEMACHER, TH., WEIßBACH, M.: Mähdrescher und Bodendruck. Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL), RKL-Schrift 2004, S. 715 – 728

41. RADEMACHER, TH.: Druschfruchternte – zukünftig nur noch mit Expertensystemen? Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft (RKL), RKL-Schrift 41414, Mai 2010, S. 797 – 831
42. RADEMACHER, TH.: Schneller als der Regen. DLG-Mitteilungen, Heft 5, 2011, S. 36 – 38
43. RADEMACHER, TH.: Mähdrusch leistungsbezogen abrechnen. Getreidemagazin, Verlag Th. Mann, 11. Jg, 2006, Heft 3, S. 196 – 198
44. RADEMACHER, TH.: Mähdrusch unter schwierigen Erntebedingungen. Vortrag im Rahmen der DeLuTa am 03.12.2014 in Münster
45. ROSTSELMASH: Produktinformationen Mähdrescher. http://profitrac.de/wp-content/uploads/2014/09/Rostselmash_Maehdrescher_DE.pdf. Stand: 03.2015
46. RHEINLAND-PFALZ, MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, VERKEHR, LANDWIRTSCHAFT UND WEINBAU: Überbreite von landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen, StvZO, § 32: <https://www.bwv-net.de/downloads/ueberbreitenvonlandwirtschaftlichen-arbeitsmasch.pdf>, Stand: 05.215
47. SAME DEUTZ-FAHR: Produktinformation Mähdrescher Baureihen C 7000, C9000, Serie 6040, Serie 60. <http://www.deutz-fahr.com/de-DE/produkte/maehdrescher>. Stand: 03.2015
48. STEHLING, CHR.: Darstellung des wirtschaftlichen Kundennutzens von CEMOS-Automatik. Bachelorarbeit mit Sperrvermerk, Fachhochschule Bingen 2014
49. VOLKMAR, J.: Der Einfluss einer optimierten Einstellung auf das Arbeitsergebnis des Mähdreschers. Bachelorarbeit mit Sperrvermerk, Fachhochschule Bingen 2010
50. WURZBACHER, U.: John Deere ICA. Automatische Mähdreschereinstellung. Agritechnica Forum 2013. http://www.agritechnica.com/uploads/media/Deere-Wurzelbacher-Automatische_Maehdreschereinstellung.pdf. Stand:03.2015