

# Mulchen von Maisstoppeln

Schriftenreihe, Heft 15/2016



# Optimierung des Mulchereinsatzes zur wirksamen Bekämpfung von Fusarium-erkrankungen und Maiszünslerbefall im pfluglosen Ackerbau

André Grosa, Tim Bögel, Bruno Edler v. d. Planitz

<b>1</b>	<b>Einleitung und Kurzüberblick</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>9</b>
2.1	Standorte.....	9
2.2	Ernterestaufgaben und Durchsatz .....	9
2.3	Untersuchte Maschinen und Werkzeuge.....	11
2.3.1	Sichelmulcher.....	12
2.3.2	Schlegelmulcher.....	12
2.3.3	Messtechnik .....	14
2.3.4	Bonituren und Siebanalyse.....	15
2.4	Versuchsdurchführung .....	17
2.4.1	Stoppelmanagement im Silomais, Großwig und Köllitsch .....	18
2.4.2	Stoppelmanagement im Körnermais, Geleithäuser und Beicha .....	20
2.4.3	Verschleißuntersuchungen Stolpen.....	20
2.5	Signifikante Arbeitsbilder der Werkzeuge.....	22
2.6	Erhebungen zur Feldbefahrung.....	22
<b>3</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b> .....	<b>24</b>
3.1	Stoppelmanagement im Silomais .....	24
3.1.1	Bestandesbonituren.....	24
3.1.2	Reduktion der Stoppelhöhen .....	26
3.1.3	Mulchbedeckung .....	28
3.1.4	Zerkleinerungswirkung und Größenfraktionen.....	28
3.1.5	Wirkung des Mulchens auf den Maiszünsler .....	29
3.1.6	Leistungsbedarf.....	31
3.2	Stoppelmanagement Körnermais .....	33
3.2.1	Bestandesbonituren.....	33
3.2.2	Reduktion der Stoppelhöhen .....	34
3.2.3	Gutaufnahme und -ablage.....	36
3.2.4	Zerkleinerungswirkung und Größenfraktionen.....	37
3.2.5	Leistungsbedarf.....	38
3.3	Werkzeugstandzeit und Verschleiß .....	40
3.3.1	Versuchsablauf und Versuchsfaktoren.....	40
3.3.2	Verschleißmechanismen und Werkzeugabnutzung .....	41
3.3.3	Leistungsbedarf und Arbeitsqualität über die Nutzungsdauer beim Hammerschlegel.....	43
3.3.4	Zerkleinerungsqualität mit wachsendem Verschleiß beim Sichelmulcher .....	45
3.4	Fusarium und DON in der Folgefrucht Weizen.....	45
3.4.1	Versuchsablauf und Versuchsfaktoren.....	45
3.4.2	Ergebnisse der Untersuchungen .....	46
3.5	Potenzial einer Befahrungsplanung.....	47
3.5.1	Einfluss der Ernte- und Transporttechnologie .....	47
3.5.2	Ermittlung Schädigungspotenzial .....	51
3.5.3	Ableitung des Potenzials einer Befahrungsplanung .....	52
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>53</b>
4.1	Mulcherfolg und Zerkleinerungsintensität .....	53
4.2	Leistungsbedarf.....	55
4.3	Standzeit der Werkzeuge .....	56
4.4	Optimierung der Feldbefahrung.....	57
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>59</b>
	<b>Anhang</b> .....	<b>60</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Trockenmassegehalte und Ernterestaufgaben der Versuchsflächen .....	10
Abbildung 2:	Mulcher-Durchsätze (normiert auf 2,8 m Arbeitsbreite) im Silo- und Körnermais.....	11
Abbildung 3:	Sichelmulcher McConnel SR 620, Arbeitsbreite 6,2 m.....	12
Abbildung 4:	Schlegelmulcher MU-Pro 280 (links) und MU-Farmer 280 (rechts), Arbeitsbreite 2,8 m.....	13
Abbildung 5:	Mehrkomponenten-Kraftmessdreieck (links) und Zapfwellen-Messflansch (rechts).....	15
Abbildung 6:	Erfassen der Mulchbedeckung nach WINNIGE et al. (1998) .....	15
Abbildung 7:	System und Durchführen der Zünslerbonitur.....	16
Abbildung 8:	Schwingsieb zur Bestimmung der Fraktionsanteile aus den Materialproben .....	17
Abbildung 9:	Vorbereitung zur Versuchsanlage ‚liegende Stoppel‘ .....	19
Abbildung 10:	Versuchsfläche Körnermais .....	20
Abbildung 11:	Arbeitsbereiche am Heckmulcher .....	21
Abbildung 12:	Bestimmung des Schneidenrückganges mittels Vermessung des Schneidenradius .....	22
Abbildung 13:	Typischer Längsaufschluss einer nicht abgeschlagenen Maisstoppel durch ein Y-Messer .....	22
Abbildung 14:	Zünslerlarve in Bodennähe unter dem 1. Nodium .....	25
Abbildung 15:	Längsaufschluss eines niedergefahrenen Stängels durch Y-Messer.....	25
Abbildung 16:	Stoppelhöhen vor und nach dem Mulchen.....	26
Abbildung 17:	Einfluss der Stoppelage auf den Arbeitserfolg von Mulchern .....	27
Abbildung 18:	Arbeitsbild bei stehender Stoppel zwischen/hinter den Traktorrädern mit schwerem Hammerschlegel (links) und Sichelmulcher (rechts) .....	27
Abbildung 19:	Mulchbedeckung nach WINNIGE et al. (1998) vor und nach dem Mulchen .....	28
Abbildung 20:	Zerkleinerungswirkung der unterschiedlichen Mulcherwerkzeuge und Stoppellagen .....	29
Abbildung 21:	Bohrloch und Zünslerlarve in der Silomaisstoppel .....	30
Abbildung 22:	Zünslerlarvenbonitur Großwig im Herbst 2014 (oben)/im Frühjahr 2015 (unten) .....	31
Abbildung 23:	Anteile der Leerlaufleistung und Arbeitsleistung im Silomais .....	32
Abbildung 24:	Zugleistung verschiedener Mulcher und Abstütssysteme .....	33
Abbildung 25:	Abgeerntete Körnermaisfläche und Stoppeln vor dem Mulchen .....	34
Abbildung 26:	Reststoppel nach dem Mulchen mit Schlegelmulcher mit Hammerschlegeln (MU-Pro).....	34
Abbildung 27:	Stoppelhöhe vor und nach dem Mulchen .....	35
Abbildung 28:	Mulcherfolg auf Körnermaisstoppel bei verschiedenen Mulchwerkzeugen .....	36
Abbildung 29:	Arbeitsbild des Sichelmulchers (links) und des Schlegelmulchers (rechts) .....	37
Abbildung 30:	Mulchergebnis auf Körnermaisstoppel, bezogen auf den Ausgangszustand .....	38
Abbildung 31:	Zapfwellenleistungsbedarf beim Mulchen von Körnermaisstoppel.....	39
Abbildung 32:	Versuchsfläche Stolpen (Verschleißuntersuchungen) mit hohem Steinanteil .....	40
Abbildung 33:	Verschleiß an Hammerschlegeln .....	41
Abbildung 34:	Werkzeugverschleiß und Ablagern von Boden im Gehäuse (Schlegelmulcher MU-Pro) .....	43
Abbildung 35:	Schneidenradius und Leistungsbedarf beim Schlegelmulcher über die Flächenleistung .....	43
Abbildung 36:	Zerkleinerungsqualität beim Schlegelmulcher über die Einsatzdauer .....	44
Abbildung 37:	Zerkleinerung beim Sichelmulcher mit scharfen und stumpfen Werkzeugen .....	45
Abbildung 38:	Gut entwickelter Winterweizenbestand in der Folgefrucht.....	46
Abbildung 39:	Partielle Weißährigkeit in der Fahrspur .....	46
Abbildung 40:	6-reihige Silomaisernte im Parallelverfahren, versetzte Fahrweise .....	48
Abbildung 41:	Kontaktflächen und Druckverteilung der eingesetzten Fahrwerke .....	49
Abbildung 42:	Spurtiefenpotenzial auf lehmigem Sand (Ist-Stand und optimaler Reifeninnendruck).....	49
Abbildung 43:	Spurbildung Diagonalfahrspuren bei 4-fach-Überrollung und Radialreifen bei 2-facher und Radlast (3000 und 3200).....	50
Abbildung 44:	Vorgewendebereich ohne sichtbare Fahrspuren, zerstörten Stoppeln.....	51
Abbildung 45:	Zurückgelegte Wegstrecken auf dem Schlag in Langenreichenbach (rot = Häcksler; blau = Abfahrzeug 1) während Silomaisernte .....	52
Abbildung 46:	Arbeitsbild bei der Vorzugsvariante Hammerschlegel – Frontmulcher .....	54

Abbildung 47:	Leistungsbedarf und Anteile der Mulcher im Körnermais (10 km/h).....	55
Abbildung 48:	Werkzeugrotor und Gehäuse nach tiefem Mulchen bei Bodenkontakt (schwere Mulcherausführung, MU-Farmer).....	57
Abbildung 49:	Gleisbänder am Mähdrescher passen zwischen Maisreihen .....	58
Abbildung 50:	6-reihiges Mulchen mit 2-teiliger Front-Heck-Schlegelmulcherkombination .....	58

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Werkzeugkonfigurationen am Schlegelmulcher und Schnittführung (schematisch) .....	14
Tabelle 2: Versuchsinhalte und Erhebungen.....	18
Tabelle 3: Prüffaktoren für die Versuche zum Stoppelmanagement 2014 .....	19
Tabelle 4: Erhobene Daten für eine Befahrungsanalyse .....	23
Tabelle 5: Durchschnittliche Nodienabstände .....	24
Tabelle 6: Masse- und Schneidenrückgang am neuen und verschlissenen Werkzeug.....	42
Tabelle 7: Fahrwerkskonfigurationen im Betrieb Großwig.....	48

## Abkürzungsverzeichnis

AB	Arbeitsbreiten
DON	Deoxynivalenon
KM	Körnermais
$m_{AB}$	Meter Arbeitsbreite

### Mulcherwerkzeuge:

H	Hammerschlegel (beim Schlegelmulcher)
Hs	schwere Hammerschlegel (beim Schlegelmulcher)
Y	Y-Messer (beim Schlegelmulcher)
Ys	schwere Y-Messer (beim Schlegelmulcher)
V	Sichelmulcher
$P_{nenn}$	Nennleistung
SM	Silomais
SA	Standardabweichung
TM	Trockenmasse

# 1 Einleitung und Kurzüberblick

In Versuchen, die von 2011 bis 2013 im Rahmen des FuE-Vorhabens „Vorsorge gegen den Maiszünsler im pfluglosen Anbau“ des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie durchgeführt und in Heft 20/2014 der Schriftenreihe publiziert wurden (SEIDEL et al. 2014), konnte ein deutlich positiver Effekt des Mulchens in pfluglosen Ackerbausystemen herausgestellt werden. Außerdem wurden Anforderungen an diesen Arbeitsgang definiert, wie z. B. das tiefe Abschneiden und möglichst feine Zerkleinern von Stoppelresten. Fortgeführt wurde dieses Vorhaben in den Jahren 2014 und 2015 durch die TU Dresden. Inhalt waren Untersuchungen zur Arbeitsweise und Arbeitsqualität verschiedener Werkzeug- und Maschinenkonfigurationen, zur Leistungsfähigkeit heute verfügbarer Mulchsysteme sowie das Aufzeigen von Möglichkeiten zu deren Einsatzoptimierung.

Neben traditionellen Systemen zur Bodenbearbeitung, z. B. Scheibeneggen, können prinzipiell gezogene oder angetriebene Systeme zum Ernterestmanagement eingesetzt werden:

- Geräte mit abrollenden, schneidenden Werkzeugen, wie Messerwalzen oder Scheibeneggen mit zwei Schnittebenen (Messerwalzen, Scheibeneggen mit Querschnitt) oder
- Mulcher mit vertikaler oder horizontaler Werkzeugachse (Sichel- oder Schlegelmulcher)

Zur wirksamen Minderung bzw. Verhinderung der von Maisresten ausgehenden Fusariuminfektion von nachfolgend pfluglos angebautem Getreide (DEMMELE & KIRCHMEIER 2007) und zur wirksamen Bekämpfung von in Maisresten überwinterten Maiszünslerlarven (SEIDEL et al. 2014) ist eine effektive Zerkleinerung und ein möglichst feiner Aufschluss als Grundlage für eine befallsverhindernde Rotte der Maisreste erforderlich. Gezogene Geräte mit konstruktiv bedingten Schnittabständen im Bereich 8–13 cm zerkleinern oft nicht ausreichend. Hier können angetriebene Mulchsysteme einen wirksamen Beitrag durch definierte Ernterestzerkleinerung liefern. Dabei sichert die Kenntnis der Wirkzusammenhänge und Arbeitsweise von Mulchern einen optimalen Einsatz und bessere Arbeitsergebnisse.

Im Vorhaben wurden folgende maschinen- und verfahrensseitige Einflussfaktoren auf die Arbeitsqualität, d. h. den Mulcherfolg sowie den Zerkleinerungsgrad der Erntereste, identifiziert und in Feldversuchen validiert:

- Maschinenseitig
  - Mulcherbauart und resultierende Gutablage
  - Werkzeugform und Schnittführung
  - einfache Einstellbarkeit und sicheres Führen in geringer Schnitthöhe
- Verfahrensseitig
  - Anteil liegender und niedergefahrener Stoppeln durch Ernte- und Transportfahrzeuge
  - Vorhandensein von Fahrspuren
  - Mulchrichtung bei überfahrenen Stoppeln

Im Mittelpunkt der Untersuchungen stand dabei die Optimierung des Mulchereinsatzes im pfluglosen Ackerbau. Die Bauformen Sichel- und Schlegelmulcher wurden hinsichtlich der Arbeitsqualität und des Energieaufwandes untersucht. Eine Vorzugsvariante für das Mulchen im pfluglosen Ackerbau und Anhaltspunkte zur Optimierung der Einsatz-/Randbedingungen wurden gefunden.

# 2 Material und Methoden

## 2.1 Standorte

Die Erhebungen wurden in den Jahren 2014 und 2015 auf sechs Standorten in Sachsen durchgeführt. Dabei waren zwei Aspekte bei der Standortwahl entscheidend:

- potenziell gefährdete Gebiete für Zünsler- und Fusariumbefall
- verschiedene Einsatzbedingungen für die Mulchtechnik hinsichtlich Durchsatz und Verschleiß

Die zur Versuchsdurchführung genutzten Silomaisflächen befanden sich im Raum Torgau. 2014 wurden die Mulchertests auf einer Praxisfläche in Großwig, 2015 auf einer Ackerfläche des Lehr- und Versuchsgutes in Köllitsch durchgeführt. Die vorherrschende Bodenart ist lehmiger Sand.

Die Körnermaisflächen lagen in der Lommatzcher Pflege nordöstlich von Döbeln. 2014 wurden die Versuche in Geleitshäuser, 2015 in Beicha durchgeführt. Hierbei handelt es sich um Lössstandorte.

Die Untersuchung zum Werkzeugverschleiß wurden in Geleitshäuser begonnen und auf einer Körnermaisfläche mit hohem Steinbesatz in der Stadtrandlage von Stolpen gewählt. Dieser Standort zeichnet sich durch Basalt-Steinauflagen mit besonders abrasiven Eigenschaften aus.

Die Befahrungsplanung wurde exemplarisch für eine Ackerfläche in Langenreichenbach durchgeführt. Dieser Standort befindet sich südwestlich von Torgau.

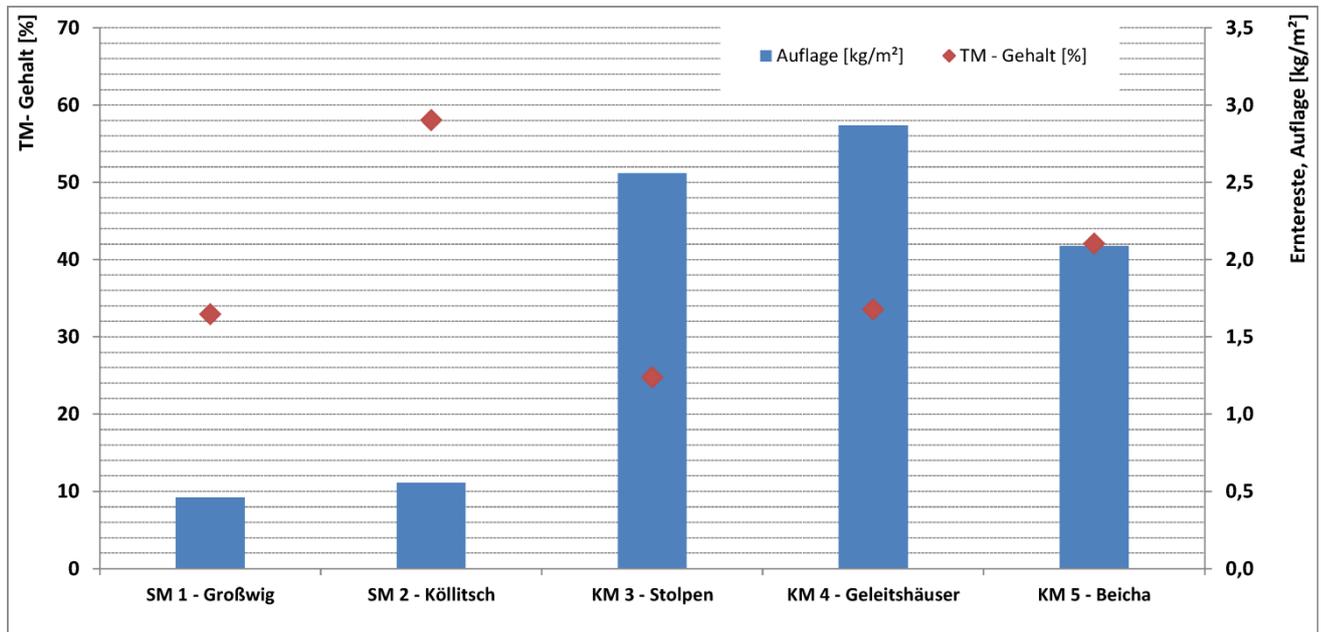
Der Großteil der Versuche wurde im Oktober/November 2014 durchgeführt. Der Versuchszeitraum war von einer längeren Trockenperiode gekennzeichnet. So konnten die Versuche ohne witterungsbedingte Pausen unter vergleichbaren Bedingungen durchgeführt werden. Zum Teil herrschte am Standort Geleitshäuser und Stolpen stark böiger Wind.

Die Versuchspläne sind im Anhang enthalten.

## 2.2 Ernterestauflagen und Durchsatz

Bei der Bestandsbonitur unmittelbar vor dem Mulchereinsatz wurden die Ernterückstände mit jeweils fünf Wiederholungen auf Kontrollparzellen als m<sup>2</sup>-Proben entnommen. Hier waren die Bestände durchweg gut entwickelt, hatten einen gleichmäßigen Aufwuchs und lagen tendenziell etwas über dem Schlagdurchschnittsertrag. Die Ernterestauflagen umfassten das gesamte lose aufliegende Material und alle bodennah abgeschnittenen Stoppeln. Sie wurden gewogen und ihre Trockenmassegehalte (TM-Gehalte) bestimmt.

Je nach Standortbedingung und Nutzungsrichtung des Maises wurden auf den Versuchsschlägen unterschiedliche Ernterestmengen ermittelt.



**Abbildung 1: Trockenmassegehalte und Ernterestauflagen der Versuchsflächen**

(TM = Trockenmasse, SM = Silomais, KM = Körnermais)

Obwohl zum Zeitpunkt des Mulchereinsatzes trockene Witterungsbedingungen vorherrschten, schwanken die TM-Gehalte der Flächenauflagen in einem weiten Bereich (25–58 %) (Abbildung 1).

Für die Silomaisflächen ergaben sich erwartungsgemäß deutlich geringere Auflagen mit 0,4 kg/m<sup>2</sup> am Standort Großwig und 0,5 kg/m<sup>2</sup> am Standort Köllitsch. Die Ernterestauflagen der Körnermaisflächen korrelieren mit den Ernteerträgen und liegen zwischen 2,1–2,9 kg/m<sup>2</sup> (Abbildung 1).

1 kg/m<sup>2</sup> entspricht 10 t/ha. Somit liegt die durchschnittliche Auflage auf Körnermaisflächen mit 26 t/ha gegenüber den Silomaisflächen mit 3,5 t/ha um das 7- bis 8-fache höher.

Die Ernterestmengen anderer Mulchgüter wie z. B. Grasland, Brachen oder Landschaftspflege, aber auch von Zwischenfruchtbeständen liegen ebenfalls im Bereich der Ernterestmengen von Körnermais (30–40 t/ha).

Die Mulchaufgabe aus Ernteresten und Stoppeln bestimmt den Durchsatz des Mulchers beim Überfahren der Flächen und hat maßgeblichen Einfluss auf das Drehmoment an der Zapfwelle und damit den Kraftstoffverbrauch. Der Trockenmassegehalt, aber auch die Witterungsbedingungen (anhaftende Restfeuchte nach Niederschlägen) bestimmen das Wurfverhalten bei der Ablage des Materials nach der Überfahrt und das Risiko des Verwehens bei stürmischem Wind.

Die gesamte Menge des überfahrenen Materials im Bereich der Arbeitsbreite bestimmt bei optimal tiefer Mulchereinstellung den Durchsatz. Er korreliert mit der Menge der organischen Auflage und steigt linear mit der Arbeitsgeschwindigkeit. Die untersuchten Mulcher haben eine Mindestarbeitsbreite von 2,8 m (vier Maisreihen), sodass zum Vergleich der Maschinendurchsätze die Arbeitsbreiten der Mulcher auf diese Arbeitsbreite normiert wurden. In Abbildung 2 sind die in den Versuchen erreichten Durchsätze dargestellt.

Für die Leistung beim Mulchen ist die Frischmasse relevant. Die Feuchtigkeit im Gut muss im Gutkanal mitbeschleunigt und -bewegt werden. So wurden im Silomais ca. 10 t/h und im Körnermais 40–80 t/h bei den hohen Arbeitsgeschwindigkeiten von 10 km/h erreicht.

Diese Werte setzen ein tiefes Abschneiden der Pflanzenreste und ein sicheres Einhalten der Schnitthöhe/Arbeitstiefe voraus. Bei hohem Schnitt reduziert sich die durchgesetzte Masse. Die betriebsüblichen Varianten mit dem Sichelmulcher wurden mit Arbeitsbreiten von 6,2 m gefahren. Damit ergeben sich um den Faktor 2,2 höhere Durchsätze von bis zu 180 t/h. Ähnliche Werte erreichen Front-Heck-Kombinationen von Schlegelmulchern mit Arbeitsbreiten über 8 m.

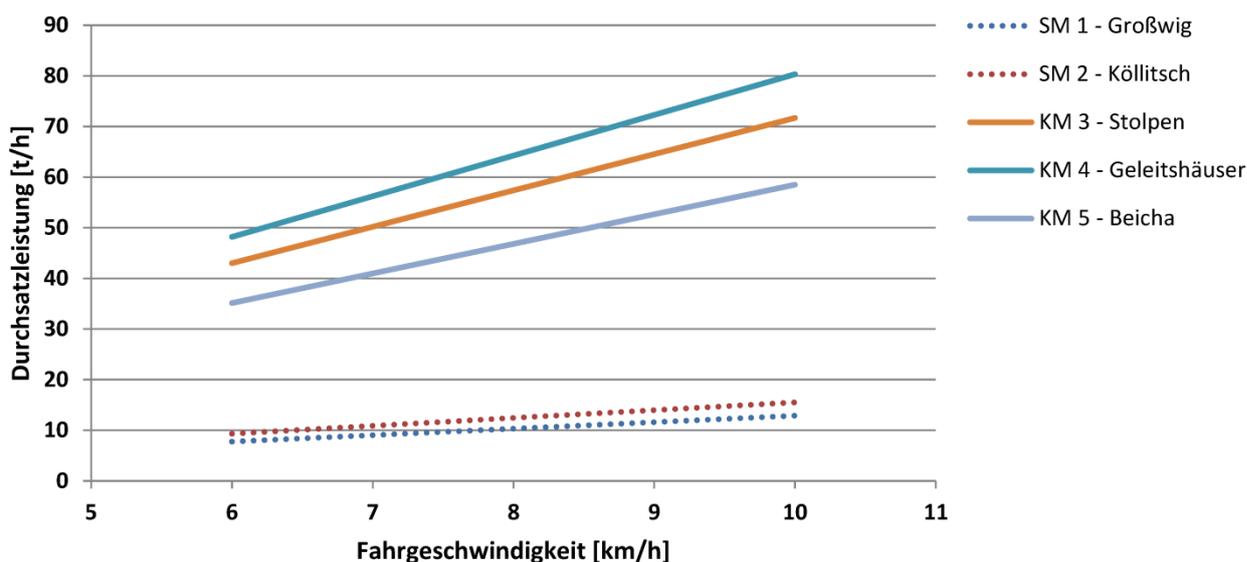


Abbildung 2: Mulcher-Durchsätze (normiert auf 2,8 m Arbeitsbreite) im Silo- und Körnermais

## 2.3 Untersuchte Maschinen und Werkzeuge

Bei den Versuchen kamen Schlegel- und Sichelmulcher zum Einsatz. Diese beiden Bauarten unterscheiden sich grundsätzlich in der Lage der Drehachse der Werkzeugwelle/-rotoren. Schlegelmulcher haben eine horizontale Werkzeugwelle, auf der die Schlegel spiralförmig verteilt angeordnet sind. Bei Sichelmulchern rotieren die Werkzeuge um eine vertikale Drehachse.

Alle eingesetzten Mulcher nutzen das Prinzip des freien Schnittes ohne Gegenschneide. Das Prinzip basiert auf der relativen Beschleunigung zwischen Schneide und Schnittgut sowie ihrer jeweiligen Trägheitsmasse. Die auf der rotierenden Welle angebrachten Werkzeugschlegel treffen mit einer Geschwindigkeit von > 50 m/s auf die Erntereste. Diese liefern mit ihrer Massenträgheitskraft und Biegesteifigkeit der Halme die zum Schnitt notwendige Gegenkraft.

Trockene, zähe Erntereste und damit auch Maisstoppeln und -stroh sind relativ leicht und haben damit eine geringere Massenträgheit als z. B. Grüngut- oder Zwischenfruchtbestände. Wenn das Werkzeug nicht im ungünstigen spitzen Winkel (< 30°, liegende Stoppel) auf die Stoppeln trifft, ermöglichen die hohen Messergeschwindigkeiten ein sicheres Abtrennen und Zerkleinern im freien Schnitt. Als Basismaschinen

wurden wahlweise die Standardtraktoren JD 6820 ( $P_{\text{nenn}}$  120 kW) bzw. Fendt Vario 828 ( $P_{\text{nenn}}$  184 kW, Frontkraftheber) in Kombination mit einem Kraftmessdreieck und einem Drehmomentmessflansch eingesetzt.

### 2.3.1 Sichelmulcher

Die 2014 und 2015 eingesetzten Sichelmulcher sind gezogene Maschinen in 3-gliedriger Bauweise. Sie haben jeweils ein Basis-Mittelteil und zwei seitliche Ausleger (Abbildung 3). Die Tiefenführung erfolgt über eine Parallelogrammverstellung. Dazu sind die vorn hydraulisch verstellbaren Deichsel mit den hinteren pendelnden Tandem-Stützrädern über eine verstellbare Zugstrebe verbunden. Die Zugstrebe ermöglicht den Parallelaushub. Über deren Längenverstellung/Justierung kann die Schnitthöhe vorn/hinten eingestellt werden. Hier ist jedoch eine horizontale Gerätestellung in jedem Fall zu sichern. Jeder Auslegerflügel hat ein Tandemrad zur Tiefenführung.

Beide Sichelmulcher haben einen identischen Grundaufbau der Werkzeuge. Fünf tellerförmige Werkzeugträger tragen in radialer Anordnung die Werkzeugschlegel. Sie sind jeweils 4-fach an jedem Werkzeugträger pendelnd angebracht und schneiden durch paarweise Anordnung in zwei Ebenen. Die Messer sind als Schlegel ausgeführt und können Hindernissen ausweichen. Sie erreichen an der Schneide eine weitgehend horizontale Schnittführung. Die Flugkreisdurchmesser betragen 1.000 und 1.200 mm. Die fünf Wirkbereiche der Rotoren weisen eine Messerüberlappung von ca. 110 mm bei Messern in originaler Länge auf. Der durch die Schneidengeometrie bestimmte Schnittwinkel beträgt ca. 25°. Leitbleche an den unteren Messern sollen das Gut zusätzlich hochfördern. Der eingesetzte Sichelmulcher McConnel SR 620 verfügt über 6,2 m Arbeitsbreite. Der Sicherung des Antriebes vor Überlastung dient eine Rutschkupplung in der Antriebsgelenkwelle.



**Abbildung 3: Sichelmulcher McConnel SR 620, Arbeitsbreite 6,2 m**

### 2.3.2 Schlegelmulcher

#### Maschinenkonfiguration

Für die Versuche wurden zwei Schlegelmulcher der Fa. Mühling eingesetzt: MU-Pro 280 und MU-Farmer 280-H (Abbildung 4). Dabei handelt es sich um Maschinen der Standardserie (Pro) bzw. der schweren Baureihe (Farmer) für schwere Einsatzbedingungen und auch tiefe Arbeit mit Bodenkontakt der Werkzeuge bei der Mulcharbeit.

Die Schlegelmulcher werden im Traktorheck (Farmer) oder wahlweise im Front- oder Heckanbau (Pro) gefahren. Die Arbeitsbreite überdeckt die Traktorbreite. Die Tiefenführung erfolgt bei beiden in Schwimmstellung gefahrenen Maschinen vorn über den Heckkraftheber und hinten über eine Stützwalze (Pro) bzw. luftbereifte Stützräder (Farmer). Der Antrieb des Werkzeugrotors erfolgt über die Gelenkwelle/Winkelgetriebe und einen Verbundkeilriemenantrieb. Letzterer übernimmt zusätzlich die Funktion einer Überlastsicherung.



**Abbildung 4: Schlegelmulcher MU-Pro 280 (links) und MU-Farmer 280 (rechts), Arbeitsbreite 2,8 m**

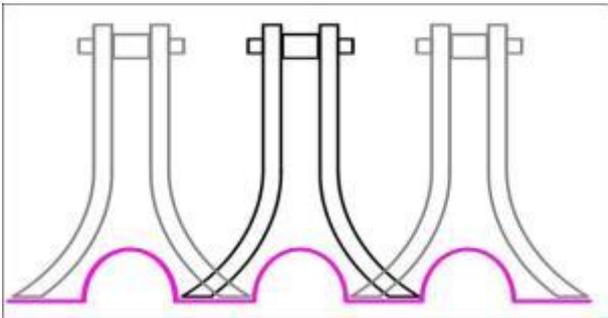
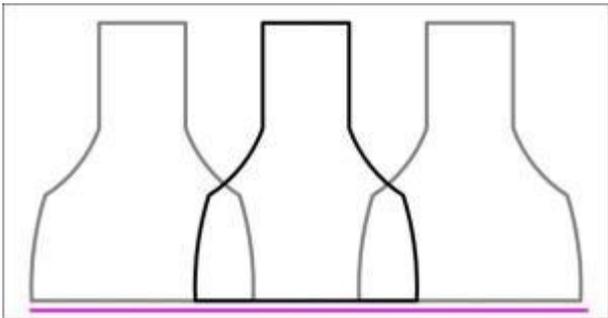
### Eingesetzte Werkzeuge

Die Werkzeugwelle der Schlegelmulcher rotiert im Gegenlauf (entgegengesetzt der Fahrtrichtung) und schlägt die Stoppeln nach vorn oben ab. Die Schlegel sind auf der Werkzeugwelle so montiert, dass eine Überlappung der einzelnen Werkzeuge gewährleistet ist. In Tabelle 1 (untere Abbildung) wird dieser Hinterschnitt für beide Werkzeugarten Y-Messer und Hammerschlegel schematisch dargestellt.

Grundsätzliche Unterschiede bestehen in der Arbeitsweise der unterschiedlichen Schlegelbauarten. So ergibt sich bei den Hammerschlegeln eine gerade Schnitfführung (magentafarbene Linie). Bei den Y-Schlegeln ist die Schnitfführung nicht gerade. Je nach Werkzeuganordnung (2- oder 3-teilig, mit Lüfterflügel oder Zusatzmesser) wird eine kombiniert horizontal/schräge Schnitfführung erreicht.

Die Maschinen wurden mit vier verschiedenen Werkzeugkonfigurationen gefahren. Diese sind in Tabelle 1 dargestellt. Zusätzlich sind Kurzhäckselleisten im Gehäuse zum Abbremsen des Gutes serienmäßig eingebaut (vgl. auch Abbildungen 34 und 48). Sie sollen eine intensivere Zerkleinerung ermöglichen.

**Tabelle 1: Werkzeugkonfigurationen am Schlegelmulcher und Schnitfführung (schematisch)**

MU-Pro 280	
	
<p><b>Leichter Y-Schlegel</b>                      Schnittbreite: ca. 140 mm                      Anstellwinkel: 45°      Schnittwinkel: 30°                      Gewicht: 1.040 g</p>	<p><b>Hammerschlegel</b>                      Schnittbreite: 140 mm                      Schnittwinkel: 30°                      Gewicht: 1.145 g</p>
MU-Farmer 280	
	
<p><b>Y-Schlegel mit Lüfterflügel</b>                      Schnittbreite: ca. 170 mm                      Anstellwinkel: 45/90°      Schnittwinkel: 30°                      Gewicht: 2.500 g</p>	<p><b>Hammerschlegel, schwer</b>                      Schnittbreite: 170 mm                      Schnittwinkel: 30°                      Gewicht: 2.630 g</p>
	

### 2.3.3 Messtechnik

Der Gesamtleistungsbedarf beim Mulchen setzt sich aus dem Zugleistungs- und dem Zapfwellenleistungsanteil zusammen. Insbesondere bei hohen Materialdurchsätzen oder Bodenkontakt der Werkzeuge überwiegt die Zapfwellenleistung deutlich. Beide Leistungsanteile wurden zwischen Traktor und Anbaumaschine erfasst, d. h. schlepperseitige Verlustanteile sind nicht mit berücksichtigt. Der Einfluss traktorseitiger Leistungsverluste ist damit ausgeschlossen.



**Abbildung 5: Mehrkomponenten-Kraftmessdreieck (links) und Zapfwellen-Messflansch (rechts)**

Die zur Berechnung der Zugleistung erforderliche Zugkraft und die reale Arbeitsgeschwindigkeit wurden mit dem Mehrkomponenten-Kraftmessdreieck (Abbildung 5, links) und mit einem Radarsensor gemessen. Die zur Berechnung der Zapfwellenleistung erforderliche Drehzahl- und Drehmomentmessung erfolgte mit einem direkt auf die Traktorzapfwelle aufgesteckten Messflansch (Abbildung 5, rechts). Nach der Messwertaufbereitung mit einem Messverstärker wurden die Daten per Notebook in der Traktorkabine aufgezeichnet und nachfolgend ausgewertet.

### 2.3.4 Bonituren und Siebanalyse

#### Mulchbedeckung

Zur Erfassung des Mulchbedeckungsgrades wurde eine diagonal durch die Parzelle gezogene Schätzschnur nach WINNIGE et al. (1998) genutzt (Abbildung 6).



**Abbildung 6: Erfassen der Mulchbedeckung nach WINNIGE et al. (1998)**

#### Bonitur des Maiszünslers

Um die Auswirkung des Mulchens auf die Maiszünslerpoptulation zu untersuchen, fanden am 6./7.10.2014 eine Herbstbonitur vor dem Mulchen und am 03.03.2015 eine Frühjahrsbonitur statt. Der Termin für die Frühjahrsbonitur wurde so gewählt, dass alle Schädlinge, die bis dahin überlebt hatten, mit hoher Wahrscheinlichkeit das Imago-Stadium erreichen würden.

Weil der Winter 2014/15 recht mild war, konnte die Frühjahrsbonitur bereits Anfang März stattfinden. An diesem Tag hatten bereits einige Larven damit begonnen, sich zu verpuppen. Es wurden jeweils 2 x 2 m je Parzelle bonitiert.



**Abbildung 7: System und Durchführen der Zünslerbonitur**

Neben dem Auftreten von Larven und Fraßspuren erfolgte eine Erfassung der Stoppeldurchmesser und Internodienabstände.

Für das Versuchsjahr 2014 können ausschließlich Aussagen zum Befall der Pflanzen durch den Maiszünsler im Bereich der Stoppel getroffen werden, weil die Versuchsfläche in Großwig zu Beginn der Untersuchungen bereits abgeerntet war.

Auf der Silomaisfläche in Köllitsch wurde am 28.08.2015 eine Zünslerbonitur und die Erhebung weiterer Schadsymptome vor der Beerntung wie das Abknicken der Halme oder das Herabfallen von Kolben durchgeführt. Hier konnte allerdings aufgrund des Projektendes keine Frühjahrsbonitur 2016 mehr durchgeführt werden. Aus diesem Grund ist die Darstellung der Boniturergebnisse für diesen Standort nicht möglich.

### **Fotodokumentation**

Alle Versuchsparzellen wurden fotografisch dokumentiert. Ein besonderes Augenmerk lag dabei auf Besonderheiten der Parzelle, z. B. dem Auftreten von Fahrspuren und der Arbeitsweise des untersuchten Werkzeugs. So faserten die unterschiedlichen Werkzeuge die Stoppel unterschiedlich stark auf. Durch fotografische Darstellung war dieses Verhalten am besten zu dokumentieren und zu vergleichen.

### **Siebanalyse und Trockenmassebestimmung der Ernterückstände**

Nach dem Mulchen wurde auf einer Fläche von 4 m<sup>2</sup> die Reststoppel bodennah mit einer Astschere abgeschnitten und das zerkleinerte Material mithilfe eines Laubbesens eingesammelt.

Die so gewonnenen Proben wurden im Labor gewogen. Anschließend erfolgte die Analyse der Partikelgrößen mit dem Stufensieb, um den Zerkleinerungsgrad zu ermitteln (Abbildung 8). Eine gelockerte Probe wird auf die Aufgabefläche (Abbildung 8, Nr. 1) gegeben. Das Sieb ist 15° geneigt und schwingt mit einer Frequenz von 1 Hz und einer Amplitude von 25 mm. In einem ersten Schritt wurden die Fraktionen > 67 mm, < 67 mm und < 30 mm abgesiebt.

Danach wurde der Trockenmassegehalt der Proben im Trockenschrank bei 105 °C bestimmt. Die Fraktion < 30 mm wurde anschließend weiter gesiebt, um Verunreinigungen, die beim Einsammeln der Probe im Feld mit aufgenommen wurden, zu entfernen.



- 1 – Aufgabepunkt
- 2 – Abgang Fraktion > 67 mm
- 3 – Abgang Fraktion 67–30 mm
- 4 – Abgang Fraktion < 30mm
- 5 – Abgang Fraktion 30–8 mm
- 6 – Abgang Fraktion 8–4 mm
- 7 – Abgang Feinfraktion/minerale Beimengungen < 4 mm

**Abbildung 8: Schwingsieb zur Bestimmung der Fraktionsanteile aus den Materialproben**

## 2.4 Versuchsdurchführung

Mit den Versuchen sollten Einflussgrößen auf den Mulcherfolg und die Zerkleinerungswirkung gefunden werden. Der Mulcherfolg beschreibt den Anteil gemulchter Erntereste von der gesamten Ernterestmenge, die erreichbare Zerkleinerung/Zerkleinerungswirkung kennzeichnet die erreichte Längenverteilung nach dem Mulchen. Die Komplexität der Aufgabenstellung erforderte ein mehrstufiges Versuchsprogramm, um folgende Punkte zu klären:

- den Einfluss der Arbeitsrichtung und Werkzeugbestückung auf den Mulcherfolg (Stoppelmanagement)
- die Auswirkung des Werkzeugverschleißes auf den Mulcherfolg (Standzeitbewertung)
- die Wirkung des Mulcherfolges auf Fusarien und DON-Gehalte in der Folgefrucht Weizen
- das Potenzial einer möglichen Befahrungsplanung auf die Verbesserung des Mulcherfolges

- die Dokumentation der Mulcharbeit bei optimierter Maschinen- und Werkzeugkonfiguration sowie Fahrstrategie

Zur Ermittlung des Bekämpfungserfolges gegen den Maiszünsler und das Auftreten von Fusarien wurde jeweils an den Standorten Großwig und Geleithhäuser ein Feldversuch als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt (siehe Anhang). Tabelle 2 gibt eine Übersicht zu den durchgeführten Arbeiten.

**Tabelle 2: Versuchsinhalte und Erhebungen**

Standort	Großwig/ Langenrei- chenbach	Geleithhäuser	Stolpen	Köllitsch	Beicha
Versuchsjahr	2014	2014	2014	2015	2015
Versuchsinhalt	Stoppel- management	Stoppel- management	Standzeit- bewertung	Stoppel- management	Stoppel- management
Fruchtart	Silomais	Körnermais	Körnermais	Silomais	Körnermais
<b>Bonituren, Messungen, Datenerfassungen</b>					
Befall Maiszünsler	X			X	
Mulchbedeckungsgrad	X	(X)		X	(X)
Stoppelhöhe/ Mulcherfolg	X	X	X	X	X
Zerkleinerung	X	X	X	X	X
Leistungsbedarf	X	X	X	X	X
Qualität der Arbeitserledigung	X	X	X	X	X
Bodenfeuchte, Gutfeuchte	X	X	X	X	X
Verschleiß	X	X	X		
Befahrungsanalyse	X			X	X
Befall Fusarium		X			

#### 2.4.1 Stoppelmanagement im Silomais, Großwig und Köllitsch

Primärziel der Versuche zum Stoppelmanagement im Silomais in Großwig (2014) und in Köllitsch (2015) war, die Auswirkung des Mulchens auf die Maiszünslerpopulation zu untersuchen. Hypothese war hier ein Bekämpfungserfolg, der zum einen direkt durch das Zerschlagen von Zünslerlarven herbeigeführt wird und außerdem auf einer Verminderung von Überwinterungsmöglichkeiten durch Zerkleinern der Erntereste basiert.

Der Versuch in Großwig 2014 beinhaltet die in Tabelle 3 enthaltenen Prüffaktoren. Neben der Mulcherbauart und der Werkzeugbestückung wurden die Fahrgeschwindigkeit und die Ausrichtung der Maisstoppel variiert. Dabei fand eine gezielte Befahrung der Fläche statt, die ein Überfahren der Maisstoppln mit einem Erntefahrzeug simulieren sollte. Alle Stoppln in den überfahrenen Parzellen wurden in einer Richtung überfahren, sodass später gezielt gegen oder mit dem Strich gemulcht werden konnte. Diese Vorbereitung stellt eine Zweifach-Überrollung dar, führte jedoch am Standort Großwig zu weitgehend vollständig liegenden Stoppln (Abbildung 9).

**Tabelle 3: Prüffaktoren für die Versuche zum Stoppelmanagement 2014**

Prüffaktor	Variante				
Bauart/ Werkzeug	Hammerschlegel	Schlegelmulcher schwere Hammerschlegel	Y-Schlegel	schwere Y-Schlegel	Sichelmulcher
Fahrgeschwindigkeit	6 km/h 8 km/h 10 km/h				
Ausrichtung der Stoppel	Stehend Liegend, gegen den Strich gemulcht Liegend, mit dem Strich gemulcht				
Anbauart	Traktorheck				

Jedes Prüfglied wurde vierfach wiederholt angelegt. Dazu kamen fünf Kontrollparzellen, sodass es insgesamt 185 Parzellen waren (siehe Anhang). Die Parzellenbreite betrug 3 m und die Parzellenlänge 24 m. Weil der Sichelmulcher mit 6,2 m Arbeitsbreite breiter als eine Parzellenbreite war, wurde neben den Sichelmulcher-Parzellen eine Leerparzelle eingerichtet oder zwei unterschiedliche Varianten mit gleicher Geschwindigkeit nebeneinandergelegt. Zwischen den einzelnen Blöcken waren Wege mit 18 m Breite angelegt, um eine Ein- und Auslaufzone für die Technik zu gewährleisten.

Zusätzlich zur Auswirkung des Mulchens auf den Maiszünsler wurden Messungen zur Erfassung der Antriebs- und Zugleistung durchgeführt sowie die Stoppelhöhe und die prozentuale Mulchbedeckung vor und nach dem Mulchen erfasst. Das Befahren zur Vorbereitung der Stoppellage zeigt Abbildung 9.



**Abbildung 9: Vorbereitung zur Versuchsanlage ‚liegende Stoppel‘**

2015 wurden in Köllitsch Einstellungen getestet, die sich 2014 als optimal erwiesen hatten. Der Anbau des Schlegelmulchers erfolgte im Frontanbau des Traktors mit Hammerschlegeln mit einer Geschwindigkeit von 12 km/h, um das zusätzliche Überfahren der Stoppeln durch den Schlepper auszuschließen.

#### 2.4.2 Stoppelmanagement im Körnermais, Geleitshäuser und Beicha

Primärziel des Versuches in Geleitshäuser war es, die Auswirkung des Mulchens auf das Auftreten und die Befallsintensität von *Fusarium* spp. in Weizen zu untersuchen, der in der Fruchtfolge nach Körnermais angebaut wird. Die Prüfglieder waren analog zu denen in Großwig aufgebaut. Der Versuch beinhaltete allerdings keine gezielte Befahrung, weil das Erfassen der Stoppel im Vergleich zur Strohaufgabe bei Körnermais eine untergeordnete Rolle spielt. Außerdem gab es auf dem Feld aufgrund der größeren Arbeitsbreite des Mähdeschers und der geringeren totalen Erntemenge im Vergleich zu Silomaisflächen weniger Fahrspuren. Der eingesetzte Mähdescher war ein Claas Lexion 770 mit einem 12-reihigen Pflückvorsatz mit Unterflurmulcher, Typ HS-II-1200-B.



**Abbildung 10: Versuchsfläche Körnermais**

(Geleitshäuser 2014)

Eine Bonitur des Mulchbedeckungsgrades in den einzelnen Parzellen wurde nicht durchgeführt, weil dieser in allen Parzellen vor und nach dem Mulchen stets bei 100 % lag (Abbildung 10).

Der Befall mit Fusarien im Feld kann anhand der Schadsymptome (u. a. Taubährickeit) detektiert werden. Der Pilz infiziert die Pflanzen über Sporen, die mit dem Wind oder durch Regenspritzer verteilt werden. Es wurden 6 m breite Parzellen angelegt, um das Risiko des Einschleppens von Sporen aus der Nachbarparzelle zu minimieren. Die Bonitur von Halmbruch und partieller Weißährickeit erfolgt bei Weizen zum Zeitpunkt der Milchreife (BBCH75) und wurde an 4 x 25 Pflanzen je Parzelle durchgeführt. Abschließend erfolgte ein Kerndrusch der Parzelle. Im Labor erfolgte dann die Bestimmung der DON-Gehalte (Deoxynivalenol) mit dem ELISA-Test.

#### 2.4.3 Verschleißuntersuchungen Stolpen

Die Verschleißuntersuchungen hatten zum Ziel, die Auswirkungen des Schlegelzustandes auf den Leistungsbedarf und die Arbeitsqualität von Schlegelmulchern zu klären. Es wurden nur Hammerschlegelvarianten geprüft.

Weil Verschleißuntersuchungen einen hohen Zeitaufwand erfordern, wurden die Mulcher bewusst so eingestellt, dass ein erhöhter Verschleiß auftrat. So wurde während der Phasen zwischen den Messungen

stets mit Bodenkontakt gearbeitet. Bei der Durchführung der Messungen wurden die Mulcher jedoch wieder auf normale Arbeitstiefe eingestellt.

Weil anzunehmen war, dass die Schlegel in den Fahrspuren hinter den Reifen anders verschleifen als in der Gerätemitte, fand eine Einteilung in die Bereiche U (hinter den Traktorrädern) und Z (zwischen den Traktorrädern) statt (Abbildung 11).

Zu Beginn der Versuche wurden im Mulcher die in diesen Bereichen zu vergleichenden Schlegel dauerhaft markiert, um sie über die Einsatzdauer zuordnen zu können.



**Abbildung 11: Arbeitsbereiche am Heckmulcher**

(U = hinter den Traktorrädern, Z = zwischen den Traktorrädern)

Die entsprechenden Werkzeugsätze wurden in fünf Etappen bis zur Nutzungsgrenze (Hammerschlegel) verschlissen. Die schweren Hammerschlegel im MU-Farmer hatten zu diesem Zeitpunkt noch nicht ihre Verschleißgrenze erreicht.

Zu den einzelnen Etappen wurden Antriebsleistung, Arbeitsqualität und Schneidenrückgang aufgenommen.



### **Abbildung 12: Bestimmung des Schneidenrückganges mittels Vermessung des Schneidenradius**

Das Vermessen der Schneidengeometrie erfolgte mit einer definiert positionierten Abdruckform, die mit schnell aushärtendem Formstoff gefüllt war. Im Labor erfolgte das Schneiden der Proben auf 0,5 mm Dicke und das systematische Aufkleben als Grundlage für eine automatisierte, bildanalytische Auswertung des Schneidenrückganges. Als Maß für den Schneidenrückgang wurde der Schneidenradius als Maß für die Stumpfheit des Werkzeugs bzw. des Schlegels vermessen und in einer Datenbank abgelegt (Abbildung 12). Neben den Abdrücken wurden die Schlegel zu jeder Etappe fotografisch dokumentiert und vermessen.

## 2.5 Signifikante Arbeitsbilder der Werkzeuge

Alle Versuchspartzen wurden fotografisch dokumentiert. Die Bilddokumentation verfolgt zwei Ziele:

- Erfassen der werkzeug- und parameterspezifischen Arbeitsbilder bzw. des Arbeitserfolges
- Festhalten von Besonderheiten in der der Parzelle, z. B. dem Auftreten von Fahrspuren, Störungen oder besonderen Werkzeugeffekten

So fasern beispielsweise die unterschiedlichen Werkzeuge die Stoppeln nach verschiedenen Mechanismen auf. Die Aufnahmen können durch Beilage der Parzellenkarten eindeutig zugeordnet werden. Die Abbildung 13 zeigt einen durch schwere Y-Schlegel längs aufgesplissenen Stängel.



**Abbildung 13: Typischer Längsaufschluss einer nicht abgeschlagenen Maisstoppel durch ein Y-Messer**

## 2.6 Erhebungen zur Feldbefahrung

Vorangegangene Arbeiten zum Mulchen abgeernteter Maisfelder haben niedergefahrene Stoppeln, insbesondere auf Silomaisflächen, als eine Ursache für unzureichende Arbeitsergebnisse beim Zerkleinern der Erntereste durch Mulchen herausgestellt.

Im Rahmen der Versuche wurden deshalb Daten aufgenommen, die Aussagen über den Ist-Stand der Befahrung durch die Erntefahrzeuge zulassen. Anschließend sollten anhand dieser Daten Methoden und

Technologien untersucht werden, die ein Potenzial zur Reduzierung des befahrenen Flächenanteils bieten, oder anderweitig der Schädigung durch Befahrung entgegenwirken.

Um die Schädigungswirkung zu charakterisieren, sind zwei Bereiche relevant:

- die Charakterisierung der Fahrwerke, Beladungszustände, Überrollhäufigkeiten und Bodenbelastbarkeit als Grundlage für ein Schädigungspotenzial
- das Aufzeichnen der tatsächlichen Fahrspuren, die bei der Beerntung eines Schlages durch Ernte- und Transportfahrzeuge entstehen

Im Vorfeld bzw. während der Ernte wurden zur Erhebung des Schädigungspotenzials die in der Tabelle 4 enthaltenen Daten aufgenommen.

**Tabelle 4: Erhobene Daten für eine Befahrungsanalyse**

Bereich	Daten	Erfassungsmethode
<b>Fahrzeugspezifische Daten</b>	Fahrzeugtyp	Aus Dokumentation
	Fahrzeugmasse (leer/beladen)	Aus Dokumentation/Wiegen
	Bereifung	Aufmaß
	Reifeninnendruck	Messung
<b>Bodenspezifische Daten</b>	Bodenart	Bodenkarte
	Bodenfeuchte	Analyse Stechzylinderprobe
	Lagerungsdichte (vor und nach Befahrung)	Analyse Stechzylinderprobe
<b>Flächendaten</b>	Länge/Breite/Form	GIS Karte
	Lage im Wegenetz (Entfernung zum Silo)	GIS Karte
	Lage der Feldeinfahrten	GIS Karte, GPS Tracking
<b>Erntegutdaten</b>	Flächenertrag	Anzahl der Fahrten x Volumina x Schüttdichte des Erntegutes
	Trockenmasse	Trocknung von Erntegutproben
	Volumengewicht	Entnahme von Schüttdichteproben
<b>Erntetechnologie</b>	Reihenzahl des Erntevorsatzes	Manuelle Erfassung
	Anzahl der Abfahrfahrzeuge	Manuelle Erfassung
<b>Wechselwirkungen</b>	Fahrspurtiefe	Messung unter verschiedenen Beladungszuständen

Die zurückgelegten Fahrtstrecken auf der Fläche wurden mit GPS-Empfängern mitgeloggt und nachfolgend grafisch auf den Flurkarten dargestellt. Zudem wurden die Transportfahrzeuge vom Versuchspersonal begleitet und damit auch die Anzahl der An- und Abfahrten sowie der Ladungszustände (leer/voll) protokolliert.

# 3 Ergebnisse und Diskussion

## 3.1 Stoppelmanagement im Silomais

Die Versuche im Silomais wurden mit folgendem Versuchsprogramm/Prüffaktoren gefahren:

- Fahrgeschwindigkeit: 6 km/h, 8 km/h, 10 km/h
- Wiederholungen: 4
- Werkzeuge: Hammerschlegel, Hammerschlegel schwer, Y-Messer, Y-Messer schwer, Sichelmulcher
- Mulcher: Müthing Pro, Müthing Farmer, McConel SR620
- Standorte: Großwig (2014), Köllitsch (2015)

### 3.1.1 Bestandesbonituren

Auf den Versuchsschlägen standen durchweg gut entwickelte Bestände. Sichtbare Zünlerschäden in Form umgeknickter Stängel wurden nur 2014 am Standort Großwig festgestellt. Die durchschnittlichen Stängeldurchmesser betragen in Großwig 2,2 cm.

**Tabelle 5: Durchschnittliche Nodienabstände**

(Großwig 2014, Silomais)

Bereich	Abstand (A) [cm]	Standardabweichung [cm]
Boden > 1. Nodium	5,7	1,1
1. Nodium > 2. Nodium	11,6	1,4
2. Nodium > 3. Nodium	12,3	3,7
3. Nodium > 4. Nodium	8,7	6,5
4. Nodium > 5. Nodium	4,9	3,1



Das Diagramm zeigt einen vertikalen Stängel mit fünf Nodien, die als Kreise dargestellt sind. Ein vertikaler Doppelpfeil markiert den Abstand zwischen zwei Nodien, beschriftet mit dem Buchstaben 'A'.

Die durchschnittlichen Nodienabstände sind aus Tabelle 5 ersichtlich. Die kürzesten gefundenen Nodienabstände befinden sich unmittelbar über dem Boden und im Bereich > 30 cm. Der Bereich zwischen 4. und 5. Nodium ist jedoch nur bei niedergefahrenen Stoppeln relevant und daher in Abhängigkeit der Feldbefahrungsstrategie weitaus seltener zu finden. Besonders relevant für alle Arbeiten zum Stoppelmanagement ist der bodennahe Bereich. Gelingt es mit dem Mulcher nicht sicher, diesen Bereich des Stängels zu zerstören, besteht in hohem Maß die Möglichkeit, dass in diesem Bereich Zünlernerlarven überwintern können (Abbildung 14). Arbeitsziele bei der Zerkleinerung der Erntereste müssen in jedem Fall ein tiefes Abtrennen der Stoppel und eine Zerkleinerung auf < 6 cm sein. Nur dann ist eine sichere Zerstörung der Nodienzwischenräume gewährleistet.



**Abbildung 14: Zünslerlarve in Bodennähe unter dem 1. Nodium**

Für die Beurteilung der Arbeitsweise lassen sich aus vorliegenden Publikationen und den eigenen Bestandesbonituren vor der Bearbeitung zwei Bereiche festhalten:

- Zerkleinerungsintensität, d. h. die maximale Mulchgutlänge, insbesondere unzerkleinerte Stoppelabschnitte
- Reststoppelhöhe, die auf dem Feld unzerstört verbleibt

Problematisch ist die Bewertung des Arbeitsergebnisses bei niedergefahrener Stoppel, weil der Stängel z. T. vom Schlegelwerkzeug erfasst und längs aufgeschlüsselt, jedoch nicht abgetrennt wird. Dieses Ergebnis findet sich nicht in der Auswertung der Reststoppellängen wieder. Hier haben die Schlegelwerkzeuge bei Berücksichtigung der Fotodokumentationen der Arbeitsbilder Vorteile (Abbildung 15). Es wurde trotz der komplexen Zusammenhänge Wert auf ein einfaches Bonitursystem gelegt, weil nur so ein optimaler Werkzeugvergleich möglich wird.



**Abbildung 15: Längsaufschluss eines niedergefahrenen Stängels durch Y-Messer**

### 3.1.2 Reduktion der Stoppelhöhen

2014 wurden alle Mulcher im Heckanbau gefahren. Die angehängten Sichelmulcher weisen aufgrund ihrer größeren Arbeitsbreite einen geringeren Einfluss durch Überfahung der Stoppeln (ca. 25 %) gegenüber 25–50 % beim Schlegelmulcher auf. Dennoch erreichen die Schlegelmulcher im ausschließlichen Heckanbau vergleichbare Arbeitsqualitäten. Die Maschinen wurden flach, aber ohne Bodenkontakt auf eine Schnitthöhe von 3 cm eingestellt. Alle Fahrspuren im Feld waren < 3 cm tief. Bodenkontakt der Werkzeuge bestand nur lokal (Wühlstellen von Wildscheinen, Hasenkühlen, Fuchsloch).

Die Versuche zeigen, dass mit dem Mulchen, unabhängig von Mulcherbauart und Werkzeugbestückung oder Stoppelage, eine Reduktion der Stoppelhöhe von mindestens 30 % (entspricht >10 cm) erreicht wird. Diese Reduktion ist unabhängig von der Arbeitsgeschwindigkeit (Abbildung 16). Werkzeuge mit horizontaler Schnittführung wie bei dem Hammerschlegel oder Y-Anordnungen mit sogenannten Lüfterflügeln erreichen signifikant bessere Ergebnisse. Sie sind tendenziell besser in der Lage, Stoppelreste sicher bodennah abzuschlagen. Bei der Bonitur der Parzellen fiel weiterhin auf, dass ein sicheres Führen der Werkzeuge auf der eingestellten Tiefe, insbesondere bei Unebenheiten, sehr wichtig ist. Bei den vorherrschenden Versuchsbedingungen und den relativ ebenen Flächen auf den Versuchsstandorten genügten alle Tiefenführungssysteme den Anforderungen. Damit ergeben sich auch keine Unterschiede zwischen der partiellen Abstützung/Tiefenführung beim Sichelmulcher bzw. der schweren MU-Farmer Baureihe und der rotornahen Abstützung über die gesamte Arbeitsbreite (Stützwalze) beim MU-Pro Mulcher.

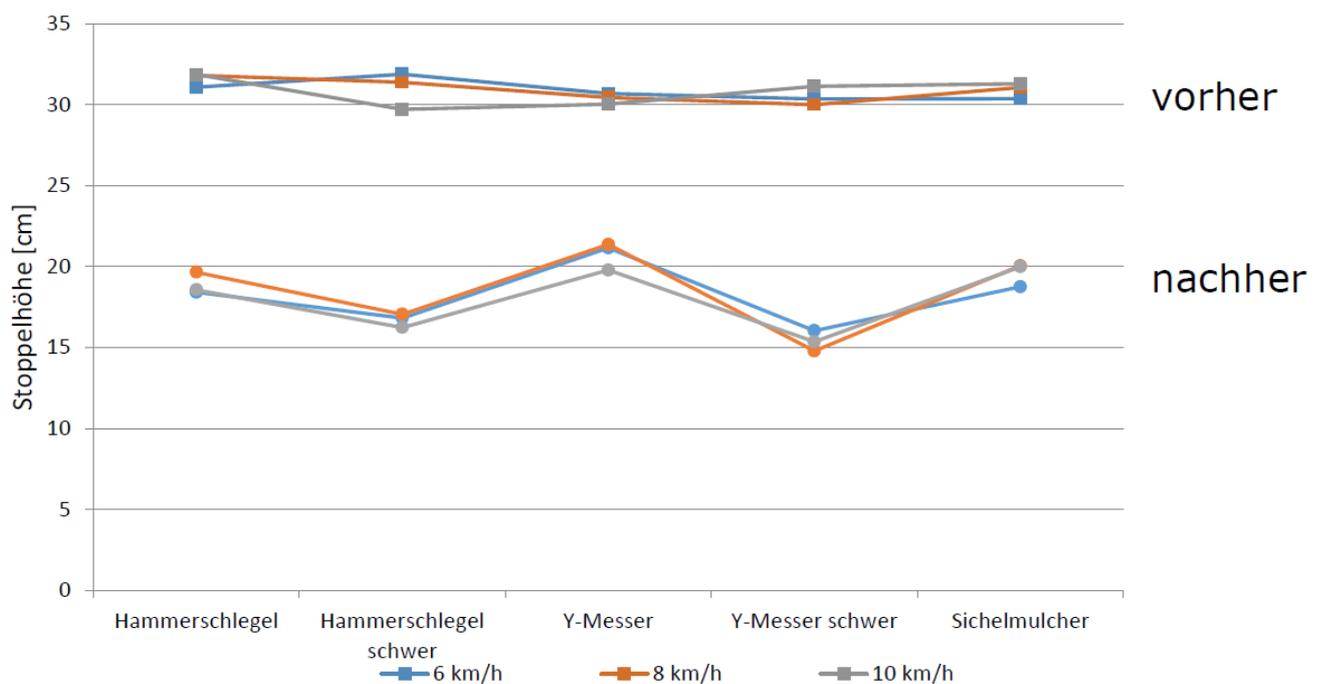
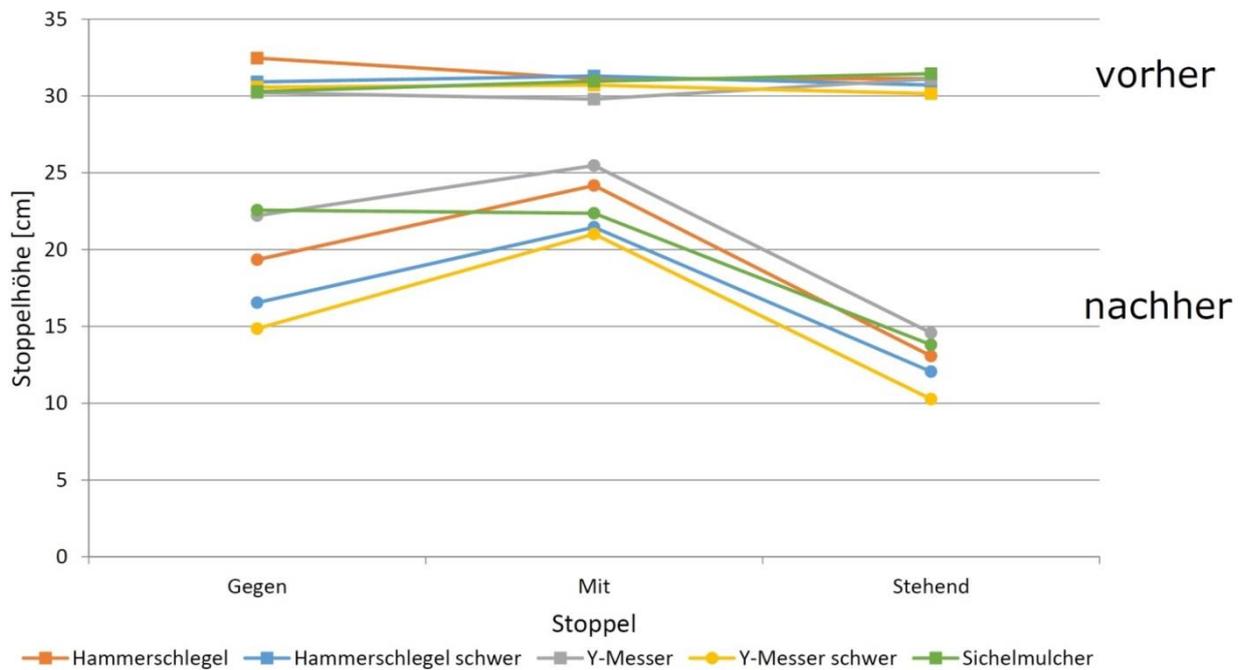


Abbildung 16: Stoppelhöhen vor und nach dem Mulchen

Der Arbeitserfolg verschlechtert sich erheblich bei überfahrener Stoppel im Bereich 15-30 % gegenüber dem Ausgangszustand (entspricht 5-10 cm). Bei idealen Bedingungen, d. h. stehender Stoppel, wird mit optimaler Werkzeugkonfiguration 2/3 der Reststoppel zerkleinert (Abbildung 17). Schlegelmulcherwerkzeuge mit horizontaler Schnittführung erreichen hier bessere Ergebnisse. Insgesamt zeigt sich hier das bessere Arbeitsergebnis der Schlegelbauart. Das Mulchen in liegender Stoppelrichtung liefert bei allen Werkzeugvarianten das schlechteste Arbeitsergebnis. Beim Arbeiten gegen die Stoppelrichtung zeigt sich die größte Schwankungsbreite.



**Abbildung 17: Einfluss der Stoppelage auf den Arbeitserfolg von Mulchern**

Insbesondere bei Schlegelwerkzeugen mit horizontaler Schnitfführung gelingt es, die Stoppeln zu erfassen und abzuschlagen. Die schwere Bauart mit Lufträdern zur Tiefenführung erreicht die besten Ergebnisse. Jedoch können hier weitere werkzeug- oder ernterestseitige Randbedingungen wie die Messergeometrie, die Messerschärfe, der Auftreffwinkel, aber auch das ‚Aufstehvermögen‘ der Stoppeln (Maissorte, Restfeuchte) eine Rolle spielen.

Alle niedergewalzten Stoppeln werden mit heute verfügbarer Technik schwer erfasst. Für einen optimalen Mulcherfolg liegt hier ein großes Potenzial in einer Fahrplanung, d. h. dem Reduzieren der überfahrenen Stoppeln im Feld. Nach Möglichkeit sollte immer gegen die Stoppelage gearbeitet werden. Weiterhin kann der Mulcher bei steinarmen Böden aggressiv bzw. sehr tief mit geringem Bodenkontakt eingestellt werden. Bei dem Sichelmulcher besteht diese Einstellmöglichkeit bauartbedingt nicht. Sichelmulcher weisen somit kein nennenswertes Potenzial zur Verbesserung des Arbeits- bzw. Mulcherfolges auf.



**Abbildung 18: Arbeitsbild bei stehender Stoppel zwischen/hinter den Traktorrädern mit schwerem Hammerschlegel (links) und Sichelmulcher (rechts)**

Bei ebenem Gelände werden die Stoppeln vom Schlegelmulcher sicher im Bereich der eingestellten Arbeitstiefe erfasst und abgeschlagen. Von den Traktorrädern niedergefahrene Stoppeln werden nicht sicher erfasst. Beim horizontalen Schnitt der Hammerschlegel finden sich hier lange Schnitzonen, weil der Stängel nahezu längs geschnitten wird. Damit bleibt eine lange Reststoppelhöhe. Die Stängel sind jedoch oft in einem Bereich von 4–8 cm aufgeschlossen/halbiert (Abbildung 18, links).

### 3.1.3 Mulchbedeckung

Bei allen Versuchen wurde längs zur Reihe gefahren. Wird die Mulchbedeckung nach WINNIGE et al. (1998) bonitiert, weisen die mit dem Sichelmulcher bearbeiteten Parzellen die höchsten Bedeckungsgrade mit 60–70 % auf. Das entspricht einer Erhöhung von über 50 % gegenüber dem Ausgangszustand. Der erreichte Bedeckungsgrad korreliert mit der Reststoppelhöhe. Vollständig abgeschlegelte Stoppeln bzw. viel abgeschnittene Erntereste führen demnach zu einem guten Arbeitsergebnis und auch zu hohen Bedeckungsgraden. So wird bei stehender Stoppel das meiste Material erfasst und führt damit zwangsläufig auch zu höheren Bedeckungsgraden nach seiner Ablage. Die Bonitur nach WINNIGE et al. (1998) erfasst aber auch die niedergedrückten, überfahrenen Stoppeln.

Charakteristisch für den Sichelmulcher ist der Quertransport der losen Erntereste und damit eine Verteilung über die gesamte überfahrene Fläche. Dies ist beim Schlegelmulcher bauartbedingt nicht gegeben. Hier herrscht im Bereich der Stoppelzeilen ein signifikant höherer Bedeckungsgrad, die Zwischenräume bleiben oft ohne Bedeckung, insbesondere bei geringen Stoppelhöhen. Ein Schrägfahren kann diesen Effekt beim Schlegelmulcher reduzieren, das zeigten Tastversuche. Jedoch gelingt hier die exakte Tiefenführung der Maschinen nicht mehr so gut, sie laufen unruhiger und wanken.

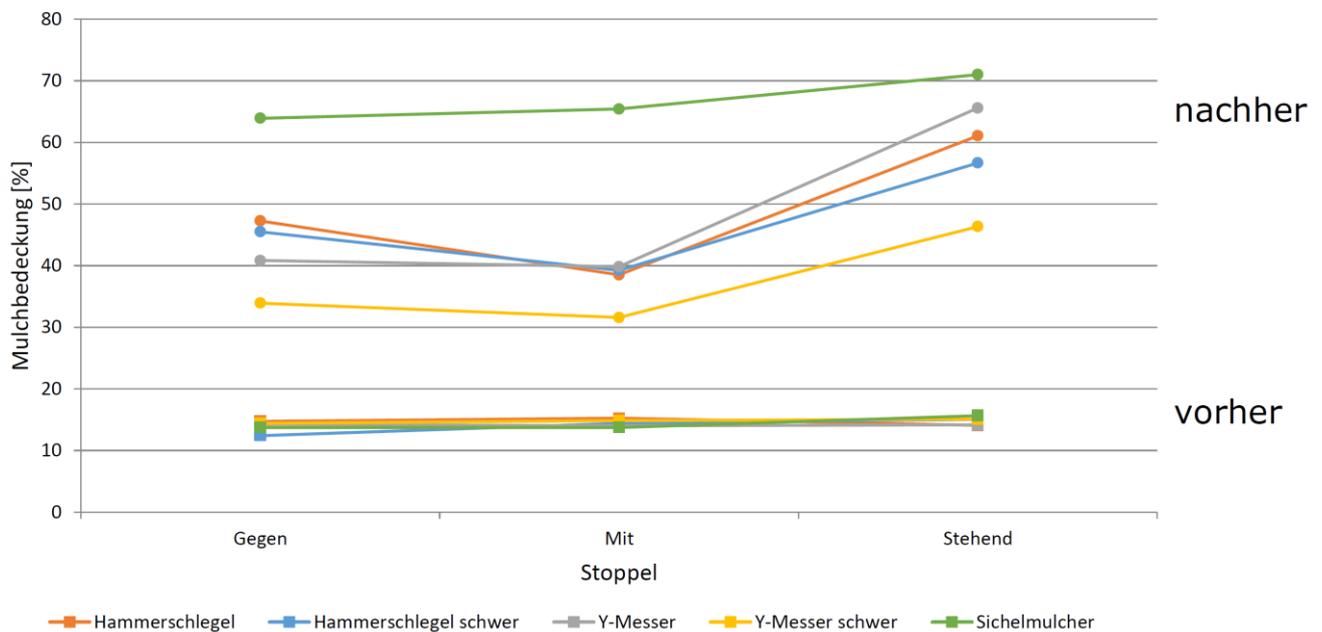
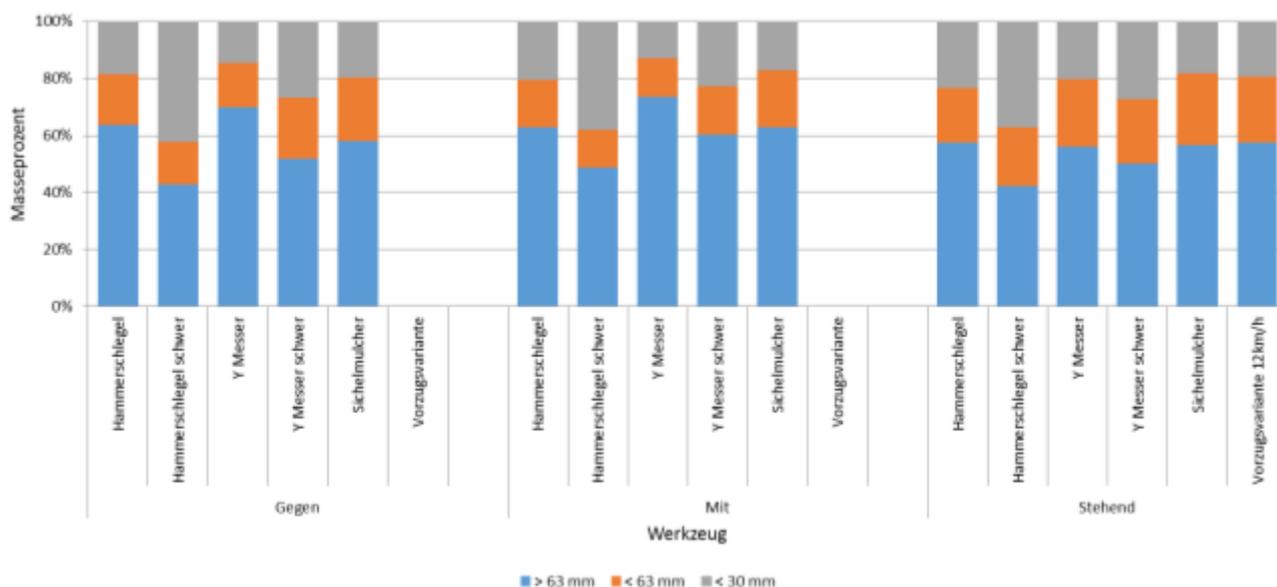


Abbildung 19: Mulchbedeckung nach WINNIGE et al. (1998) vor und nach dem Mulchen

### 3.1.4 Zerkleinerungswirkung und Größenfraktionen

An den Standorten Großwig 2014 und Köllitsch 2015 wurden ausschließlich Silomaisstoppelreste gemulcht. Das zu mulchende Material bestand zum überwiegenden Teil aus Stängeln mit einem geringen Anteil an Blättern. Außerdem war die organische Masse (Abbildung 1) auf der Fläche deutlich geringer als auf dem Standort mit Körnermais. Unter dem Aspekt der Zünslerbekämpfung ist neben dem Mulcherfolg die Qualität der Zerkleinerung bzw. der Aufschlussgrad relevant. Hier wurde der Anteil der Fraktionen > 6,3; < 6,3 und

< 3 cm untersucht. Das Arbeitsziel liegt in der weitgehenden Reduktion der Fraktion > 6,3 cm. Hier ist potenziell davon auszugehen, dass unbeschädigte Internodienzwischenräume den Zünslerlarven Überlebenschancen bieten und Feuchtigkeit schwer eindringen kann.



**Abbildung 20: Zerkleinerungswirkung der unterschiedlichen Mulcherwerkzeuge und Stoppellagen**

Großwig 2014 (Schlegelmulcher) und Köllitsch 2015 (Sichelmulcher), Mittelwerte aus allen Wiederholungen und über alle Geschwindigkeiten; Vorzugsvariante: Schlegelmulcher mit Hammerschlegeln im Frontanbau, s. Titelbild

Wiederum zeigte sich, dass die Arbeitsgeschwindigkeit keinen signifikanten Einfluss auf die Zerkleinerungswirkung hat. Der Grund hierfür liegt erwartungsgemäß in der mehr als 15-fachen Werkzeuggeschwindigkeit gegenüber der Arbeitsgeschwindigkeit. Stehende Stoppeln werden vom Werkzeug optimal erfasst und damit auch am besten zerkleinert. So wurden hier mit ca. 50 % die größten Anteile der beiden Feinfraktionen < 6,3 cm erreicht. Beste Ergebnisse liefern auch beim Aufschlussgrad die schweren Hammerschlegel. Jedoch beeinflusst die Stoppellage das Zerkleinerungsergebnis mit 4–12 % nur gering (Abbildung 20).

### 3.1.5 Wirkung des Mulchens auf den Maiszünsler

Der Fokus beim Feldversuch in Großwig 2014 lag auf der Reduktion der Zünslerpopulation durch das Mulchen.

Zur Herbstbonitur wurden in den 185 Parzellen 2.528 Stoppeln auf Fraßspuren (Abbildung 21, links) und Zünslerlarven (Abbildung 21, rechts) untersucht. Auffällig war die recht geringe Pflanzendichte von durchschnittlich nur etwa 6,4 Pflanzen/m<sup>2</sup>. Dabei fanden sich an 1.344 Pflanzen Fraßspuren und insgesamt 967 Zünslerlarven.

Die Fundstelle der Larven wurde ebenfalls bonitiert. 232 Larven fanden sich im ersten Internodium, 171 im zweiten und 26 Larven im dritten Internodium. Zu beachten ist hierbei, dass nicht alle untersuchten Stoppeln ein zweites oder drittes Internodium aufwiesen. Es ergibt sich ein Durchschnittswert von 2,5 Larven je m<sup>2</sup>.



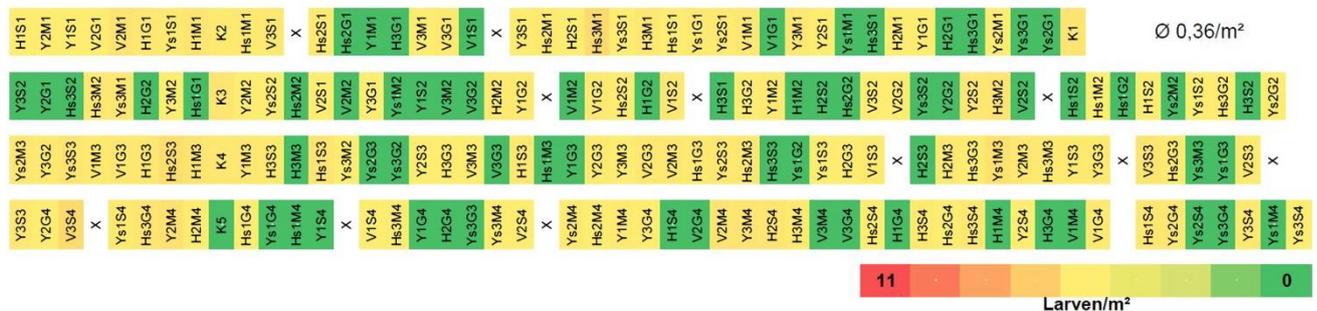
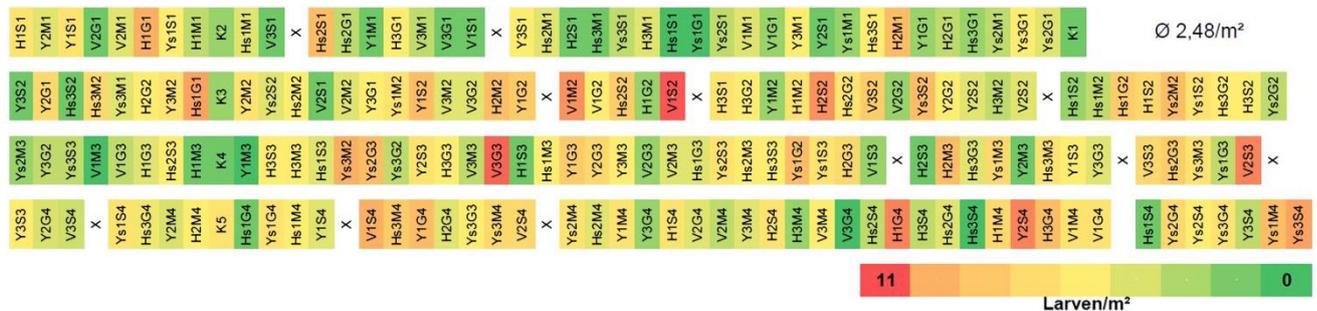
**Abbildung 21: Bohrloch und Zünslerlarve in der Silomaisstoppel**

Aus der Abbildung 22 ist erkennbar, dass das Auftreten der Zünslerlarven über den Versuch keiner erkennbaren Systematik folgt. So liegen teils Parzellen mit starkem Befall direkt neben weniger stark befallenen Parzellen. Auch ein stärkeres Auftreten in Randbereichen konnte nicht ermittelt werden.

In der Abbildung 22 (unten) sind die Ergebnisse der Frühjahrsbonitur 2015 dargestellt.

In der Versuchsanlage wurde die Erscheinungshäufigkeit von  $\varnothing$  2,48 Larven/m<sup>2</sup> vor dem Mulchen auf 0,36 Larven/m<sup>2</sup> nach dem Mulchen und dem Winter abgesenkt. Das entspricht einer Reduktion um 85 %. Allerdings sind somit immer noch etwa 3.600 Larven je Hektar zu finden. Dabei hatte sich bei 169 Parzellen die festgestellte Population reduziert, bei 11 war eine Steigerung zu verzeichnen, bei fünf Parzellen wurde keine Veränderung festgestellt.

Um bessere Bekämpfungserfolge zu erzielen, ist es zwingend notwendig, noch mehr Stängel im unteren Bereich abzutrennen und zu zerkleinern. Das gelingt nur, wenn ein Überfahren der Stoppel möglichst vermieden wird. Auf dem Versuchsbetrieb in Großwig war aufgrund der 8-reihigen Ernte, bei der die Abfahrer in der Häckslerspur fahren, mit 25 % Überfahranteil eine relativ geringe Vorschädigung zu verzeichnen. Darauf aufbauend sollte versucht werden, beim Mulchen keine Pflanzen mehr zusätzlich zu überfahren. Dazu erscheint das Führen des Mulchers im Frontanbau geeignet.



#### Bezeichnungen der Parzellen

Werkzeug	Bezeichnung	Geschwindigkeit	Bezeichnung	Lage der Stoppel	Bezeichnung	Wiederholung	Bezeichnung
Vertikaler Rotor (sichelmulcher)	V	6 km/h	1	Stehend	S	1	1
Hammerschlegel	H	8 km/h	2	Liegend mit dem Strich	M	2	2
Hammerschlegel schwer	Hs	10 km/h	3	Liegend gegen den Strich	G	3	3
Y-Messer	Y					4	4
Y-Messer schwer	Ys						

**Abbildung 22: Zünslerlarvenbonitur Großwig im Herbst 2014 (oben) / im Frühjahr 2015 (unten)**

Um die Methodik der Versuchsanlage zu verbessern, sollten mehr Kontrollparzellen angelegt werden. Damit wäre eine deutlichere Zuordnung des Bekämpfungserfolges auf das Mulchen und die Auswirkungen des Winters auf die Population des Maiszünslers möglich.

Bei der Zerkleinerung des Materials zeigten sich kaum Unterschiede zwischen den einzelnen Werkzeugen. Die Fahrgeschwindigkeit spielte auch nur eine untergeordnete Rolle. Es wird deshalb vorgeschlagen, bei kommenden Versuchen diese Faktoren zu berücksichtigen:

- Variante ohne extra Überfahrt
- mehr Kontrollparzellen

Auf der Versuchsfläche in Köllitsch (2015) wurde der Zünslerbefall in der Parzelle „Vorzugsvariante“ vor der Ernte mit  $\bar{\varnothing}$  11,27 Larven/m<sup>2</sup> (40 Messpunkte mit jeweils fünf aufeinanderfolgenden Pflanzenstängeln) bonitiert. Vor dem Mulchen konnten in dieser Parzelle noch  $\bar{\varnothing}$  6,4 Larven/m<sup>2</sup> (10 Messpunkte mit jeweils fünf aufeinanderfolgenden Pflanzenstängeln) gefunden werden. In Köllitsch war eine Frühjahrsbonitur 2016 im Bearbeitungszeitraum auf Grund des Projektendes nicht möglich.

### 3.1.6 Leistungsbedarf

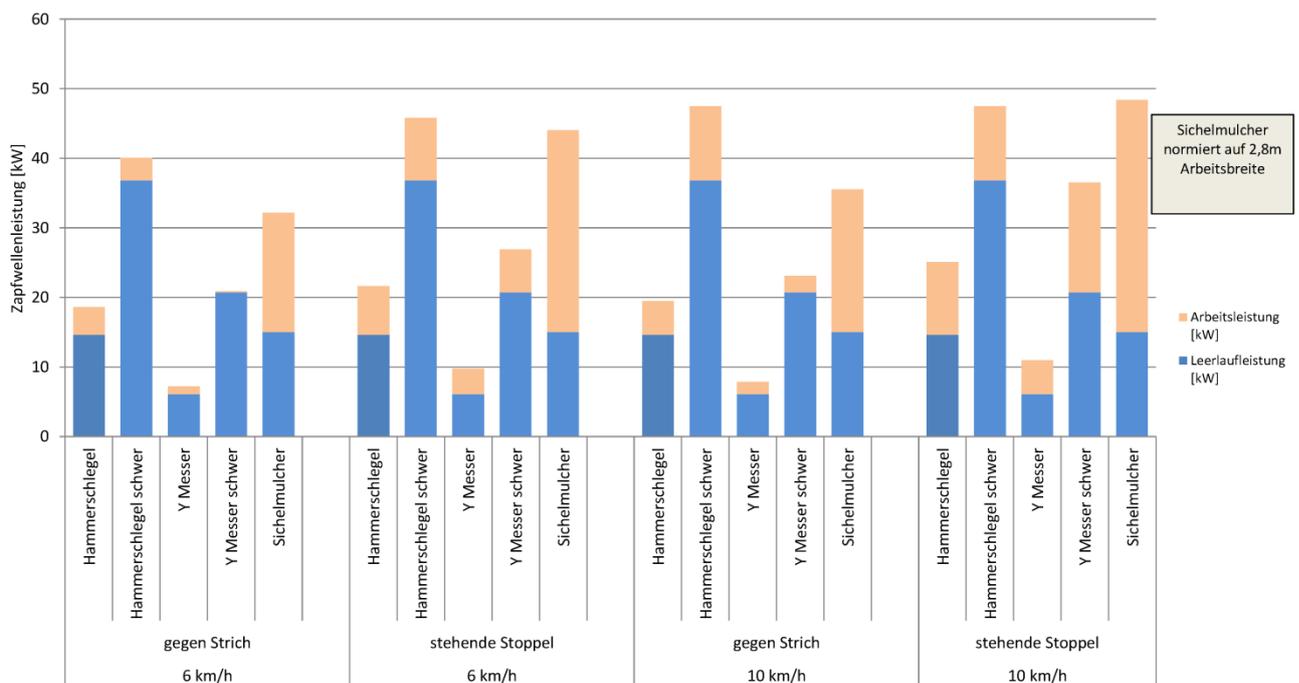
Der Leistungsbedarf und damit Dieselverbrauch beim Mulchen ist in erster Linie vom Durchsatz abhängig. Dieser ist beim Silomais sehr gering (vgl. Abbildung 2). Daher soll diese ‚Mulcharbeit‘-bezogene Betrachtung beim Körnermais erfolgen. Demgegenüber wird der Leerlaufleistungsanteil der Mulcherbauarten und Werkzeugkonfigurationen auf Silomaisstoppel gut sichtbar.

Der Leistungsbedarf liegt in einem weiten Bereich von 8–48 kW, bezogen/normiert auf 2,8 m Arbeitsbreite. Ein wesentlicher Anteil ist die Leerlaufleistung (Abbildung 23). Diese ist auf die Ventilationsarbeit oder die Luftförderung durch die Werkzeuge zurückzuführen. So führen großflächige Hammerschlegel (Hs) bzw. ‚schaufelförmige‘ Konturen, z. B. bei den Lüfterflügeln der schweren Y-Messer (Ys), zu Leerlaufleistungsanteilen von ca. 20 bzw. 35 kW (Abbildung 23).

Die geringsten Luftwiderstände erzeugen die Y Messer. Sie erreichen lediglich Leerlaufleistungen um 5 kW. Weil sie aufgrund der Messerform das Material mehr schneiden und nur in geringem Umfang fördern, führt das zum geringsten Leistungsbedarf im Vergleich.

Der Sichelmulcher hat einen mit normalen Hammerschlegeln vergleichbaren Leerlaufleistungsbedarf. Die Ursache dafür dürfte zum einen in höheren Umfangsgeschwindigkeiten, der 2-Ebenen Schnittführung und der begrenzten Luftförderung durch die Lüftermesser (obere Schnitt Ebene) liegen. Im Betrieb reagiert der Sichelmulcher bei Bodenkontakt sehr schnell mit hohem Leistungsbedarf bis hin zur Überlastung und Auslösen der Rutschkupplung im Antriebsstrang. Dieser resultiert aus dem Bodenkontakt der Messerträger.

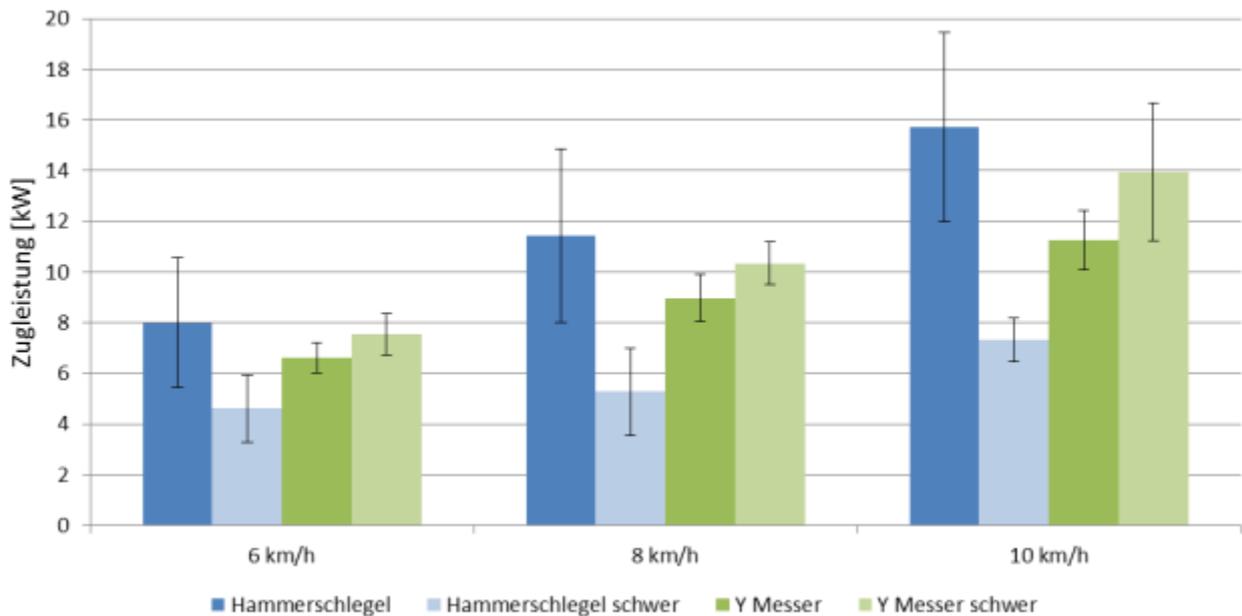
Hier sind alle Schlegelbauarten konstruktionsbedingt robuster. Sie fördern dann aktiv mit den Werkzeugen neben dem Pflanzenmaterial auch Boden, was lediglich zu höherem Verschleiß, aber nicht zwangsläufig zur Überlastung führt.



**Abbildung 23: Anteile der Leerlaufleistung und Arbeitsleistung im Silomais**

Großwig 2014 (Schlegelmulcher), Köllitsch 2015 (Sichelmulcher); Leerlaufleistung: Leistungsbedarf des laufenden Mulchers im abgesenkten Zustand vor Einfahren in die Parzelle

Die erforderliche Zugleistung der Mulcher resultiert zum großen Teil aus den Rollwiderständen der Stützorgane wie Räder oder Stützwalzen. Sie steigt erwartungsgemäß nahezu linear mit der Arbeitsgeschwindigkeit. Hohe Zugleistung erzeugt insbesondere die Stützwalze des Schlegelmulchers MU-Pro, die über die gesamte Arbeitsbreite alle vier Maisstoppelreihen überrollen muss (Hammerschlegel und Y-Messer).



**Abbildung 24: Zugleistung verschiedener Mulcher und Abstützsyste**

Demgegenüber hat der MU-Farmer eine Tiefenführung über zwei Stützräder, die in der Traktorspur, d. h. ausschließlich auf niedergefahrener Stoppel, laufen. Dies äußert sich in einem relativ geringen Zugleistungsbedarf bei den schweren Hammerschlegeln (Abbildung 24). Der relativ hohe Zugleistungsbedarf der schweren Y-Messer konnte nicht zweifelsfrei erklärt werden. Der Sichelmulcher dürfte zwischen den beiden Schlegelmulcherbauarten liegen.

## 3.2 Stoppelmanagement Körnermais

Die Versuche im Körnermais wurden mit folgendem Versuchsprogramm/Prüffaktoren gefahren:

- Fahrgeschwindigkeit: 6 km/h, 8 km/h, 10 km/h
- Wiederholungen: 4
- Werkzeuge: Hammerschlegel, Hammerschlegel schwer, Y-Messer, Y-Messer schwer, Sichelmulcher
- Mulcher: Müthing Pro, Müthing Farmer, McConel SR620
- Standorte: Geleitshäuser (2014), Beicha (2015)

### 3.2.1 Bestandesbonituren

Die Körnermaisflächen waren von einer dichten Mulchauflage und einer vollständigen Bedeckung der Fläche mit Ernteresten gekennzeichnet (Abbildung 25). Der Boden war verhältnismäßig feucht, aber dennoch gut befahrbar und tragfähig. Es wurden keine Fahrspuren > 3 cm Bodentiefe gefunden.

Die Menge des aufliegenden organischen Materials zeigt Abbildung 1. Durchweg wurden Ernterestauflagen mit Längen von > 10 cm bis max. 18 cm erfasst.



**Abbildung 25: Abgeerntete Körnermaisfläche und Stoppeln vor dem Mulchen**

(Geleitshäuser 2014)

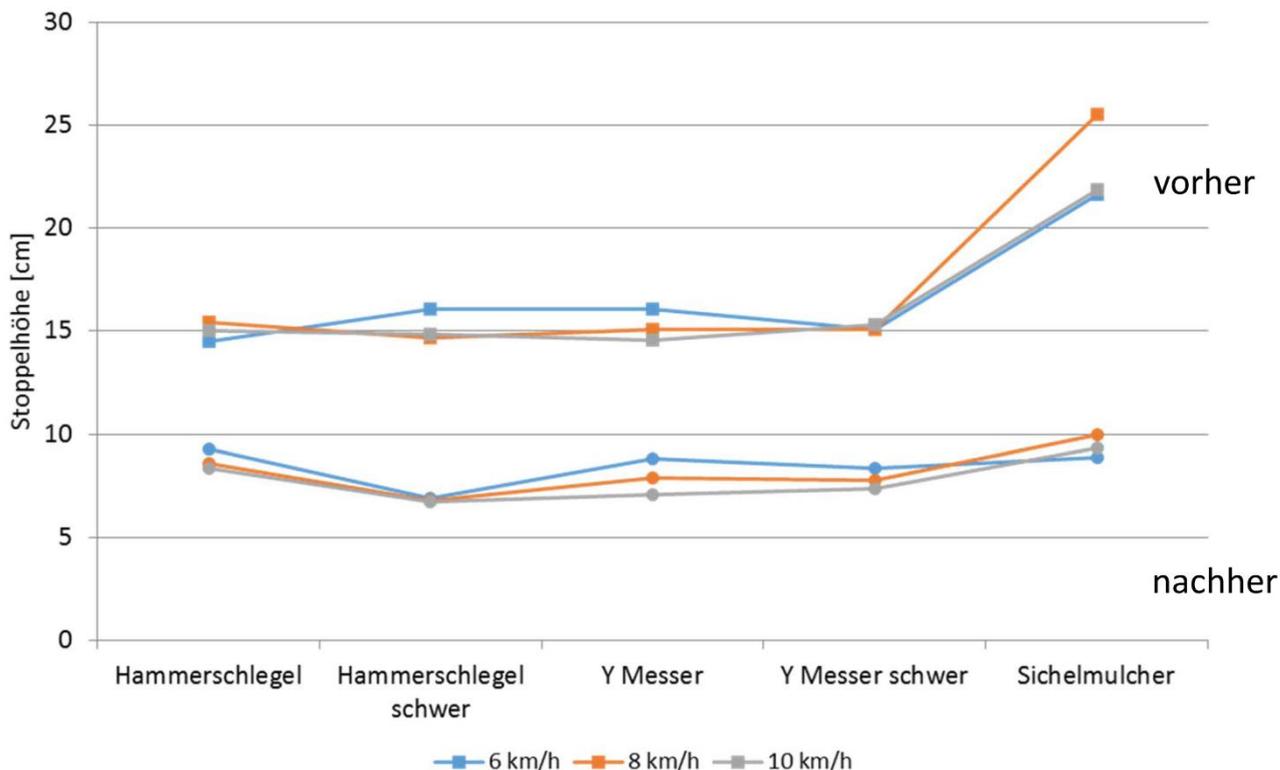
Die Stoppeln auf den Körnermaisflächen sind durch den Unterflurhäcksler am Maisgebiss im Vergleich zu den Silomaisflächen mit ca. 15 cm (Geleitshäuser 2014) und 22–25 cm (Beicha 2015) kurz und weitgehend in gleicher Höhe abgeschnitten. Die Beerntung der Flächen durch den Mährescher erfolgte 12-reihig. Der Mährescher war mit einem 700 mm breiten Gleisbandlaufwerk ausgestattet. Damit erfolgte bei der Ernte innerhalb der Versuchspartellen bei Geradeausfahrt keine Überführung der Stoppeln durch das Fahrwerk, weil das Gleisbandlaufwerk und die Hinterräder zwischen die Maisreihen passten. Bei Lenkbewegungen war partiell lediglich eine Maisstoppelreihe geknickt, jedoch nicht niedergefahren. Aus diesem Grund herrschten für den nachfolgenden Mulcherarbeitsgang optimale Voraussetzungen.

### 3.2.2 Reduktion der Stoppelhöhen



**Abbildung 26: Reststoppel nach dem Mulchen mit Schlegelmulcher mit Hammerschlegeln (MU-Pro)**

Alle Mulchsysteme erfassen die stehenden Stoppeln unabhängig von der Arbeitsgeschwindigkeit sehr gut. Die Ergebnisse vom Sichelmulcher datieren aus 2015 (Beicha), weil die Messungen aufgrund einer technischen Havarie 2014 unterbrochen werden mussten. Die optimalen Mulchvoraussetzungen ermöglichen ein Abtrennen der Stoppeln nahe des Luftwurzelsansatzes. Lediglich beim Sichelmulcher wurden sehr gleichmäßige, maximale Reststoppelhöhen von 10 cm gemessen. Hier wurde auch in der tiefstmöglichen Einstellung gefahren. Alle anderen Werkzeugkonfigurationen lagen darunter.



**Abbildung 27: Stoppelhöhe vor und nach dem Mulchen**

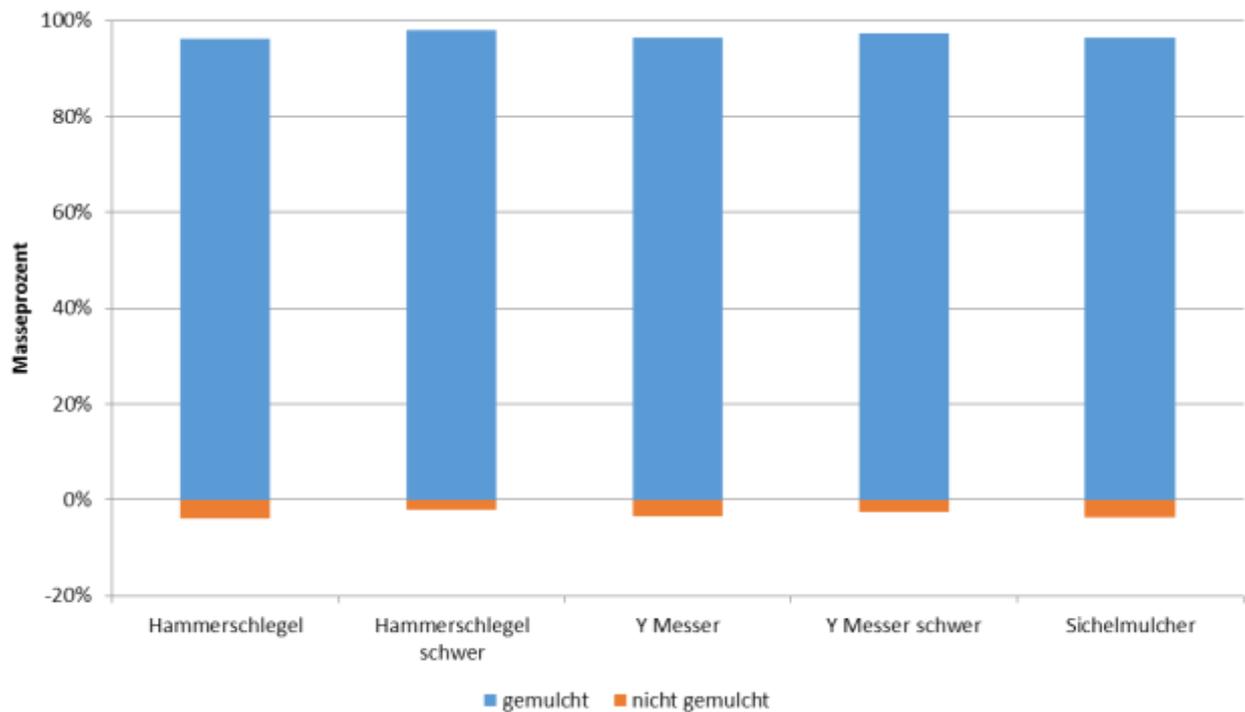
(Geleitshäuser 2014 → Schlegelmulcher; Beicha 2015 → Sichelmulcher)

Charakteristisch wiederum ist der gerade, saubere Schnitt durch die Hammerschlegel (Abbildung 26). Mit diesem gelang eine Reduktion der Reststoppelhöhe auf 6,0 – 7,5 cm (Abbildung 27). Damit wurde sehr oft der Luftwurzelsansatz und das 1. Internodium erfasst bzw. zerstört. Die Schlegelmulcher können jedoch noch tiefer eingestellt werden. Das etwas schlechtere Ergebnis der ‚normalen‘ gegenüber der schweren Hammerschlegelbauart wird wiederum der besseren Tiefenführung des Mulchers mit luftbereiften Rädern und seinem höheren Eigengewicht zugeschrieben. Dies führte zu einem ruhigerem Lauf gegenüber der auf den Reststoppeln laufenden kleinen Stützwalze. Hier ist für die Laufruhe des MU Pro mit Stützwalze eine tiefe Einstellung und damit niedrige Reststoppeln förderlich.

Das geringfügig schlechtere Mulchergebnis bei niedriger Geschwindigkeit von 6 km/h (Abbildung 27), insbesondere bei der Y-Messervariante, ist rational nicht erklärbar.

Betrachtet man die Gesamtbilanz über die gesamte organische Masse der Erntereste, werden sicher über 95 % des Materials vom Mulcher erfasst und aufgeschlossen (Abbildung 28). Die verbleibenden Reststoppeln

können in der Massenbilanz vernachlässigt werden. Die Bodenbedeckung war nach der Überfahrt mit allen Systemen wiederum vollständig 100 %.



**Abbildung 28: Mulcherfolg auf Körnermaisstoppel bei verschiedenen Mulchwerkzeugen**

Massenbilanz (Geleitshäuser 2014), Sichelmulcher (Beicha 2015)

### 3.2.3 Gutaufnahme und -ablage

Beim Mulchen der großen und verschieden strukturierten Ernterestmengen auf Körnermaisflächen (leichte Lieschblätter, Spindeln und Stängelteile) zeigen sich Unterschiede beim Gutdurchgang für die verschiedenen Mulcherbauarten (Abbildung 29). Insbesondere der Sichelmulcher neigt durch seine geringere Bauhöhe und spezifische Gehäuseform bei großen Ernterestmengen zum Aufschieben von Material. Weiterhin wirft er das Mulchgut schwadweise nach hinten aus. Damit wird die Gutablage ungleichmäßiger. Bei starkem Wind besteht zusätzlich die Gefahr des Verwehens bereits gemulchten Materials.

Schlegelmulcher werfen das Gut am Auslass mit hoher Geschwindigkeit (> 50 m/s) nach unten auf den Boden. Insbesondere feuchtes Gut wird so gleichmäßig an den Boden angedrückt. Damit ergibt sich ein absolut gleichmäßiges Arbeitsbild beim Schlegelmulcher. Bei feuchtem Gut (tau-, regennass) wird eine kompakte Gutmatte aufgebracht (Abbildung 29).

Am Sichelmulcher besteht bei ungleichmäßiger Tiefenführung vorn/hinten zusätzlich die Gefahr, dass Gehäusekomponenten im Arbeitsbereich (Leitbleche) Material aufschieben. Beim Schlegelmulcher besteht diese Gefahr prinzipiell nur in den Randbereichen und wurde bei den getesteten Maschinen konstruktiv serienmäßig durch Leitbleche ausgeschlossen.



**Abbildung 29: Arbeitsbild des Sichelmulchers (links) und des Schlegelmulchers (rechts)**

Körnermais (Geleitshäuser 2014)

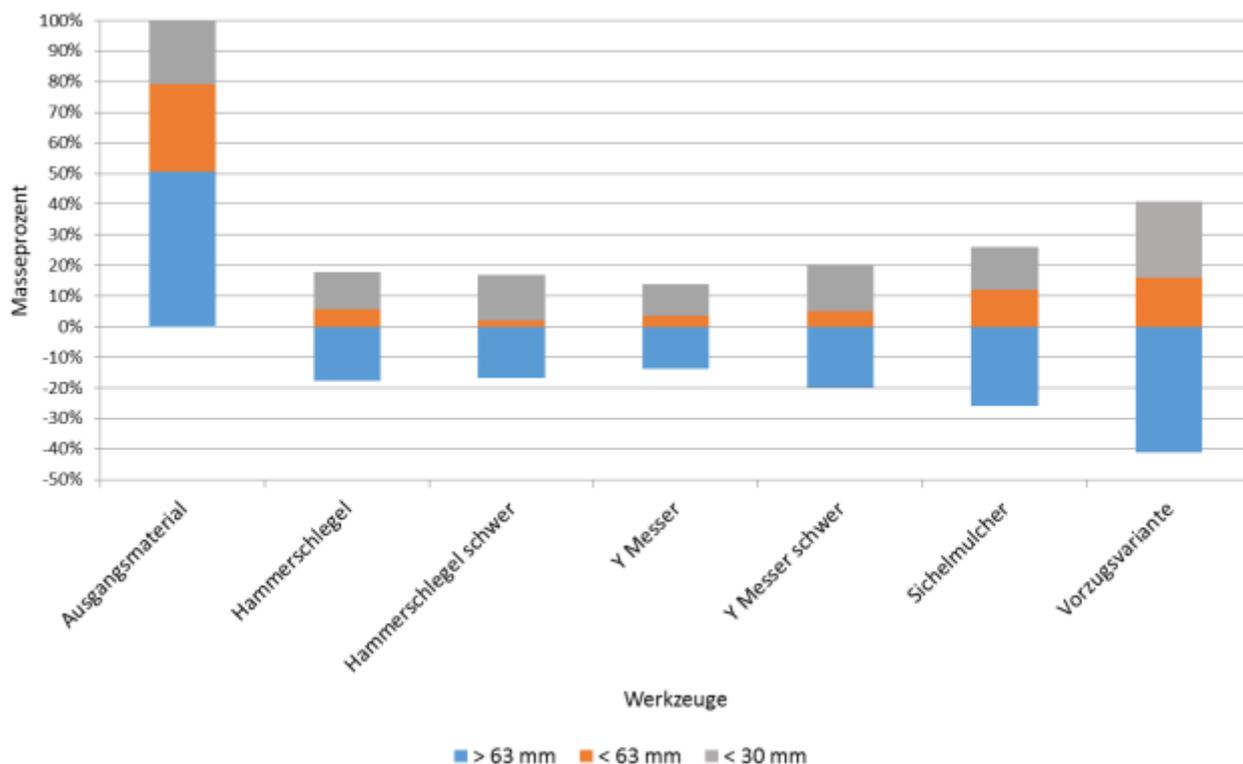
### 3.2.4 Zerkleinerungswirkung und Größenfraktionen

Trotz der am Maisgebiss eingesetzten Unterflurhäcksler weisen die abgeernteten Körnermaisflächen Reststoppelhöhen im Bereich von 10–20 cm (Abbildung 25) und organische Auflagen > 30 t/ha (vgl. Kapitel 2.2) auf. Daher besteht auch beim Körnermais das vordergründige Arbeitsziel des Mulchens in der möglichst vollständigen Zerkleinerung der gesamten Erntereste auf < 6 cm. Neben phytosanitären Aspekten erleichtert die Gutzerkleinerung auch die nachfolgende Bodenbearbeitung. Sie reduziert die Verstopfungsgefahr und erleichtert das Einarbeiten/-mischen der Erntereste in den Boden. Die Verfahrenssicherheit beim nachfolgenden Einsatz einer Scheibenegge oder einer Mulchgrubberkombination steigt durch optimale Zerkleinerung aller Erntereste.

Die Versuche im Körnermais zeigten wiederum unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit eine deutliche Reduktion der Grobfraktion > 6,3 cm. Die Darstellung in Abbildung 30 zeigt die Veränderungen der Größenfraktionen bezogen auf den Ausgangszustand (linker Balken). Dabei bedeuten negative Werte eine Abnahme und positive Werte eine Zunahme der entsprechenden Fraktion.

Bei allen Werkzeugvarianten nimmt die Feinfraktion < 30 mm um 10–15 %, bei der Vorzugsvariante Frontmulcher mit Hammerschlegeln um 25 % zu (Abbildung 30). Die einfachen Y-Messer erreichen den geringsten Zerkleinerungsgrad. Bei der Vorzugsvariante nimmt die Grobfraktion > 40 % zu Gunsten der Mittel- (+15 %) und Feinfraktion + 25 % zu. Alle Werkzeuge mit horizontaler Schnitfführung, auch der

Sichelmulchervariante, erzeugen hohe Feinanteile. Die optimale Frontanbauvariante lieferte damit auch im Körnermais ein um 15 % besseres Zerkleinerungsergebnis im Vergleich zu den besten Heckanbauvarianten.



**Abbildung 30: Mulchergebnis auf Körnermaisstoppel, bezogen auf den Ausgangszustand**

Geleitshäuser 2014 → Sichelmulcher; Vorzugsvariante Beicha 2015 → Schlegelmulcher mit Hammerschlegeln im Frontanbau (s. Titelbild)

### 3.2.5 Leistungsbedarf

In Körnermaisernteresten ist erwartungsgemäß ein deutlicher Zuwachs des Leistungsbedarfes gegenüber der Silomaisstoppel bei vergleichbarer Zugleistung zu verzeichnen. Bei den Feldversuchen konnte trotz einer 7- bis 8-fachen Ernterestmenge ( $\text{kg/m}^2$  Materialauflage) lediglich ein maximal 3-facher Leistungsbedarf festgestellt werden (Abbildung 31).

Der Sichelmulcher ist dabei vom spezifischen Leistungsbedarf vergleichbar mit dem Schlegelmulcher bei optimaler Werkzeugbestückung mit Hammerschlegel. Damit hat der Sichelmulcher wiederum einen verhältnismäßig geringen Leistungsbedarf. Allerdings reagiert auch er beim Durchgang großer Mulchhaufen (z. B. nach Aufschieben von Material) oder bei Bodenkontakt der Messerträger mit hohen Lastspitzen. Diese sind aus dem Säulendiagramm so nicht ersichtlich.

Der schwere, robuste Schlegelmulcher mit schweren Hammerschlegeln hat unabhängig von seiner Werkzeugbestückung den höchsten, bis zu 3-fach höheren Leistungsbedarf.

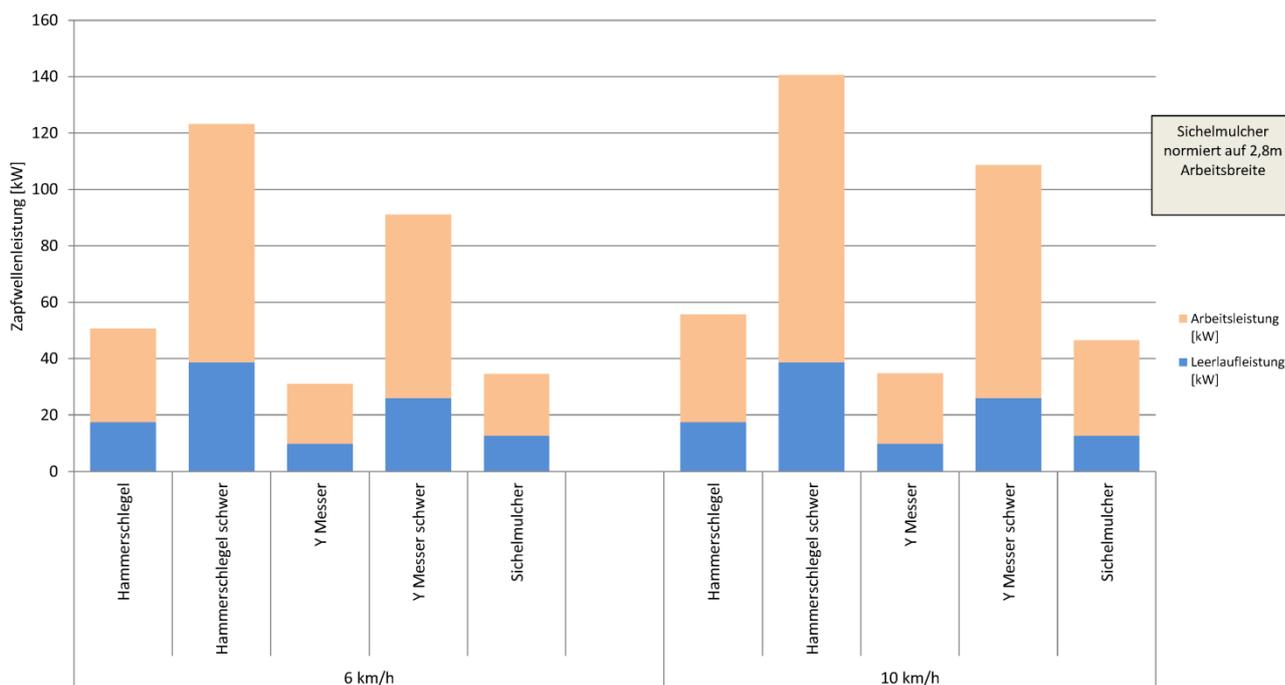
Die Aufteilung in Leerlauf- und Arbeitsleistungsanteile zeigt Abbildung 31. Die Arbeitsleistung erreicht hier das 2- bis 2,5-fache der Leerlaufleistung für die Varianten Schlegelmulcher. Für den Sichelmulcher liegt das Verhältnis beim max. 2,8-fachen. Y-Messer haben den geringsten spezifischen Leistungsbedarf. Allerdings weisen sie den geringsten Arbeitserfolg bezogen auf Mulcherfolg und Zerkleinerungswirkung auf.

In Körnermais-Ernteresten zeigt sich prinzipiell die Durchsatzabhängigkeit des Zapfwellenleistungsbedarfs. Er steigt mit der Arbeitsgeschwindigkeit.

Die Versuche hierzu wurden 2014 am Standort Geleitshäuser durchgeführt. Dort lagen ca. 29 t/ha Erntereste auf den Versuchsparzellen (vgl. Abbildung 1). Somit steigt der Durchsatz von 6 auf 10 km/h Arbeitsgeschwindigkeit auf knapp 170 % (vgl. Abbildung 2) bzw. um 60 % bezogen auf die niedrige Arbeitsgeschwindigkeit von 6 km/h. Dennoch weist der Schlegelmulcher mit Y-Messern oder Hammerschlegeln entsprechend Abbildung 31 bezüglich Zapfwellenleistungsbedarf den geringsten Anstieg (ca. 113 %), gefolgt vom schweren Schlegelmulcher (ca. 122 %) und dem Sichelmulcher (ca. 125 %), auf.

Zwischen den ‚leichten‘ und schweren Schlegelmulcherbauarten steigt der Zapfwellenleistungsbedarf relativ durchsatzunabhängig auf das ca. 2,5-fache (Hammerschlegel → Hammerschlegel schwer) bzw. auf das knapp 3-fache (Y-Messer → Y-Messer schwer) (Abbildung 31). Hier bleibt betriebswirtschaftlich zu prüfen, ob dieser Leistungs- und damit Energiemehrbedarf durch längere Standzeit und bessere Zerkleinerungsqualitäten gerechtfertigt ist.

Der Zugleistungsbedarf liegt im Vergleich zur Silomaisstoppel im Bereich 1,3–10,4 kW und ist gegenüber 4,2–15,7 kW auf Silomaisstoppel damit tendenziell niedriger. Das ist jedoch ein Anteil von deutlich unter 10 % und stark abhängig von den eingesetzten Stützorganen und verbleibenden Reststoppelhöhen und -beschaffenheiten.



**Abbildung 31: Zapfwellenleistungsbedarf beim Mulchen von Körnermaisstoppel**

(Geleitshäuser 2014 → Schlegelmulcher; Beicha 2015 → Sichelmulcher)

## 3.3 Werkzeugstandzeit und Verschleiß

### 3.3.1 Versuchsablauf und Versuchsfaktoren

2014 wurde in der Lommatzcher Pflege und in der Fortführung am steinigem Standort in Stolpen die volle bzw. 1/3 Nutzungsdauer der leichten (H) bzw. schweren (Hs) Hammerschlegelvarianten im Feldtest durchfahren. Die schweren Hammerschlegel sind für harte Einsatzbedingungen mit Bodenkontakt konzipiert. Aus diesem Grund wurden sie im Vergleich gegenüber der Standardvariante betrachtet.

Es konnte im Löss kein signifikanter Werkzeugverschleiß im Rahmen der Funktionsuntersuchungen festgestellt werden. Daher wurden die Versuche auf dem steinigem Standort nahe Stolpen (Abbildung 32) in der Saison 2014 fortgesetzt. Die Mulcher wurden in Stolpen bodennah mit tiefer Einstellung gefahren. Die Werkzeuge hatten während der gesamten Tests leichten Boden- und damit permanenten Steinkontakt.

Die Verschleißversuche wurden mit folgendem Versuchsprogramm/Prüffaktoren gefahren:

- Fahrgeschwindigkeit: 6 km/h und 12 km/h
- Werkzeuge: Hammerschlegel, Hammerschlegel schwer, Sichelmulcher
- Mulcher: Müthing Pro, Müthing Farmer, Spearhead Starcut 730
- Standorte: Geleitshäuser, Stolpen (2014)
- Mulchmaterial: Körnermais



**Abbildung 32: Versuchsfläche Stolpen (Verschleißuntersuchungen) mit hohem Steinanteil**

Etappenweise erfolgte während der Versuche eine Messung der Zapfwellenleistung. Zur Beurteilung des Arbeitsergebnisses wurden in den fünf Zeiträumen/Etappen parallel zur Vermessung der Werkzeuge (Schneidenrückgang) m<sup>2</sup>-Proben des Mulchmaterials genommen und hinsichtlich des Zerkleinerungsergebnisses analysiert. Der Sichelmulcher wurde auf dem Lössboden in zwei Phasen – verschlissene Messer und frisch angeschliffene Messer – gefahren und hinsichtlich Leistungsbedarf und Zerkleinerungsleistung bewertet. Mit jeder Schlegelmulchermaschine wurden jeweils ca. 70 ha Fläche gemulcht. Damit war die Verschleißgrenze der Hammerschlegel (H) erreicht. Diese Flächenleistung entspricht einer Laufleistung von ca. 250 km Wegstrecke je Mulcher bei 2,8 m Arbeitsbreite.

### 3.3.2 Verschleißmechanismen und Werkzeugabnutzung

Durch Bodenberührung wird am Werkzeug Material abgetragen (Abrasion) bzw. durch Steinkontakt und damit Schlagbeanspruchung trotz hoher Zähigkeit herausgeschlagen. Besonders hoher Verschleiß tritt in Böden mit Gehalten an Hartgesteinen wie Quarzsandstein, Granit, Basalten oder Gneis auf.

Die Werkzeuggeschwindigkeiten beider Einbauvarianten (Schlegelmulcher MU-PRO 280, Hammerschlegel und Schlegelmulcher MU-Farmer 280, Hammerschlegel schwer) sind trotz unterschiedlicher Flugkreisdurchmesser mit 58 m/s (Zapfwellennendrehzahl 1.000 U/min) identisch. Die Nutzungsgrenze ist in Abbildung 33 mit jeweils einem weißen Markierungsstrich gekennzeichnet. Die Nutzungsgrenze ist, unberücksichtigt des Rückganges der Schneidenlänge, durch den Rückgang der Schneidenbreite begrenzt. Die Werkzeuge haben die Grenznutzungsdauer erreicht, wenn neben dem Schneidenrückgang auch die Schneidenlänge abnimmt. Dann ist wegen fehlender Schnittüberlappung kein sauberes Arbeitsbild mehr zu erwarten, angeschnittene Stoppeln können stehenbleiben.

Bei neuen Werkzeugen liegt die Schnittüberlappung im Bereich 15–20 mm. Für ein sauberes Schnittbild ist eine minimale Überdeckung von 5 mm erforderlich. Diese funktionale Verschleißgrenze bezüglich der Schneidenlänge ist in Abbildung 33 für beide Schlegel mit einem weißen Strich markiert und beträgt 40 bzw. 85 mm für den leichten bzw. schweren Hammerschlegel (Hs).

In Abbildung 33 sind die Anfangs- und Endzustände der untersuchten Schlegelwerkzeuge gezeigt. Etappe 0 kennzeichnet den Neuzustand, in Etappe 4 bzw. 5 ist der im Versuch erreichte Verschleißzustand ersichtlich. Für die (leichten) Hammerschlegel (H) ist dies gleichzeitig die Verschleißgrenze.

Die Werkzeuge hinter (U) und zwischen (Z) den Traktorrädern wurden weiterhin gesondert betrachtet.

Der Bereich hinter den Schlepperrädern ist selbst bei tragfähigem Boden und geringer Spurtiefe immer etwas niedriger, weil Steine in den Boden gedrückt werden. Die Werkzeuge haben damit zwischen den Rädern häufiger Bodenkontakt oder erfassen aufliegende Steine oder Kluten. Diese tendenziell geringere Werkzeugbeanspruchung hinter den Schlepperrädern wurde bei beiden Schlegelwerkzeugen sichtbar (Abbildung 33).



Abbildung 33: Verschleiß an Hammerschlegeln

H: Hammerschlegel, Hs: Hammerschlegel schwer, Etappe 0: Anfangszustand, Etappe 4 bzw. 5: im Versuch erreichte Verschleißzustand, U: Werkzeuge hinter den Traktorrädern, Z: Werkzeuge zwischen den Traktorrädern

Deutlich erkennbar in Abbildung 33 ist die längere Standzeit der schweren Hammerschlägel (Hs), auch bezüglich der Abnahme der Dicke. Der Rückgang der Werkzeugmasse  $R_m$  beider Schlegelwerkzeuge liegt während der Versuche im Bereich 15–23 % (Tabelle 6). Der Schneidenrückgang am Hammerschlegel (H) bis zur Nutzgrenze beträgt > 62 %.

Dies führt zu einer Reduktion des Flugkreisdurchmessers während der Verschleißversuche um 6 % beim Hammerschlegel (H) bzw. 8 % beim schweren Hammerschlegel (Hs). Das heißt, wenn der Mulcher nicht tiefer gestellt wird, würden die Stängel beim Hammerschlegel (H, Schlegelmulcher MU-Pro) 16 mm bzw. beim schweren Hammerschlegel (Hs, Schlegelmulcher MU-Farmer) 20 mm höher abgeschnitten werden. Insbesondere bei der schweren Mulcherbauart ist demnach ein Nachstellen der Arbeitstiefe wichtig, zudem nur knapp die Hälfte der Standzeit erreicht wurde.

Die volle Standzeitauslastung der schweren Hammerschlegelwerkzeuge würde zu einem ca. 6 cm höheren Schnitt bei unveränderter Maschineneinstellung führen.

**Tabelle 6: Masse- und Schneidenrückgang am neuen und verschlissenen Werkzeug**

Etappe	m [g]	$L_{sa}$ [mm]	$L_{sm}$ [mm]	$L_s$ [mm]	$R_m$ [%]	$R_s$ [%]
<b>Hammerschlegel (H)</b>						
H0	1144	-	-	40	100,0	100,0
HU5	979	24	21	-	85,6	52,5
HZ5	882	18	15	-	77,1	37,5
<b>Hammerschlegel, schwer (Hs)</b>						
Hs0	2633	-	-	85	100,0	100,0
HsU4	2232	65	59	-	84,8	69,4
HsZ4	2059	59	54	-	78,2	63,5
<b>Legende:</b>						
$L_s$	Länge der Schneidkante		[mm]	x0	Ausgangszustand	
$L_{sa}$	Länge der Schneidkante, aussen		[mm]	xUx	unter den Traktorrädern	
$L_{sm}$	Länge der Schneidkante, mittig		[mm]	xZx	zwischen den Traktorrädern	
$R_m$	Rückgang/ Abnahme d. Masse		[%]	xx4	Verschleißstufe 4 (0....5)	
$R_s$	Rückgang/ Abnahme d. Schneide		[%]			
m	Masse des Werkzeuges		[g]			

Es kann davon ausgegangen werden, dass die schweren Hammerschlegel unter diesen schwersten Einsatzbedingungen eine 2- bis 3-fach längere Nutzungsdauer im Vergleich zu Standardwerkzeugen haben. So können mit der 2,8 m Maschine mehr als 200 ha Fläche mit einem Werkzeugsatz unter Extrembedingungen gemulcht werden.

Bei tiefem Mulchen hat der Mulcher permanenten Bodenkontakt (Abbildung 34). Infolgedessen kommt es zu Bodenlagerungen im Gehäuse. Besonders betroffen ist der Einlaufbereich bis hin zur Kurzhäckselleiste.

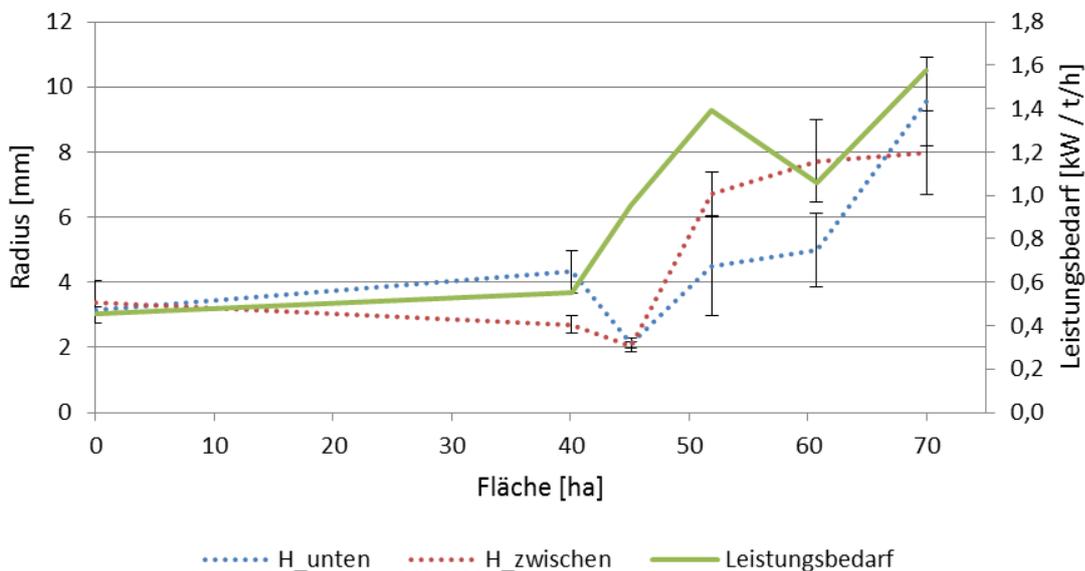
Problematisch ist auch das Anhaften von Boden an der Stützwalze. Diese hat im Gegensatz zu luftbereiften Laufrädern kein Selbstreinigungsvermögen und muss so eingestellt werden, dass sie von den Schlegeln mit gereinigt wird. Anderenfalls läuft hierdurch ebenfalls der Mulcher höher, die Arbeitsqualität sinkt.



**Abbildung 34: Werkzeugverschleiß und Ablagern von Boden im Gehäuse (Schlegelmulcher MU-Pro)**

### 3.3.3 Leistungsbedarf und Arbeitsqualität über die Nutzungsdauer beim Hammerschlegel

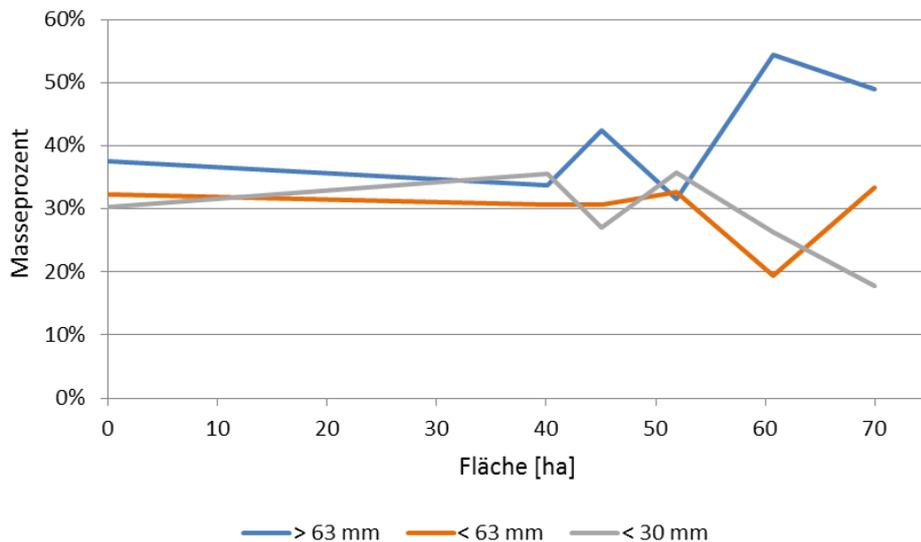
Die Betrachtung soll beispielhaft am Hammerschlegel (H) erfolgen, weil hier die gesamte Standzeit durchfahren wurde. In Abbildung 35 ist die Vergrößerung des Schneidenradius über die Werkzeugstandzeit (bzw. Flächenleistung) und der tendenzielle Anstieg des spezifischen Leistungsbedarfes ersichtlich. Der Leistungsbedarf wurde auf den Durchsatz, d. h. auf die gemulchte Materialmasse (t/h) bezogen, weil die Arbeitsqualität während der Einsatzzeit Schwankungen unterlag.



**Abbildung 35: Schneidenradius und Leistungsbedarf beim Schlegelmulcher über die Flächenleistung**

H = einfacher Hammerschlegel; H\_unten: Werkzeuge hinter den Traktorrädern, H\_zwischen: Werkzeuge zwischen den Traktorrädern

Es kann von einem prinzipiellen Anstieg des spezifischen Leistungsbedarfes mit der Zunahme des Schneidenradius ausgegangen werden. Weiter kommt es, wie bereits erwähnt, zu einer Reduktion des Flugkreisdurchmessers. Die Arbeitstiefe wurde jedoch während der Versuchsetappen wiederholt nachgestellt. Weiter wurde eine Stagnation des Leistungsmehrbedarfes beim schweren Hammerschlegel (Hs) beim Wechsel vom Lössstandort zum steinigem Boden festgestellt. Dies könnte mit einem gewissen Selbstschärfeffekt durch den abrasiveren Boden in Stolpen begründet werden.



**Abbildung 36: Zerkleinerungsqualität beim Schlegelmulcher über die Einsatzdauer**

Bsp. einfacher Hammerschlegel beim Schlegelmulcher

Vereinzelt kommt es aufgrund von Steinschlag zu welligen oder ausgebrochenen Schneidkanten. Diese können kurzfristig zu undefiniert schärferen Schneidkanten und damit einer intensiveren Zerkleinerung führen (Abbildung 36).

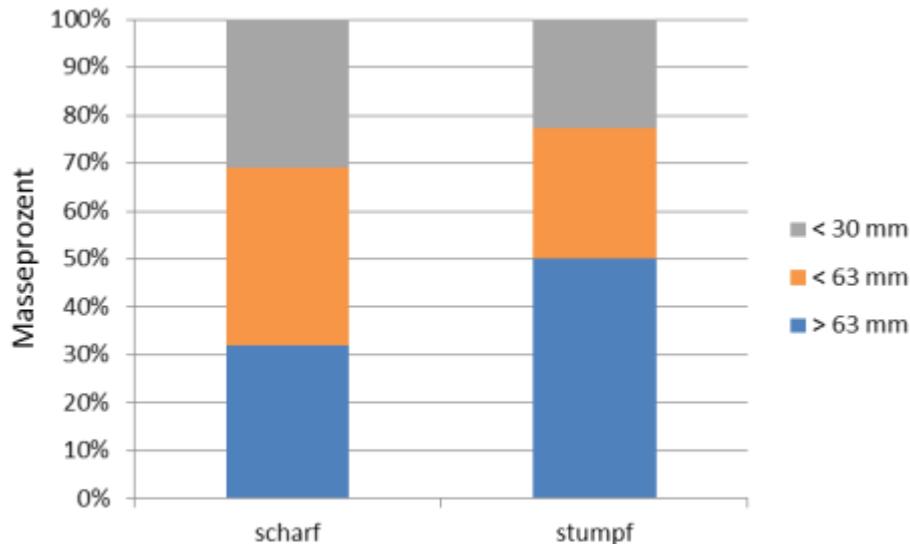
Die generelle Entwicklung der Zerkleinerungsqualität über die Werkzeugabnutzung ist von einer Zunahme der Übergrößen zu Lasten des Feinanteils < 30 mm gekennzeichnet. Das kann eine Ursache dafür sein, dass der Leistungsbedarf nominal nur gering ansteigt.

Zu Beginn der Versuche wurden mit scharfen Hammerschlegeln jeweils gleiche Größenanteile (jeweils ca. 1/3 je Fraktion) ermittelt. Mit fortschreitendem Werkzeugverschleiß wurden mehr als 50 % Übergrößen der Fraktion > 63 mm analysiert (Abbildung 36). Die mittlere Fraktion stagniert nahezu auf gleichem Niveau von ca. 30 %.

Die Schneiden der Hammerschlegel sind in einem Winkel von  $\alpha_S = 50^\circ$  zur Tangentialen des Flugkreises angestellt. Damit ergibt sich die Verringerung des Flugkreisdurchmessers mit fortschreitendem Schneidenrückgang zu  $R_{DF} = 2 \times R_S \sin \alpha_S$ . Er liegt im untersuchten Fall bei durchschnittlich 35 mm beim Hammerschlegelrotor und bei 60 mm beim schweren Hammerschlegelrotor (entspricht ca. 50 % der Standzeit). Das heißt, der Zwischenraum Gehäuse – Rotor vergrößert sich entsprechend um 35 mm beim Hammerschlegel (H) bis zu 120 mm beim schweren Hammerschlegel (Hs) zwischen neu und voll verschlissenen Werkzeugen. Die Wirksamkeit der Einbauten verringert sich, der Förderkanalquerschnitt wird größer. Beides können Ursachen für den reduzierenden Leistungsbedarf bei sich verschlechternder Zerkleinerungsqualität sein.

### 3.3.4 Zerkleinerungsqualität mit wachsendem Verschleiß beim Sichelmulcher

Beim Sichelmulcher wurden lediglich die zwei Zustände scharf und stumpf untersucht. Dazu wurden normal verschlissene Werkzeuge ausgebaut und angeschliffen. Prinzipiell zeigt sich ein ähnliches Verhalten wie beim Schlegelmulcher. Auch beim Sichelmulcher sinkt der spezifische Leistungsbedarf mit stumpfer werdenden Werkzeugen. Eine Ursache hierfür kann abnehmende Zerkleinerungswirkung sein. Mit stumpfen Werkzeugen verschiebt sich auch beim Sichelmulcher die Grobfraction auf über 50 % zu Lasten der mittleren und insbesondere der Kleinfraction (Abbildung 37).



**Abbildung 37: Zerkleinerung beim Sichelmulcher mit scharfen und stumpfen Werkzeugen**

(Körnermais Geleitshäuser 2014)

## 3.4 Fusarium und DON in der Folgefrucht Weizen

### 3.4.1 Versuchsablauf und Versuchsfaktoren

Am Körnermaisstandort Geleitshäuser wurden 2015 im nachfolgend angebauten Weizen Untersuchungen zum Fusariumbefall durchgeführt. Es war eine Bonitur zur Weißährigkeit vorgesehen. Außerdem wurde der Versuch mit dem Parzellenmähdrescher geerntet und von 25 Ernteproben wurden die Mycotoxingehalte (DON-Gehalte) mittels ELISA-Test ermittelt.



**Abbildung 38: Gut entwickelter Winterweizenbestand in der Folgefrucht**  
(Geleitshäuser 2015)

### 3.4.2 Ergebnisse der Untersuchungen



**Abbildung 39: Partielle Weißährigkeit in der Fahrspur**  
(Geleitshäuser 2015)

Es ist allgemein bekannt, dass durch das Mulchen von Maisstroh dessen Rotte gefördert wird und somit die Infektionsquelle für Fusarien reduziert werden kann.

In dem angelegten Versuch konnte dieser Effekt jedoch nicht nachgewiesen werden, weil 2015 allgemein kein Befallsdruck mit Fusarien zu beobachten war. Lediglich in den Fahrspuren der Pflanzenschutzspritze trat vereinzelt partielle Weißährigkeit auf. Ursachen waren der geringe Befallsdruck durch die heiße, trockene Witterung während des Infektionszeitraumes und die erfolgte Ährenbehandlung des Weizens durch den Landwirt.

Die DON-Gehalte der 25 Ernteproben lagen 2015 unter 250 µg DON/kg Weizen.

Rein optisch war 2015 nach der Bodenbearbeitung zum Weizen bei den gemulchten Parzellen eine geringere Mulchaufgabe als bei den Kontrollparzellen festzustellen. Prinzipiell sollten 2015 also bessere Bedingungen für die Rotte geherrscht haben. Allerdings konnten dabei keine Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten festgestellt werden.

Weil in Jahren mit günstigeren Infektionsbedingungen mit einem höheren Befallsdruck gerechnet werden muss, kann als Vorzugsvariante diejenige gelten, die den höchsten Grad an Zerkleinerung erzielt.

## 3.5 Potenzial einer Befahrungsplanung

### 3.5.1 Einfluss der Ernte- und Transporttechnologie

Mit Mulchern aller Bauarten können nur aufrechtstehende Stoppeln optimal erfasst und zerkleinert werden. Mit den Untersuchungen zur Feldbefahrung sollten die wichtigsten Einflussparameter und Randbedingungen identifiziert werden, die zum Niederfahren der Maisstoppeln bei der Ernte im Silo- und Körnermais führen.

Das Niederfahren geschieht immer durch die Fahrwerke der Ernte- bzw. Transportfahrzeuge. Diese knicken die Stoppeln um und erzeugen Fahrspuren mit bestimmten Einsinktiefen. In drei Stufen wurden zunächst die bei der Ernte maßgeblichen Randbedingungen ermittelt und analysiert:

- Befragung Fahrer/Einsatzleitung: Folgt die Befahrung bestimmten Methoden oder Regeln?
- Vermessen der Fahrzeuge: Welches prinzipielle Potenzial besteht fahrwerksseitig zur Erzeugung von Spuren mit entsprechenden Einsinktiefen?
- Befahrungstracking: Welche Streckenlängen und Wege wurden tatsächlich auf dem Feld zurückgelegt?

Damit konnte zunächst ein Überblick über tatsächlich befahrene Flächenanteile eines Schlages gewonnen werden. Weiterhin zeigte sich die enorme Bandbreite und Komplexität der Randbedingungen. Zum Zeitpunkt der Erhebungen waren die Schläge durchweg gut befahrbar, die Einsinktiefen waren gering. Daher wurde unabhängig von der Einsinktiefe (Bodenbefahrbarkeit) zunächst die Zielrichtung in einer Minimierung des Anteiles überfahrener Stoppeln gesehen. In jedem Fall haben mögliche Fahrstrategien (Überfahranteile) einerseits, aber auch die Spurbeschaffenheiten, insbesondere die Spurtiefen, entscheidenden Einfluss auf den Mulcherfolg heutiger Technik.

### Mögliche Fahrstrategien

Die Fahrstrategien für die Silo- und Körnermaisernte sind verschieden.

#### ■ Silomaisernte

Bei der Silomaisernte handelt es sich um ein klassisches Parallelverfahren. Hier fahren Transportfahrzeuge meist in den Fahrspuren, die durch den Häcksler vorgegeben werden. Ausnahmen bilden lediglich der ‚Feldanschnitt‘ mit dem ‚Hintereinanderfahren‘ von Ernte- und Transportfahrzeuge.

Erhebliche Abweichungen ergeben sich durch Leerfahrten bei der Zufahrt zum Häcksler und bei der Wegfahrt mit vollem Transportanhänger zur Feldausfahrt. Bei 6-reihiger Ernte ist z. B. das Überfahren von ca. 30 % der Maisreihen in der Fläche (außer Vorgewende) realistisch. Das sind zwei von sechs Stoppelreihen. Bei z. T. versetztem Fahren von Häcksler und Transportzug werden zusätzlich Stoppelreihen überfahren. Damit kann sich der Überfahranteil auf > 60 % erhöhen (Abbildung 40).

## ■ Körnermaisernte

Bei der Körnermaisernte handelt es sich um kein klassisches Parallelverfahren. Die Ernte erfolgt reihenabhängig, d. h. mit definierter, reihenbezogener Befahrung des Feldes. Je nach Ertrag und eingesetzter Sätechnik sind 6-reihige bzw. 8- bis 12-reihige Erntevorsätze üblich. Transportfahrzeuge fahren nur zum Abbunkern parallel. Gezielte Fahrstrategien werden mit der Überladetechnik möglich. Zum Teil erfolgt das Abbunkern ausschließlich am Vorgewende. Eine Befahrung des Schlages mit Transportfahrzeugen entfällt dann weitgehend. Radfahrwerke am Mähdrescher überfahren in jedem Fall wie beim Feldhäcksler je Spur zwei Maisreihen.

Gleisbandfahrwerke haben oft Breiten < 75 cm und passen z. T. zwischen die Maisreihen. Damit werden nur teilweise Stängel vom Mähdrescher niedergefahren. Durch Unterflurhäcksler am Schneidwerk werden die Stängel in Höhen zwischen 10–15 cm abgeschnitten und vorzerkleinert.



**Abbildung 40: 6-reihige Silomaisernte im Parallelverfahren, versetzte Fahrweise**

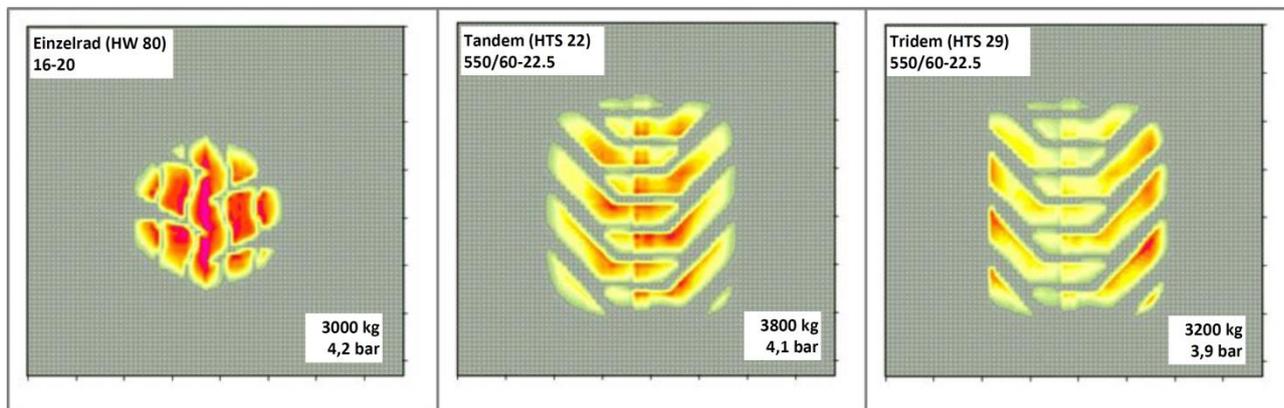
### Fahrwerke, Radlasten, Spurtiefen

Im Betrieb Großwig wurden drei verschiedene Transportsysteme eingesetzt: HW80 SHA – Zug, HAT“ 22.14 Tandem Hitchanhänger – Zug sowie ein HTS 29.14 Tridem Hitchanhänger – Zug (Tabelle 7). Entsprechend dem Ladevolumen und der Gutdichte ergeben sich die in Tabelle 7 aufgeführten Radlasten. Die Zugtraktoren haben deutlich geringere Radlasten bei großvolumigerer Bereifung, damit ein weitaus geringeres Spurbildungspotenzial und wurden daher nicht explizit mitbetrachtet.

**Tabelle 7: Fahrwerkskonfigurationen im Betrieb Großwig**

Fahrwerkstyp	Anhänger Einzelachse (HW 80)	Hitch-Anhänger Tandem (HTS 22)	Hitch-Anhänger Tridem (HTS 29)
Reifentyp	16-20	550/60-22.5	550/60R22.5
Radlast	3000 kg	3780 kg	3200 kg
Reifendruck am Fahrzeug gemessen	4,20 bar	4,10 bar	3,90 bar
Reifendruck bis 40 km/h möglich	4,20 bar	1,60 bar	1,30 bar
Reifendruck mit Reifenregelanlage, optimal	2,90 bar	1,10 bar	0,80 bar

Die in Tabelle 7 erhobenen Fahrwerkkonfigurationen ergeben die in Abbildung 41 qualitativ dargestellten Kontaktflächen und die entsprechenden Druckverteilungen. Diese können bei der Bewertung der Bodenbelastung als Basis dienen.

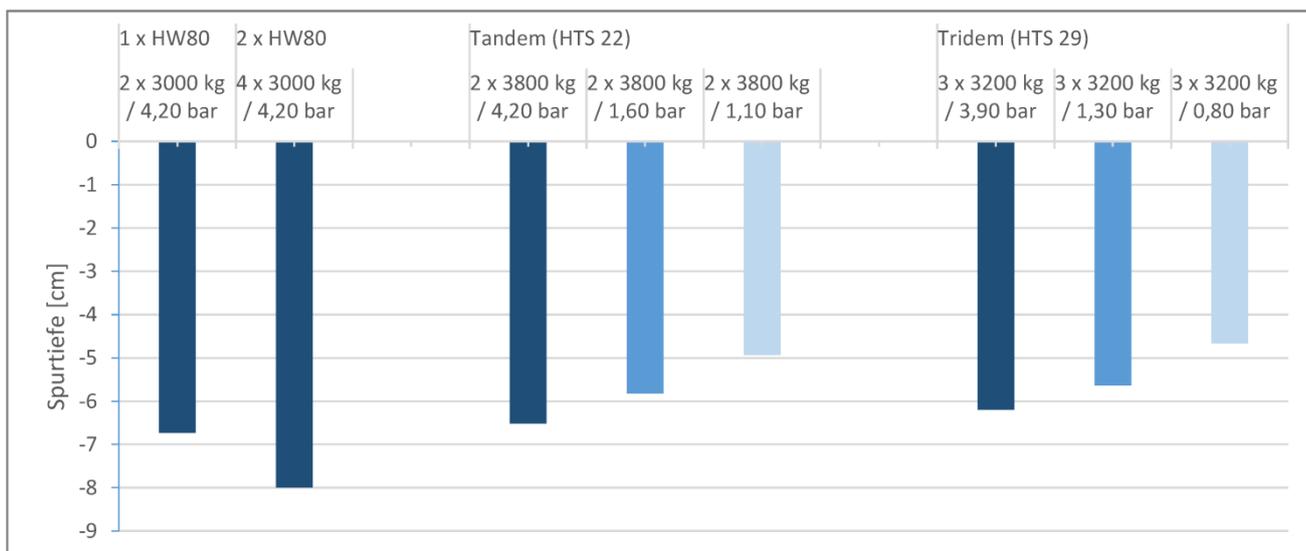


**Abbildung 41: Kontaktflächen und Druckverteilung der eingesetzten Fahrwerke**

Anhand der Tabelle 7 kann festgestellt werden, dass die gemessenen Reifendrücke wesentlich über den für den Beladungszustand minimal geforderten Reifendrücken liegen.

Entsprechend der unterschiedlichen Bodenfeuchten und der eingesetzten Fahrzeuge wurde auf Basis der in Abbildung 41 gezeigten Kontaktdrücke mit Hilfe der Druckcharakteristik eines relativ trockenen lehmigen Sandbodens und in Abhängigkeit der Überrollungen die Spurtiefe und Bodenverdichtung in der Spur zum Vergleich errechnet. In Abbildung 42 sind die Spurtiefen der eingesetzten Fahrwerke dargestellt.

Die dunkelblauen Balken in Abbildung 42 zeigen darin den Reifendruck der eingesetzten Varianten, die hellblauen Balken das Spurpotenzial auf dem Feld bei einem abgesenkten Reifennendruck, der auch 40 km/h Straßenfahrt bei voller Beladung zulässt. Die Optimalvariante (transparentblaue Balken) wird nur mit reduziertem Reifennendruck auf dem Feld möglich (Reifendruckregelanlage).



**Abbildung 42: Spurtiefenpotenzial auf lehmigem Sand (Ist-Stand und optimaler Reifennendruck)**

(Erläuterungen zur Grafik im voranstehenden Text)

Sichtbar wird, dass die angewendeten Reifendrücke zu hoch eingestellt sind und damit wesentlich tiefere Spuren hinterlassen als das mit den vorgeschriebenen niedrigeren Reifendrücken möglich ist. Der relativ schmale Reifen 16-20 am HW80 verursacht mit dem hohen Reifendruck die höchste Spurtiefe. Der Reifen 550/6022.5 am Tridem bewirkt trotz zusätzlicher Überrollung die geringste Spurtiefe.

Insgesamt sind die Effekte der richtigen Einstellung des Reifendrucks und der Einsatz einer Reifendruckregelanlage nicht zu übersehen. Jedoch bleibt bei dieser theoretischen Betrachtung festzuhalten, dass die Bodenbedingungen bzw. die Befahrbarkeit (Bodenart und -feuchte) einen viel größeren Einfluss auf die Spurbildung haben.

In den Versuchsjahren 2014 und 2015 herrschten sehr trockene Bedingungen auf den leichten Standorten in Langenreichenbach und Köllitsch.

Bei den Untersuchungen wurden alle Fahrspuren vermessen.



**Abbildung 43: Spurbildung Diagonalreifen bei 4-fach-Überrollung und Radialreifen bei 2-facher und Radlast (3000 kg und 3200 kg)**

(Langenreichenbach 2014)

Die Silomaiserte im Parallelverfahren verursacht i. d. R. minimal eine 6- bis 8-fache Überrollung in einer Spur, verursacht durch Häcksler und Transportfahrzeug. Trotz der Mehrfachüberrollung wurden geringe Einsinktiefen bei allen Erhebungen von 4,5–9 cm für die verschiedenen Fahrwerke gemessen. Radialbereifte Tandem- und Tridemanhänger sowie die Häcksler verursachen trotz Mehrfachbefahrung maximale Spurtiefen von 5,5 cm.

Die größeren Einsinktiefen erreichten die Transportanhänger mit Diagonalebereitung bei Reifendrücken > 4 bar von bis zu 9 cm. Abbildung 43 zeigt die unterschiedliche Spurbildung bei trockenem, tragfähigem Sandboden (Langenreichenbach) nach der Überfahrung mit Diagonal- und Radialreifen bei vergleichbarer Radlast (ca. 3,1 t) und Bodenfeuchte. Die Radialreifen sanken in diesem Fall 3,5 cm (3-fach-Überrollung HTS 29.12) und die Diagonalreifen 5,5 cm (4-fach-Überrollung 2 x HW 80) ein.



**Abbildung 44: Vorgewendebereich ohne sichtbare Fahrspuren, zerstörten Stoppeln**

(Köllitsch 2015)

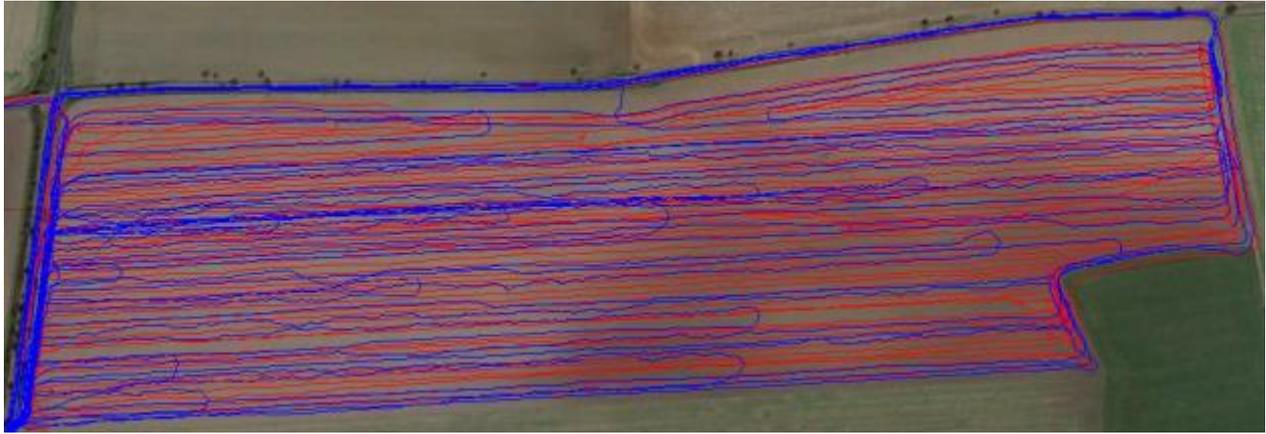
Bei sehr trockenen Bedingungen wie in Köllitsch 2015 konnten keine nennenswerten Fahrspuren gefunden werden. Am Vorgewende geschieht ein Plattwalzen und damit Zerstören der Stängel mit seiner charakteristischen Hohlstruktur (Abbildung 44). Überwinterungsmöglichkeiten für Zünsler und Überdauern von Pilzkrankheiten bei mehrfach überfahrenen und dabei zerstörten Stoppeln wurde in den Untersuchungen nicht geklärt.

### 3.5.2 Ermittlung Schädigungspotenzial

Neben der Wirkung der Fahrwerke auf den Boden und die Erntereste sind für eine Bewertung der Befahrungsauswirkungen die auf dem Feld tatsächlich zurückgelegten Wegstrecken entscheidend. Diese wurden beispielhaft für die Beerntung eines ca. 31 ha großen Schlages in Langenreichenbach aufgezeichnet.

In Abbildung 45 sind die zurückgelegten Wegstrecken als aufgezeichnete GPS-Koordinaten während der Feldbeerntung dargestellt. Die Ernte erfolgte mit einem Häcksler Claas Jaguar 940 mit einem reihenunabhängigen Schneidwerk ORBIS 600 (6 m Arbeitsbreite, 8 Reihen). Der Häcksler ist in Abbildung 45 als rote Linie dargestellt. Zwei Anhänger-Abfahrzüge mit HW80 SHA Anhänger und ein Tridemanhänger mit 31,5 m<sup>3</sup> Ladekapazität wurden mitgetrackt. Exemplarisch ist in Abbildung 45 ein HW80 SHA Abfahrzug als blaue Linie dargestellt. Liniensätze resultieren aus der GPS Aufzeichnung der Spuren ohne Korrektur/RTK mit einer Genauigkeit im Meterbereich.

Der untersuchte Schlag wird von zwei befestigten Fahrstraßen begrenzt, hat eine Längsausdehnung von ca. 1.100 m und damit eine Rechteckform ohne Hindernisse und ist eben. Die Querausdehnung beträgt ca. 300 m. Dies entspricht 400 Maisreihen. Die Befahrung ist von den Straßen her möglich. Der Schlag hatte einen mittleren Ertrag von 42,4 t/ha, was einer zu erntenden Gesamtmasse von ca. 1.300 t entsprach. Daraus resultiert bei 30 % TM (Schüttdichte ca. 0,4 t/m<sup>3</sup>) ein zu transportierendes Volumen von ca. 3.300 m<sup>3</sup>. Ein Umgang aller Transportfahrzeuge erreicht eine theoretische Kapazität von 111,5 m<sup>3</sup>. Mit einem durchschnittlichen Füllungsgrad von etwa 0,95 können ca. 106 m<sup>3</sup> je Umgang transportiert werden. So sind theoretisch 31 Transportumgänge mit allen drei Transportzügen erforderlich, um den gesamten Feldertrag zu transportieren.



**Abbildung 45: Zurückgelegte Wegstrecken auf dem Schlag in Langenreichenbach (rot = Häcksler; blau = Abfahrzug 1) während Silomaisernte**

Der untersuchte Schlag wurde 8-reihig beerntet, wobei alle drei Transportfahrzeuge beim Beladen exakt in der Häckslerspuren fuhren (Abbildung 45). Inklusive der kompletten Umfahrt zum Anschitt zeigen 50 rote Häckslerspuren (längs) die 8-reihige Ernte (400 Reihen, an kurzer Feldseite). Erwartungsgemäß ist ein hoher Anteil der Längsfahrstrecken parallel zur Häckslerspuren sichtbar. Durch das ebene Gelände und die guten Sichtverhältnisse wurden nur kurze, direkte Anfahrtstrecken zum Häcksler benötigt. Die Anfahrt ist prinzipiell von der Längs- und Stirnseite möglich. Es werden jedoch insbesondere die Schlagecken als Ein-/Ausfahrt genutzt. Dort und am Vorgewende an der Westseite finden sich besonders viele Befahrungen.

Typische Fahrmanöver sind aus der Abbildung 45 ersichtlich. Die blauen Linien dokumentieren beispielhaft die Fahrten des Traktors New Holland T7050 mit dem HW 80 Anhängerzug. Dieser hat ein Ladevolumen von insgesamt 40 m<sup>3</sup>. Mit knapp 40 m<sup>3</sup> Nutzvolumen erreicht der Anhängerzug (Abbildung 45, blaue Linie) keine volle Feldlänge. Nach ca. 2/3 Feldlänge ist der Zug gefüllt, ersichtlich durch die zahlreichen Wendemanöver im Schlag.

Der blaue Linienverlauf zeigt in Summe 58 Längsfahrten. 14 typische Wendevorgänge im Stoppelbestand und wenige Versatzfahrten oder sonstige Manöver zum An- oder Abfahren an den bzw. vom Häcksler, die zusätzlich Stoppeln niederfahren, sind dokumentiert. Darin bestätigt sich die tatsächliche (mitgezählte) Anzahl der Transportfahrten dieses Zuges von 29. Die Situation für den 2. Anhängerzug verlief ähnlich. Der Tridem-Anhängerzug wies deutlich mehr Versatzfahrten und diagonal zur Reihe verlaufende Fahrspuren auf. Durch die geringen Einsinktiefen ergaben sich kaum Unterschiede zwischen beladenen und leeren Transportfahrzeugen, weil auch leer fast immer in der Häckslerspuren gefahren wurde. Ein zusätzliches Niederfahren der Stoppeln resultiert aus Wendevorgängen und Schrägfahrten. Vermeidbar sind lediglich grundlose, diagonale Fahrmanöver.

### 3.5.3 Ableitung des Potenzials einer Befahrungsplanung

Auf die phytosanitäre Bewertung der vollständig niedergefahrenen und zerstörten Stängel im Vorgewendebereich wird an dieser Stelle verzichtet. Gegenstand der Diskussion sind die Möglichkeiten zur Reduzierung überfahrener Flächenanteile und damit das Vermeiden von ‚vorgeschädigten‘ Stoppeln, die vom Mulcher schlecht oder nicht erfasst und zerkleinert werden können.

Die Ableitung des Potenzials einer Befahrungsplanung zur Ernte erfolgte auf Basis einer Analyse der überfahrenen Flächenanteile. Unterschieden wurden für den betrachteten rechteckförmigen Schlag der Vorgewendeanteil, die Fahrspuranteile im Bestand und Flächenanteile für Wendemanöver. Diese wurden

durch Auszählen der Wendemanöver aus den getrackten Fahrspuren (vgl. Schlagkarte, Abbildung 45) ermittelt. Wendemanöver erfolgten i. d. R. in die übernächste Häckslerspur (Wendekreisdurchmesser 18 m) und führten im Wendekreisbereich dazu, dass nahezu 2/3 aller Stoppeln niedergefahren wurden. In den beiden Vorgewendebereichen ist von einer vollflächigen Befahrung auszugehen.

Eine Auswertung der Flächen ergab folgende Anteile:

Schlag Langenreichenbach	31,0 ha	100 %
Vorgewendeanteil	3,6 ha	11 %
Fahrspuranteil im Bestand	6,8 ha	22 %
Wendemanöveranteil (3 TrZ)	4,5 ha	14 %

Der Fahrspuranteil im Bestand, bestehend aus Längsfahrt- und Wendeanteilen, ergibt in Summe 36 %. Hier liegen insbesondere in den Wendebereichen aufgrund der reduzierten Vielfachüberrollung die Stoppeln nicht vollständig und können leichter vom Mulcher erfasst werden.

Die Stoppeln im Bereich der Längsbefahrung werden mindestens 6-fach überrollt und damit vollständig niedergefahren. Hier ist der Mulcherfolg am schlechtesten. Dieser Flächenanteil ergibt sich bei 8-reihiger Ernte und spurtreuem Fahren der Abfahrzüge in der Häckslerspur zu 22 % (< 1/4). Bei 6-reihiger Ernte und Fahren in der Spur ist demgegenüber von ca. 30–33 % Fahrspuranteil im Bestand auszugehen. Die Situation verschlechtert sich weiter bei 6-reihiger Ernte und versetztem Fahren der Transportfahrzeuge. Hierbei werden theoretisch 66 % (> 2/3) der Stoppelreihen überfahren (Abbildung 40). Auf dem Schlag verblieben in diesem Fall weniger als 30 % stehende Stoppel.

Alle heute gängigen Mulchertypen und Werkzeuge können liegende Stoppeln schlecht erfassen und zerkleinern. Erstes Ziel sollte damit die Verringerung der Überfahranteile sein. Hier ist eine mindestens 8-reihige Ernte sinnvoll. Weiterhin kann der Mulcherfolg verbessert werden, wenn die Arbeitsbreiten von Häckslern und Mulchern abgeglichen werden. Dann kann das Mulchen ‚gegen Strich‘ (entgegen der Ernterichtung) erfolgen und ein besseres Mulchergebnis erreicht werden.

## 4 Zusammenfassung

### 4.1 Mulcherfolg und Zerkleinerungsintensität

Entscheidend für einen hohen Mulcherfolg ist immer das tiefe Abtrennen der Stoppeln. Dies wird maschinenseitig durch die Schnitfführung und die Tiefenführung der Maschine bestimmt.

Die Versuche zeigten, dass alle Werkzeuge mit horizontaler Schnitfführung wie die Hammerschlegel bessere Mulcherfolge liefern als einfache Y-Messer. Auch Sichelmulcher können bei ebenen Feldern und geringen Spurtiefen gute Ergebnisse liefern. Die beste Tiefeneinstellung und auch eine optimale Tiefenführung ermöglichen jedoch Schlegelmulcher mit möglichst nah am Werkzeugrotor positionierten Radfahrwerken. Rotornahe, massive Stützwalzen ermöglichen ebenfalls eine sehr gute Tiefenführung der Werkzeuge. Sie neigen aber bei festen, kompakten bzw. etwas höheren Reststoppeln zu höherem Schnitt durch unruhigeren Lauf.

Der Mulcherfolg ist bei stehenden Stoppeln wesentlich besser. Alle Mulchsysteme erfassen niedergefahrene Stoppeln schlecht. Betrachtet man die gemittelten Reststoppellängen, so reduziert sich der Mulcherfolg bei niedergefahrenen Stoppeln auf < 50 %.

Wenn Stoppeln liegen, erreichen Schlegelmulcher mit Hammerschlegeln, wenn sie entgegen der Stoppellage (gegen Strich) gefahren werden, noch bessere Mulcherfolge (Abbildung 46).



**Abbildung 46: Arbeitsbild bei der Vorzugsvariante Hammerschlegel-Frontmulcher**

(Köllitsch 2015)

Eine tiefe Mulchereinstellung ist dabei immer wichtig. Prinzipiell können Schlegelmulcher tiefer als Sichelmulcher gefahren werden. Bei letzteren besteht bei Schnitthöhen < 5 cm die Gefahr des Bodenkontaktes der Werkzeugträger und damit Überlastung des Antriebsstranges mit Auslösen der Rutschkupplung. Zudem bieten einzig Schlegelmulcher die Möglichkeit des Frontanbaues. Damit wird vermieden, dass der Mulchertraktor zusätzlich Stängel überfährt.

Es bleibt zu klären, ob in plattgefahrenen und damit längs gebrochenen Stängeln Zünslerlarven und Pilze überwintern können.

Körnermaisstoppeln bieten aufgrund des geringeren Anteiles überfahrener und damit ‚vorgeschnittener‘ Stoppeln wesentlich bessere Voraussetzungen für einen optimalen Mulcherfolg. Hier liegen die gemittelten Reststoppellängen bei allen Varianten sicher unter 10 cm, in besten Fällen nahe 5 cm. Damit wird der Stängel kurz über oder im 1. Internodium abgeschlagen. Das ist eine Hauptvoraussetzung für das Eintreten von Feuchtigkeit und dem Zersetzen der Wurzel. So wurden im Vergleich zum Silomais in den Körnermaisversuchen mindestens um 1/3 bessere Mulcherfolge bezüglich gemittelter Reststoppellängen erzielt. Folgende wesentliche Aussagen lassen sich treffen:

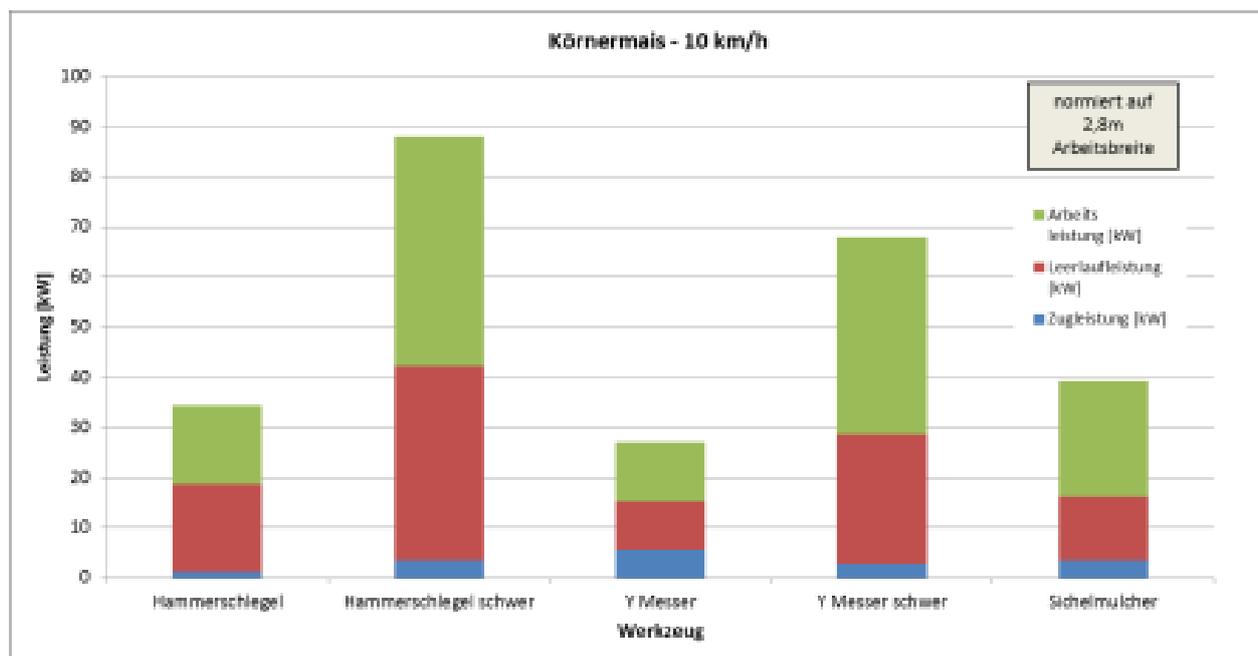
- Bei ebenen Flächen ist ein Abschlagen der Stängel im bzw. unter dem 1. Internodium (< 5 cm) bei optimaler Maschineneinstellung möglich.
- Niedergefahrene Stoppeln können mit heutiger Mulchertechnik nicht sicher erfasst und zerkleinert werden.

- Werkzeuge mit horizontaler Schnitfführung erreichen die besten Arbeitsqualitäten beim Mulchen von Mais-Ernteresten
- Für einen optimalen Mulcherfolg ist eine tiefe Mulchereinstellung und sichere Tiefenführung zwingend. Dieser Forderung genügen nur die Schlegelmulcherbauarten.

## 4.2 Leistungsbedarf

Auf beernteten Körnermaisflächen liegen die 7- bis 8-fachen Ernterestmengen im Vergleich zu Silomaisflächen. Dementsprechend höher, jedoch nicht proportional, ist der Leistungsbedarf beim Zerkleinern des aufliegenden Materials. In den Versuchsfahrten wurde ein maximal 3-facher Leistungsbedarf beim Zerkleinern von Körnermaisernteresten gemessen. Dabei ist festzustellen, dass nur ca. die Hälfte des Leistungsbedarfs auf das Abschlagen der Stoppeln, die Zerkleinerung und den Transport des Materials durch das Gehäuse entfällt (Abbildung 47). Der andere Teil entfällt hauptsächlich auf die Leerlaufleistung (Ventilationswirkung) und in geringem Maße auf die Zugleistung.

Der Leistungsbedarf ist weiterhin stark abhängig von der Mulcherbauart, aber auch von der Werkzeugbestückung. Hier liegen Y-Messer im (leichten) Schlegelmulcher lediglich bei ca. 1/3 des Leistungsbedarfes gegenüber der schweren Hammerschlegelvariante, allerdings bei deutlich schlechterer Arbeitsqualität. Bei vergleichbaren Werkzeugen wie Hammerschlegeln liegt der Leistungsbedarf der leichten Schlegelmulcherbauart bei ca. 40 %, verglichen mit der schweren, robusten Ausführung.



**Abbildung 47: Leistungsbedarf und Anteile der Mulcher im Körnermais (10 km/h)**

(Geleitshäuser und Beicha 2015)

Vor dem Hintergrund des Energiebedarfes und damit auch des Dieserverbrauches lassen sich beim Ernterestmanagement mit dem Mulcher folgende Aussagen treffen:

- Hammerschlegelrotoren erreichen eine gute Arbeitsqualität bei vertretbarem Leistungsbedarf.
- Bei großen Ernterestmengen im Körnermais kann mit Standardtraktoren bis 160 kW durchaus noch 12-reihig gemulcht werden (3er-Front-Heckkombination).
- Sichelmulcher liegen im spezifischen Leistungsbedarf im ‚Mittelfeld‘, reagieren bei tiefer Einstellung/Bodenkontakt aber schnell mit Lastspitzen (Auslösen der Rutschkupplung).
- Schwere Schlegelmulcherbauarten sind Spezialmaschinen für besondere Extrembedingungen (Bodenkontakt) und steinige Böden.

## 4.3 Standzeit der Werkzeuge

Schlegelmulcher können in sehr tiefer, bodennaher Einstellung gefahren werden. Die massiven Hammerschlegelwerkzeuge haben dann mit ihrer horizontalen Schnittkante häufiger Bodenkontakt und unterliegen höherem Verschleiß. Für diesen Einsatzfall werden höherfeste Werkzeuge auf Basis von Borstählen angeboten, die deutlich widerstandsfähiger gegen abrasiven Verschleiß durch Mineralböden sind.

Werkzeugverschleiß bedeutet prinzipiell Schneidenrückgang und eine Vergrößerung des Schneidenradius. Daraus resultieren eine Verschlechterung des Mulcherfolges, der Zerkleinerungswirkung und einen leichten Anstieg des Leistungsbedarfs.

Die Versuche zeigten, dass mit den verschleißfesten schweren Hammerschlegeln (Hs) im schweren Schlegelmulcher (Abbildung 48) eine bis zu 3-fache Laufleistung unter extremen Einsatzbedingungen gegenüber der Standard-Werkzeugvariante realistisch ist. Der verschleißbedingte Schneidenrückgang führt bei allen Schlegelmulchersystemen zu einer Reduzierung der Werkzeug-Flugkreisdurchmesser und damit zu einem höheren Schnitt von bis zu 3 cm (Hammerschlegel) bzw. 6 cm (Hammerschlegel, schwere Bauart). Wenn die Tiefeneinstellung nicht nachjustiert wird, geht dies zu Lasten des Mulcherfolges.

Weiterhin wurde eine Verschlechterung der Zerkleinerungsqualität der Maisreste mit stumpfen Schneiden beim Schlegel- und beim Sichelmulcher nachgewiesen, d. h. mehr Übergrößen > 60 mm und weniger Feinfraktion < 30 mm.



**Abbildung 48: Werkzeugrotor und Gehäuse nach tiefem Mulchen bei Bodenkontakt (schwere Mulcherausführung, MU-Farmer)**

Fortschritte im Bereich der Werkzeugentwicklungen sind hier, analog zu Bodenbearbeitungswerkzeugen, zu erwarten. Allerdings ist es wenig sinnvoll, mit den hohen Mulcher-Werkzeuggeschwindigkeiten von  $> 50$  m/s den Boden zu bearbeiten. Jedoch ‚vertragen‘ Schlegelmulcher temporären Bodeneingriff bei Unebenheiten, Wildbauen, Kuhlen oder Wühlstellen. Eine tiefe Einstellung zur Verbesserung des Mulcherfolges ist sinnvoll.

## 4.4 Optimierung der Feldbefahrung

Alle heutigen Mulchsysteme können liegende Stoppeln schlecht erfassen und zerkleinern. Im Sinne einer optimalen Ernterestzerkleinerung sollten möglichst wenige Fahrspuren bei der Ernte erzeugt werden. Dies gelingt seitens der Erntemaschinen (Abbildung 49), aber auch bezüglich der Transportkette im Körnermais besser. Dabei sind das Vorgewende und die Bereiche in Feldausfahrtnähe besonders stark befahren. Hier bleibt zu klären, wie vollständig zerfahrene/plattgewalzte Stängel phytosanitär zu bewerten sind. Auch kann über ein besonders tiefes Mulchen dieser Bereiche, insbesondere bei steinfreien Böden, diskutiert werden.

Auf dem Feld zeigten die Erhebungen deutliche Unterschiede bei den Befahranteilen in der Fläche (abzüglich Vorgewendeanteil). Typische Anteile überfahrener Stoppelreihen liegen zwischen 30 und 40 % im Silomais. Optimalvarianten erreichen bei 8-reihiger Ernte und spurtreuer Fahrweise von Häcksler und Abfahrer ca. 25 % Befahranteil in der Fläche.



**Abbildung 49: Gleisbänder am Mährescher passen zwischen Maisreihen**

Beim Fahren des Schlegelmulchers ‚gegen den Strich‘ werden bei tiefer Mulchereinstellung tendenziell bis zu 10 % höhere Mulcherfolge festgestellt. Dieses Potenzial kann mit einer auf die Häckslerschnittbreite abgestimmte Mulcherarbeitsbreite erschlossen werden. Hier können 2- oder 3-teilige Front-Heck-Kombinationen mit Hammerschlegeln eingesetzt werden und damit ein 6- bis 8-reihiges Mulchen im Silomais erreicht werden. In Körnermaisernteresten wurden noch geringere Befahranteile von < 10 % festgestellt. Hier werden mit Front-Heck-Kombinationen keine Stoppeln zusätzlich vom Mulchertraktor überfahren (Abbildung 50). Das ermöglicht die höchsten Mulcherfolge.



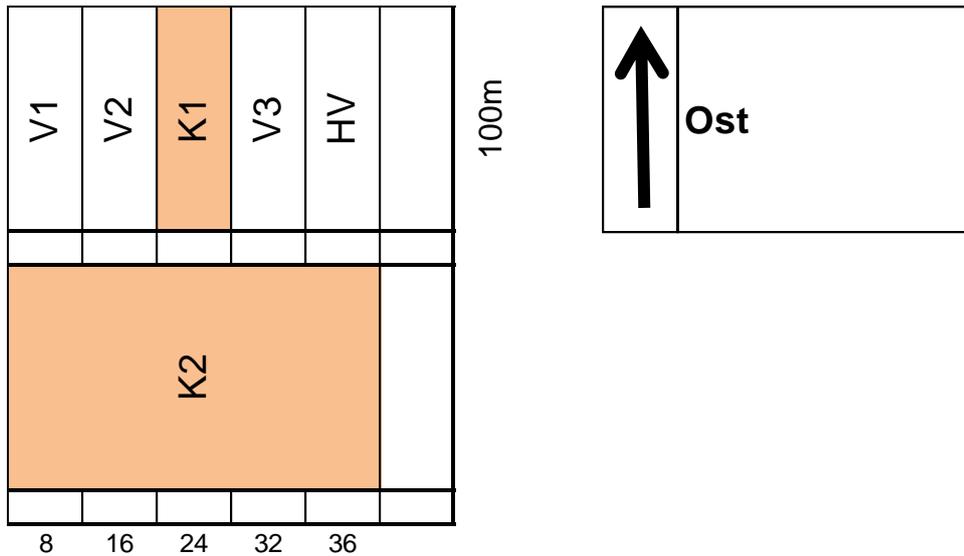
**Abbildung 50: 6-reihiges Mulchen mit 2-teiliger Front-Heck-Schlegelmulcherkombination**

# Literaturverzeichnis

- SEIDEL, C.; DÖLLING, H.; RENNER, G.; PÖLITZ, B.; JÄCKEL, U.; SCHMIDT, W. (2014): Vorsorge gegen den Maiszünsler im pfluglosen Anbau. Schriftenreihe des LfULG, Heft 20/2014;  
<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/22394>
- DEMMELE, M.; KIRCHMEIER, H (2007): Untersuchung der Wirkung von intensivem Zerkleinern des Maisstrohs beim Mähdrusch auf die Fusariumbelastung der Folgekultur Winterweizen. Forschungsbericht 04UM005, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 12/2007
- WINNIGE, B., CORZELIUS, U., FRIELINGHAUS, M. (1998). Indikation der aktuellen Erosionsgefährdung mit Hilfe der Bodenbedeckung. Mitteiln. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch. 88:569-572



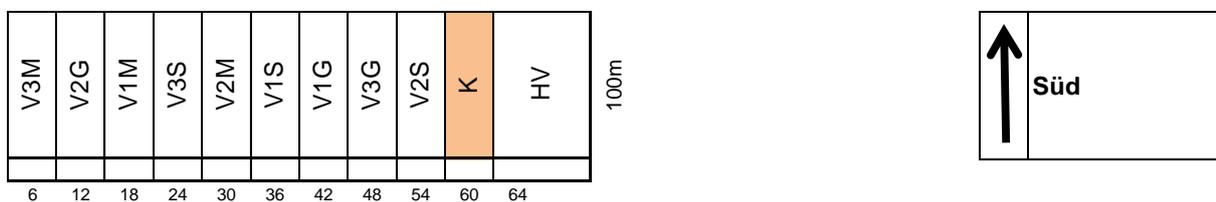
### Versuchsplan Beicha



#### Bezeichnung der Parzellen

Werkzeug	Bezeichnung	Geschwindigkeit	Bezeichnung
Vertikaler Rotor (Sichelmulcher)	V	6 km/h	1
		8 km/h	2
		10 km/h	3
Hammerschlegel, Frontanb., Vorzugsv.	HV	12 km/h	
Kontrollparzelle	Kx		

### Versuchsplan Köllitsch



#### Bezeichnung der Parzellen

Werkzeug	Bezeichnung	Geschwindigkeit	Bezeichnung	Stoppelage	Bezeichnung
Vertikaler Rotor (Sichelmulcher)	V	6 km/h	1	stehend	S
		8 km/h	2	mit Strich	M
		10 km/h	3	gegenStrich	G
Hammerschlegel, Frontanb., Vorzugsv.	HV	12 km/h			
Kontrollparzelle	Kx				

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)  
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden  
Telefon: +49 351 2612-0  
Telefax: +49 351 2612-1099  
E-Mail: [lfulg@smul.sachsen.de](mailto:lfulg@smul.sachsen.de)  
[www.smul.sachsen.de/lfulg](http://www.smul.sachsen.de/lfulg)

**Autoren:**

André Grosa, Tim Bögel und Bruno Edler v. d. Planitz  
TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen,  
Professur für Agrarsystemtechnik  
Telefon: +49 351 463-32832  
Telefax: +49 351 463-37133  
E-Mail: [grosa@ast.mw.tu-dresden.de](mailto:grosa@ast.mw.tu-dresden.de)

**Redaktion:**

Ellen Müller  
LfULG, Abteilung Landwirtschaft/Referat Pflanzenbau  
Waldheimer Str. 219, 01683 Nossen  
Telefon: +4935242 631-7208  
Telefax: +4935242 631-7299  
E-Mail: [ellen.mueller@smul.sachsen.de](mailto:ellen.mueller@smul.sachsen.de)

**Fotos:**

TU Dresden

**Redaktionsschluss:**

30.06.2016

**ISSN:**

1867-2868

**Hinweis:**

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

**Verteilerhinweis**

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.