

Abschlussbericht

zum DBU-Projekt:

Umweltverträglicher Pflanzenschutz bei der Bekämpfung des Maiszünslers durch Vermeidung von Insektiziden:

Entwicklung eines neuen Verfahrens der mechanischen Stoppelbearbeitung bei der
Körnermaisernte zur Verbesserung der Feldhygiene und Bekämpfung von
Schadinsekten

Aktenzeichen: 34090/01
Projektbeginn: 19. März 2018
Projektlaufzeit: 48 Monate

Projektträger: Carl Geringhoff GmbH & Co. KG ^[1]
Kooperationspartner: Fachhochschule Kiel - Fachbereich Agrarwirtschaft ^[2]
Verfasser: M. Sc. Sebastian Ramm ^[2], Dipl. Ing. (FH) Rüdiger Steen ^[1],
Prof. Dr. Yves Reckleben ^[2], Dr. Sven Dutzi ^[1]

Osterrönfeld, im Juni 2022

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	8
Anhangverzeichnis	15
Abkürzungsverzeichnis	15
1 Zusammenfassung	16
2 Einleitung	18
3 Stand des Wissens und Motivation	20
3.1 Maiszünsler und Fusarium: Biologie, Verbreitung und Schadwirkung	21
3.2 Möglichkeiten der Bekämpfung.....	25
3.2.1 Bt-Mais.....	25
3.2.2 Insektizide.....	26
3.2.3 Trichogramma Schlupfwespen.....	28
3.2.4 Mechanische Verfahren.....	29
4 Projektziele	42
5 Entwicklung des Horizon Star* III	43
5.1 Auswahl geeigneter Reihenaggregate als Ausgangsbasis für die Entwicklung des Horizon Star* III	44
5.2 Entwicklung der Werkzeuge für die Stoppelbearbeitung während der Ernte	45
5.2.1 Vorversuch zur Ermittlung einer geeigneten Werkzeuggeometrie in Bezug auf die Antriebsleistung.....	45
5.2.2 Maßnahmen zur Erhöhung der Standzeit der Hybridmesser.....	49
5.3 Optimierung des Höhenführungssystems zur bodennahen Führung der Werkzeuge.....	51
5.3.1 Erkenntnisse des ersten Versuchsjahres 2018 zur Weiterentwicklung der Höhenführung.....	51
5.3.2 Einführung und Optimierung eines neuen Höhenführungssystems.....	52
5.3.3 Höhenführungssensorik als Bodentastbügel.....	55
5.4 (Vor-) Entwicklung eines flexiblen Rahmenkonzepts (Razor) für größere Arbeitsbreiten.....	56
5.5 Weitere Optimierungen von Einzelkomponenten und Anpassungen für spezielle Erntebedingungen.....	59
5.5.1 Anpassung des Antriebsstrangs an die erhöhten Anforderungen.....	59

5.5.2	Optimierung der Querverteilung des Maisstrohs	60
5.5.3	Validierung unterschiedlicher Gleitkufen im Feldeinsatz.....	61
5.6	Entwicklungsstand zum Projektende und Aussicht auf zukünftige Entwicklungsschritte.....	62
6	Versuche zur vergleichenden Validierung des Horizon Star* III.....	63
6.1	Untersuchungen zur Aufbereitungsqualität der Erntereste im Körnermais	64
6.1.1	Material und Methoden	65
6.1.2	Ergebnisse.....	86
6.1.3	Diskussion der Ergebnisse.....	150
6.1.4	Diskussion der Methoden.....	154
6.2	Wirkung der Verfahren des Ernterückstandsmanagements auf Bestandsparameter und Mykotoxingehalt der Folgefrucht Winterweizen.....	156
6.2.1	Material und Methoden	156
6.2.2	Ergebnisse.....	163
6.2.3	Diskussion der Ergebnisse.....	171
6.3	Untersuchungen zum Leistungsbedarf und Kraftstoffverbrauch.....	173
6.3.1	Beesen (2021): Einfluss des Messerdesigns, der Geschwindigkeit und der Schnitthöhe auf den Leistungsbedarf, den Kraftstoffverbrauch und die Motorauslastung	173
6.3.2	Leistungsdaten aus den Versuchen zur Aufbereitungsqualität der Erntereste	182
6.3.3	Diskussion der Ergebnisse.....	184
7	Öffentlichkeitsarbeit	186
8	Fazit und Ausblick	192
	Literaturverzeichnis.....	195
	Anhang	205

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Definition der Boniturstufen zur Bewertung des Zerstörungsgrades der Maisstoppeln	69
Tabelle 2:	Übersicht zu den Versuchsvarianten an den Versuchsstandorten zur Bewertung der Aufbereitungsqualität der Erntereste.....	73
Tabelle 3:	Beschreibung der Versuchsvarianten	74
Tabelle 4:	Übersicht zur Datenerhebung an den Versuchsstandorten Steinheim und Zeutern 2018	77
Tabelle 5:	Übersicht zur Datenerhebung an den Versuchsstandorten Bückeburt und Stettfeld 2019	80
Tabelle 6:	Übersicht zur Datenerhebung an den Versuchsstandorten Kraichtal und Timmaspe 2020.....	83
Tabelle 7:	Übersicht zur Datenerhebung am Versuchsstandort Wöbs 2021.....	85
Tabelle 8:	Beschaffenheit der Bodenoberfläche außerhalb der Fahrspuren in den Parzellen der Mulcher-Variante an den Versuchsstandorten Zeutern und Steinheim	86
Tabelle 9:	Boniturergebnis zum Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen der Versuchspartellen an den Versuchsstandorten Zeutern und Steinheim	88
Tabelle 10:	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Zeutern 2018, relative Häufigkeiten je Boniturstufe	89
Tabelle 11:	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Steinheim 2018, relative Häufigkeiten je Boniturstufe	90
Tabelle 12:	Höhe der massiven Stoppelsegmente in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Steinheim 2018	91
Tabelle 13:	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Steinheim 2018, relative Häufigkeiten je Boniturstufe	92

Tabelle 14:	Höhe der massiven Stoppelsegmente in Bereichen mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Steinheim 2018	93
Tabelle 15:	Nach Fahrspuranteil gewichtete Boniturnoten am Standort Steinheim 2018	93
Tabelle 16:	Boniturergebnis zum Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen der Versuchspartzellen am Standort Stettfeld.....	96
Tabelle 17:	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Bückeberg 2019, relative Häufigkeiten je Boniturstufe	98
Tabelle 18:	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Bückeberg 2019, relative Häufigkeiten je Boniturstufe	100
Tabelle 19:	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Stettfeld 2019, relative Häufigkeiten je Boniturstufe	104
Tabelle 20:	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Stettfeld 2019, relative Häufigkeiten je Boniturstufe	106
Tabelle 21:	Boniturergebnis zum Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen der Versuchspartzellen am Standort Timmaspe	110
Tabelle 22:	Boniturergebnis zum Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen der Versuchspartzellen am Standort Kraichtal.....	111
Tabelle 23:	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Kraichtal 2020, relative Häufigkeiten je Boniturstufe	112
Tabelle 24:	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Kraichtal 2020, relative Häufigkeiten je Boniturstufe	113
Tabelle 25:	Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe der massiven Stoppelsegmente in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Kraichtal 2020.....	116

Tabelle 26:	Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe der massiven Stoppelsegmente in Bereichen mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Kraichtal 2020.....	117
Tabelle 27:	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Timmaspe 2020, relative Häufigkeiten je Boniturstufe	120
Tabelle 28:	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Timmaspe 2020, relative Häufigkeiten je Boniturstufe	122
Tabelle 29:	Boniturergebnis zum Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen der Versuchspartzellen am Standort Wöbs.....	126
Tabelle 30:	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Wöbs 2021, relative Häufigkeiten je Boniturstufe	126
Tabelle 31:	Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe der massiven Stoppelsegmente in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Wöbs 2021.....	127
Tabelle 32:	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Wöbs 2021, relative Häufigkeiten je Boniturstufe	128
Tabelle 33:	Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe der massiven Stoppelsegmente in Bereichen mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Wöbs 2021.....	128
Tabelle 34:	Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser und Variante an den Versuchsstandorten Steinheim und Zeutern	134
Tabelle 35:	Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser und Variante an den Versuchsstandorten Bückeberg und Stettfeld	139
Tabelle 36:	Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser und Variante an den Versuchsstandorten Kraichtal und Timmaspe.....	144
Tabelle 37:	Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente nach Durchmesser und Versuchsvariante über alle Versuchsstandorte...	149

Tabelle 38:	Mittlere Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Hektar nach Durchmesser und Versuchsvariante über alle Versuchsstandorte	150
Tabelle 39:	Ertrags- und Qualitätsparameter des Winterweizens nach Faktorstufenkombinationen am Versuchsstandort Zeutern (Mittelwert \pm Standardabweichung)	166
Tabelle 40:	Ertrags- und Qualitätsparameter des Winterweizens nach Faktorstufenkombinationen am Versuchsstandort Stettfeld (Mittelwert \pm Standardabweichung)	171
Tabelle 41:	Geschwindigkeitsabhängiger Durchsatz am Standort Beesen.....	177
Tabelle 42:	Reststoppelhöhen in Abhängigkeit von der Schnitthöhen-Stufe und der Konfiguration des Maispflückers am Standort Beesen.....	177
Tabelle 43:	Mittlere Leistungsdaten der Erntevorsätze und Mähdrescher aus den Versuchen zur Aufbereitungsqualität der Erntereste.....	183
Tabelle 44:	Geschwindigkeiten und Kraftstoffverbräuche der Traktoren beim Mulchen an den Versuchsstandorten Bückeberg, Kraichtal und Timmaspe	184
Tabelle 45:	Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit über die Projektlaufzeit.....	186
Tabelle 46:	Medienpräsenz des Horizon Star* III	190

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht zu Möglichkeiten der Bekämpfung des Maiszünslers.....	25
Abbildung 2:	Funktionsprinzip eines 2-Walzen-Pflückaggregates mit Horizontalhäcksler des Mais Star* Horizon (Geringhoff).....	31
Abbildung 3:	Funktionsprinzip eines 3-Walzen-Pflückaggregates mit Horizontalhäcksler des Horizon Star* II (Geringhoff)	32
Abbildung 4:	Potentielle Reihenaggregate als Ausgangspunkt für die Entwicklung des HS3	44
Abbildung 5:	CG-Leistungsmessmaschine.....	46
Abbildung 6:	Prototypen von Werkzeugen mit unterschiedlichen Geometrien.....	46
Abbildung 7:	Mittlere Antriebsleistung unterschiedlicher Werkzeugprototypen in Verbindung mit dem Reihenaggregat HS2	47
Abbildung 8:	Mittlere Antriebsleistung unterschiedlicher Werkzeugprototypen in Verbindung mit dem Reihenaggregat MSH	48
Abbildung 9:	Erste Generation der Hybridmesser des HS3 zur Ernte 2018.....	49
Abbildung 10:	Verschleißzustand der Hybridmesser der ersten Generation in Abhängigkeit von der Einsatzfläche.....	49
Abbildung 11:	Verschleißzustand der Messer der zweiten Generation im Langzeittest auf Feldern mit geringem Steinbesatz, Einsatzfläche ca. 150 ha	50
Abbildung 12:	Verschleißerscheinungen der Messer der zweiten Generation nach intensivem provoziertem Kontakt mit Fremdkörpern.....	50
Abbildung 13:	Simultaner Verlauf der Maximalleistung, der Höhe über dem Boden und der Vorfahrtsgeschwindigkeit während der Ernte.....	51
Abbildung 14:	Zusammenhang von Antriebsleistung und Arbeitshöhe des Prototypen im Feldeinsatz (halbseitig, 4 Reihen).....	52
Abbildung 15:	Beispiel für die Analyse des Zusammenhangs der gemessenen und nach Sensorwerten erwarteten Stoppelhöhen des Horizon Star III Razor.....	54
Abbildung 16:	Höhenführungssensorik als Bodentastbügel.....	55

Abbildung 17:	Einfluss von Bodelwellen innerhalb der Arbeitsbreite auf die Schnitthöhe	56
Abbildung 18:	Horizon Star III Razor mit geteiltem Grundrahmen	57
Abbildung 19:	Materialstau in der Maschinenmitte des Horizon Star III Razor.....	58
Abbildung 20:	Schwadbildung bei Schwallblechen.....	60
Abbildung 21:	Kunststoffgleitkufen	61
Abbildung 22:	Inhaltliche Gliederung der Versuche.....	63
Abbildung 23:	Übersichtskarte der Versuchsstandorte in Deutschland (Bildquelle: GDI-TH, Esri, HERE, Garmin, FAO, NOAA, USGS)	64
Abbildung 24:	Abstand des ersten Knotens von der Bodenoberfläche	66
Abbildung 25:	Bewertung der Oberflächenbeschaffenheit der Ackerfläche	66
Abbildung 26:	Boniturschlüssel zum Habitus der Maisstoppeln (verändert nach BRUNOTTE und VOßHENRICH 2017: 20)	67
Abbildung 27:	Boniturschlüssel für die Maisstoppelbearbeitung (verändert nach BRUNOTTE und VOßHENRICH 2017: 20)	68
Abbildung 28:	Bestimmung der Gesamtlänge und der Länge des massiven Stoppelanteils.....	69
Abbildung 29:	Boniturschlüssel zur Bewertung der Beschaffenheit der Bodenoberfläche (verändert nach BRUNOTTE und VOßHENRICH 2017: 20).....	70
Abbildung 30:	Beispiel des Stoppelbild vom Horizon Star* III (li.) und Horizon Star* II (re.) innerhalb des Boniturrahmens	71
Abbildung 31:	Kaskadensiebanlage des Thünen-Instituts für Agrartechnologie (verändert nach VOßHENRICH et al. 2017: 24)	71
Abbildung 32:	Totreifer Maisbesatnd an den Standorten Zeutern (li.) und Steinheim (re.) 2018.....	74
Abbildung 33:	Versuchsplan Steinheim, Körnermais 2018	75
Abbildung 34:	Versuchsplan Zeutern, Körnermais 2018	76
Abbildung 35:	Versuchsplan Bückeberg, Körnermais 2019.....	78
Abbildung 36:	Versuchsplan Stettfeld, Körnermais 2019.....	79

Abbildung 37:	Feldaufgang und Beschaffenheit der Bodenoberfläche auf den Versuchsfeldern Zeutern (li.) und Kraichtal (re.)	81
Abbildung 38:	Versuchsplan Kraichtal, Körnermais 2020	81
Abbildung 39:	Versuchsplan Timmaspe, Körnermais 2020	82
Abbildung 40:	Versuchsplan Wöbs, Körnermais 2021.....	84
Abbildung 41:	In Mulden stehende Stoppeln mit sehr kurzem unterem Stängelsegment am Standort Steinheim	87
Abbildung 42:	Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Zeutern	89
Abbildung 43:	Ergebnis der Messungen des Abstandes der ersten Knoten der Maisstängel von der Bodenoberfläche an den Versuchsstandorten Bückeberg und Stettfeld 2019	95
Abbildung 44:	Beschaffenheit der Bodenoberfläche/ Spurtiefe am Versuchsstandort Stettfeld 2019.....	96
Abbildung 45:	Beschaffenheit der Bodenoberfläche/ Spurtiefe am Versuchsstandort Bückeberg 2019.....	97
Abbildung 46:	Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Bückeberg 2019.....	99
Abbildung 47:	Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Bückeberg 2019.....	102
Abbildung 48:	Nach Fahrspuranteil gewichtete Boniturnoten am Standort Bückeberg 2019	103
Abbildung 49:	Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Stettfeld 2019.....	105
Abbildung 50:	Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Stettfeld 2019.....	107
Abbildung 51:	Nach Fahrspuranteil gewichtete Boniturnoten am Standort Stettfeld 2019.....	107

Abbildung 52:	Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Vorerntebonitur) an den Versuchsstandorten Kraichtal und Timmaspe 2020.....	108
Abbildung 53:	Ergebnis der Messungen des Abstandes der ersten Knoten der Maisstängel von der Bodenoberfläche an den Versuchsstandorten Kraichtal und Timmaspe 2020	109
Abbildung 54:	Durchschnittliche Höhe des untersten Knotens der Maispflanzen oberhalb des tiefsten Arbeitshorizonts der Stoppelpbearbeitungswerkzeuge, Versuchsstandort Timmaspe	109
Abbildung 55:	Hangneigungen und Fahrtrichtungen in den Parzellen am Versuchsstandort Kraichtal.....	114
Abbildung 56:	Aufbau der Reihenaggregate des Horizon Star* III	115
Abbildung 57:	Beschaffenheit der Bodenoberfläche/ Spurtiefe am Versuchsstandort Kraichtal 2020	118
Abbildung 58:	Nach Fahrspuranteil gewichtete Boniturnoten am Standort Kraichtal 2020	119
Abbildung 59:	Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Timmaspe	121
Abbildung 60:	Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Timmaspe	123
Abbildung 61:	Nach Fahrspuranteil gewichtete Boniturnoten am Standort Timmaspe 2020.....	124
Abbildung 62:	Ergebnisse der Vorerntebonitur am Versuchsstandort Wöbs 2021, Beschaffenheit der Bodenoberfläche und Abstand der ersten Knoten der Maisstängel von der Bodenoberfläche	125
Abbildung 63:	Beschaffenheit der Bodenoberfläche/ Spurtiefe am Versuchsstandort Wöbs 2021.....	129
Abbildung 64:	Nach Fahrspuranteil gewichtete Boniturnoten am Standort Wöbs 2021	130
Abbildung 65:	Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände, Zeutern 2018.....	131

Abbildung 66:	Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände, Steinheim 2018	132
Abbildung 67:	Anteil der unvollständig zerstörten Stängelsegmente innerhalb des Pflanzenmaterials >30 mm am Gesamtgewicht der Proben nach Varianten an den Standorten Steinheim und Zeutern	133
Abbildung 68:	Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser, Variante und Boniturstufe am Versuchsstandort Steinheim.....	135
Abbildung 69:	Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser, Variante und Boniturstufe am Versuchsstandort Zeutern	136
Abbildung 70:	Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände, Bückeberg 2019	137
Abbildung 71:	Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände, Stettfeld 2019	138
Abbildung 72:	Anteil der unvollständig zerstörten Stängelsegmente innerhalb des Pflanzenmaterials >30 mm am Gesamtgewicht der Proben nach Varianten an den Standorten Bückeberg und Stettfeld	138
Abbildung 73:	Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser, Variante und Boniturstufe am Versuchsstandort Bückeberg.....	140
Abbildung 74:	Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser, Variante und Boniturstufe am Versuchsstandort Stettfeld	141
Abbildung 75:	Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände, Kraichtal 2020	142
Abbildung 76:	Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände, Timmaspe 2020.....	142
Abbildung 77:	Anteil der unvollständig zerstörten Stängelsegmente innerhalb des Pflanzenmaterials >30 mm am Gesamtgewicht der Proben nach Varianten an den Standorten Timmaspe und Kraichtal.....	143

Abbildung 78:	Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser, Variante und Boniturstufe am Versuchsstandort Kraichtal.....	145
Abbildung 79:	Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser, Variante und Boniturstufe am Versuchsstandort Timmaspe	146
Abbildung 80:	Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände aller untersuchten Proben der Varianten HS3, HS2 und HS2+M.....	147
Abbildung 81:	Anteil der Siebrückstände >30 mm am Gesamtgewicht der Proben über alle Versuchsstandorte für die Varianten HS3, HS2 und HS2+M.....	148
Abbildung 82:	Anteil der unvollständig zerstörten Stängelsegmente innerhalb des Pflanzenmaterials >30 mm am Gesamtgewicht der Proben über alle Untersuchten Maisstrohproben der Varianten HS3, HS2 und HS2+M.....	148
Abbildung 83:	Bonitурpunkt im Winterweizenversuch.....	156
Abbildung 84:	Versuchsvarianten im Winterweizen.....	157
Abbildung 85:	Versuchsplan Steinheim, Winterweizen 2018/19.....	158
Abbildung 86:	Versuchsplan Zeutern, Winterweizen 2018/19	159
Abbildung 87:	Eindrücke vom Winterweizen am 25. November 2019 am Versuchsstandort Stettfeld	160
Abbildung 88:	Eindrücke vom Weizenbestand des Versuchsfeldes Stettfeld am 11. März 2020	160
Abbildung 89:	Versuchsplan Stettfeld, Winterweizen 2019/20.....	161
Abbildung 90:	Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades.....	162
Abbildung 91:	Bodenbedeckungsgrad mit Ernteresten des Körnermaises nach der pfluglosen Bestellung des Winterweizens am Versuchsstandort Zeutern 2018.....	163
Abbildung 92:	Ergebnisse der Zählungen der Weizentriebe am Versuchsstandort Zeutern 2018/19.....	164

Abbildung 93:	Bodenbedeckungsgrad mit Ernteresten des Körnermaises nach wendender Bodenbearbeitung und Bestellung des Winterweizens am Versuchsstandort Steinheim 2018	167
Abbildung 94:	Ergebnisse der Zählungen der Weizentriebe am Versuchsstandort Steinheim 2018/19	168
Abbildung 95:	Bodenbedeckungsgrad mit Ernteresten des Körnermaises nach der pfluglosen Bestellung des Winterweizens am Versuchsstandort Stettfeld 2019	169
Abbildung 96:	Ergebnisse der Zählungen der Weizentriebe am Versuchsstandort Stettfeld 2019/20	170
Abbildung 97:	Faktorstufenkombinationen am Versuchsstandort Beesen 2021	174
Abbildung 98:	Schematische Darstellung der Versuchsanlage am Standort Beesen 2021	175
Abbildung 99:	Mittelwerte (\pm Standardabweichung) und Trends der Leistungsaufnahme des Erntevorsatzes in Anhängigkeit von der Geschwindigkeit und dem Werkzeugtyp für die Stufen der Schnitthöhe am Versuchsstandort Beesen	178
Abbildung 100:	Mittelwerte (\pm Standardabweichung) und Trends der Motorauslastung des Mähdreschers in Anhängigkeit von der Geschwindigkeit und dem Werkzeugtyp für die Stufen der Schnitthöhe am Versuchsstandort Beesen	180
Abbildung 101:	Mittelwerte (\pm Standardabweichung) und Trends des Kraftstoffverbrauches des Mähdreschers in Anhängigkeit von der Geschwindigkeit und dem Werkzeugtyp für die Stufen der Schnitthöhe am Versuchsstandort Beesen	181
Abbildung 102:	Messestand der FH Kiel auf der DeLuTa 2018	188
Abbildung 103:	Horizon Star III Razor auf der Agritechnica 2019	189
Abbildung 104:	Verleihung des Agritechnica Innovation Award 2019 in Silber	190

Anhangverzeichnis

Anhang 1:	Mittlere relative Siebrückstände (Mittelwert \pm Standardabweichung) an den Versuchsstandorten Steinheim und Zeutern 2018	205
Anhang 2:	Mittlere relative Siebrückstände (Mittelwert \pm Standardabweichung) an den Versuchsstandorten Bückeberg und Stettfeld 2019	205
Anhang 3:	Mittlere relative Siebrückstände (Mittelwert \pm Standardabweichung) an den Versuchsstandorten Kraichtal und Timmaspe 2020	206
Anhang 4:	Liste der verwendeten Software	206

Abkürzungsverzeichnis

Bt	Bacillus thuringiensis
DON	Deoxynivalenol
FM	Frischmasse
HS2	Horizon Star* II
HS2+M	Horizon Star* II mit anschließendem Einsatz eines Schlegelmulchers
HS3	Horizon Star* III
MSH	Mais Star* Horizon
TKG	Tausendkorngewicht
TM	Trockenmasse

1 Zusammenfassung

Zunehmende Restriktionen im chemischen Pflanzenschutz, gesellschaftliche Forderungen nach umweltverträglichen Anbauverfahren und gentechnikfreien landwirtschaftlichen Produkten, klimatische Veränderungen mit Auswirkungen auf Anbaustrukturen und Schädlingsdruck, sorgen für einen zunehmenden Bedarf an nicht chemischen, umweltverträglichen Pflanzenschutzstrategien, so auch im Körnermaisbau. Der Maiszünsler und Pilze der Gattung *Fusarium* spp. sind stete Begleiter in maisbetonten Fruchtfolgen. Die mechanische Aufbereitung der Erntereste, d.h. die Zerkleinerung von Maisstroh und –stoppeln sind in diesem Zusammenhang ein wichtiger Baustein der Bekämpfungsstrategie. Durch die Zerstörung von Stängeln und Stoppeln wird dem Maiszünsler das Winterquartier genommen und die Strohrotte gefördert, wodurch den saprophytisch überdauernden Pilzen das Substrat entzogen wird.

Ziel dieses Projektes war die Entwicklung eines neuen Körnermaisernteverfahrens mit integrierter Maisstoppelzerkleinerung und intensiver Maisstrohaufbereitung, sowie der dazu notwendigen Maschinenteknik in Form eines Erntevorsatzes für Mährescher. Mit der Entwicklung des Horizon Star III (HS3) bis zur Serienreife steht zum Ende dieses Projektes der weltweit erste Maispflücker zur Verfügung, der bereits während des Ernteprozesses die Maisstoppeln bis zum Wurzelansatz auffasern kann. Dazu sind die Horizontalhäcksler dieser neuen Generation von Maispflückern mit speziellen Hybridmessern bestückt, die sowohl schneidend - als auch schlagend - auf die Maisstoppeln einwirken und ein Auffasern bis zum Wurzelansatz herbeiführen. Dies gelingt nur dann, wenn die Werkzeuge unmittelbar an der Bodenoberfläche geführt werden. Herkömmliche Höhenführungssysteme können diesem Anspruch nicht genügen. Es werden zusätzliche Sensoren sowie eine Anpassung der Signale benötigt, sodass ein neues Höhenführungssystem eingeführt wurde, das die Signale von fünf Bodentastbügeln verarbeitet. Zudem kann nur durch eine automatische Spurführung die notwendige Präzision in der Ausrichtung der Reihenaggregate zu den Maisreihen sichergestellt werden. Der erhöhte Leistungsbedarf erforderte die Neuauslegung des Antriebsstrangs. Diverse Detailoptimierungen stimmen die Maschine für den bodennahen Einsatz ab. Speziell für die Umsetzung dieses Systems mit Arbeitsbreiten >6 m wurde bereits ein flexibles Rahmenkonzept mit mittlerer Teilung des Grundrahmens und individueller Höhenführung beider Maschinenhälften entwickelt. Auf diese Weise kann auch bei größeren Arbeitsbreiten sicher der Bodenkontur gefolgt werden. Die Zerkleinerung des Maisstrohs erfolgt durch ein bewährtes 3-Walzen-System.

Herkömmliche Verfahren, vor allem der Einsatz von Schlegelmulchern, können die durch Erntefahrzeuge niedergefahrenen Maisstoppeln zumeist nicht oder nur unzureichend erfassen und bearbeiten. Der HS3 bearbeitet die Maisstoppeln bereits, bevor diese überfahren werden. Auf diese Weise kann eine gleichbleibend hohe Bearbeitungsqualität über die Gesamtfläche erzielt werden. Die durchgeführten Versuche zeigen, sofern mit der Bestellung des Maises geeignete Bedingungen geschaffen wurden, der neue Erntevorsatz 78,3% bis 90,5% der Maisstoppeln vollständig zerstören konnte, wobei nur 4,0% bis 9,3% der Maisstoppeln mit einem intakten Internodium zurückblieben. Entscheidend für den Erfolg sind eine ebene Bodenoberfläche und die korrekte Ausrichtung der Werkzeuge zur Maisreihe. Gegen derartige Störgrößen sind Mulcher robuster. Auch im Maisstroh hinterließ der HS3 nahezu keine intakten Internodien der Maisstängel. Somit ist von einer hohen Wirkung gegen den Maiszünsler auszugehen und ein zusätzliches Mulchen nicht notwendig.

Die Siebanalysen des Maisstrohs zeigten, dass der HS3 gegenüber der Vorgängerversion (ohne Stoppelzerkleinerung) eine weitere Intensivierung der Maisstrohzerkleinerung erreicht. Das Niveau von Schlegelmulchern (in Sachen Feinheit der Zerkleinerung) erreichte er jedoch nicht. Vor diesem Hintergrund gilt es unter Einbeziehung des standörtlichen Infektionsdrucks, der Fruchtfolge, des Bestellverfahrens und der Pflanzenschutzstrategie abzuwägen, ob der HS3 als alleinige Maßnahme das Mulchen vollständig ersetzen kann. In den eigens durchgeführten Versuchen in der Folgekultur Winterweizen konnte keine abschließende Bewertung hinsichtlich eines möglichen Minderungseffekts auf den DON-Gehalt erfolgen. In beiden Versuchsjahren waren die Mykotoxingehalte über alle Varianten sehr niedrig.

Auch energetisch und arbeitswirtschaftlich kann das einstufige Verfahren des HS3 Vorteile bieten. Mit einem zusätzlichen Leistungsbedarf von ca. 3,7-7,3 kW/m Arbeitsbreite benötigt der HS3 im Vergleich zu Mulchern eine geringe Leistung für die Zerkleinerung der Körnermaisstoppeln. Somit sind gegenüber einem zweistufigen Verfahren, bestehend aus Ernte mit anschließender Stoppelzerkleinerung mittels Mulcher, auch Kraftstoffeinsparungen möglich.

2 Einleitung

Der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) und Pilze der Gattung *Fusarium spp.* haben weltweit ein hohes Schadpotenzial und führen zu erheblichen Ertrags- und Qualitätseinbußen in maisbetonten Fruchtfolgen. Es bedarf wirksamer Pflanzenschutzstrategien sowohl für den konventionellen als auch den ökologischen Ackerbau, um die Negativeffekte auf ein vertretbares Maß zu begrenzen. Bestrebungen den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel weiter zu reduzieren und restriktive Zulassungsbestimmungen für Insektizide und Fungizide erhöhen den Bedarf an praktikablen, nichtchemischen Abwehr- und Bekämpfungsverfahren entsprechend den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes. Das Stroh- und Stoppelmanagement im Körnermaisbau, d.h. die mechanische Aufbereitung der Erntereste, ist in diesem Zusammenhang von zentraler Bedeutung. Beide Schadorganismen nutzen das nach der Ernte auf dem Feld zurückbleibende Pflanzenmaterial als Brücke in die nächste Vegetationsperiode.

Die Zerkleinerung des Maisstrohs und der Maisstoppeln im Nachernteverfahren durch traktorbetriebene Anbaugeräte ist von der Wissenschaft und der landwirtschaftlichen Beratung als Instrument zur Verbesserung der Feldhygiene seit langem anerkannt und wird bereits von vielen Landwirten umgesetzt. Durch die Zerstörung der Stängel und Stoppeln wird dem Maiszünsler das Winterquartier genommen und die Strohrotte gefördert, sodass den saprophytisch überdauernden Fusarien das Substrat entzogen wird. Dieser Arbeitsschritt ist jedoch zeit- und kostenintensiv. Gleichzeitig können viele Geräte, die durch Erntefahrzeuge überfahrenen und zu Boden gedrückten Maisstoppeln nicht hinreichend erfassen. Vor diesem Hintergrund wurde das Kombinieren der Arbeitsgänge Ernte und Ernterestezerkleinerung als Potential zur Verbesserung der Effizienz und Effektivität des mechanischen Ernterückstandsmanagements im Körnermais identifiziert. Auf diese Weise könnte auf den zusätzlichen Arbeitsgang im Nachernteverfahren verzichtet und sämtliche Maisstoppeln bearbeitet werden, bevor die Erntefahrzeuge sie zu Boden drücken. Es könnte Personal-, Maschinen- und Kraftstoffaufwand bei gleichzeitig verbessertem Ernterückstandsmanagement eingespart werden.

Ziel des hier vorgestellten Projekts war die Entwicklung eines entsprechenden Körnermaisernteverfahrens und der dazu notwendigen Maschinenteknik in Form eines Erntevorsatzes von Maispflückern, der unmittelbar im Erntevorgang eine Zerkleinerung der Restpflanze und Zerstörung der Maisstoppeln ermöglicht. Dieses Projekt soll somit einen Beitrag dazu leisten umweltverträgliche Pflanzenschutzstrategien in der landwirtschaftlichen Praxis weiter voranzubringen, indem durch eine mechanische, präventive Maßnahme der Schädlingsdruck reduziert und damit die Notwendigkeit des

Einsatzes chemischer oder gentechnischer Bekämpfungsmethoden verringert wird. Gleichzeitig soll die Akzeptanz in der landwirtschaftlichen Praxis für derartige Präventivmaßnahmen durch das Entfallen der Notwendigkeit eines zusätzlichen Arbeitsgangs weiter gesteigert werden. Speziell im überbetrieblichen Einsatz eines entsprechenden Erntevorsatzes können große Flächen einer Region abgedeckt werden.

Über die vierjährige Projektlaufzeit erfolgte die Entwicklung des Horizon Star* III (HS3) bis hin zur Praxisreife, sodass der HS3 bereits heute für die Landwirte als neues Verfahren angeboten und eingesetzt wird. Der Entwicklungsprozess war begleitet von praxisnahen Versuchen zur Validierung des Maschinenkonzepts und zahlreicher Tastversuche zur Erprobung von Einzelkomponenten. Die gewonnenen Erkenntnisse der bundesweit durchgeführten Versuche flossen in die stetige Weiterentwicklung des HS3 ein und erlauben eine zum bisherigen Stand der Technik vergleichende Bewertung des neuen Verfahrens.

In dem vorliegenden Abschlussbericht werden das Maschinenkonzept, die verschiedenen Entwicklungsschritte sowie die Methoden und Ergebnisse der begleitenden Versuchsserien vorgestellt und diskutiert.

3 Stand des Wissens und Motivation

Mit einer Erntemenge in Höhe von ca. 1,15 Mrd. t im Jahr 2019 nimmt Mais den größten Anteil an der Weltgetreideproduktion ein (FAO 2021: 157). Die Verwertung des Maises ist vielfältig. Der größte Anteil (58%) wird als Futtermittel eingesetzt. Mais ist somit das mengenmäßig bedeutendste Futtermittel weltweit (OECD/FAO 2021b). Weitere 16% werden zu Ethanol verarbeitet und machen mit 60% den größten Anteil an der Bioethanolproduktion zur Verwendung als Kraftstoff aus (OECD/FAO 2021a; OECD/FAO 2021b). Der Humanernährung dienen ca. 12% des Maises (OECD/FAO 2021b). In Entwicklungsländern ist vor allem Weißmais noch heute ein wichtiges Grundnahrungsmittel und liefert in Subsahara-Afrika ca. ein Viertel der Kalorienzufuhr (OECD/FAO 2021c: 132).

Grundvoraussetzung für die Erzeugung von qualitativ hochwertigem Mais als Nahrungs- und Futtermittel sowie als nachwachsenden Rohstoff in den erforderlichen Mengen sind gesunde Pflanzen. Für den Zeitraum von 2001 bis 2003 schätzt OERKE (2006: 35) die potentiellen Vorernteverluste durch Schadorganismen im Mais auf ca. 68,5% über 19 Regionen weltweit. Pflanzenschutzmaßnahmen reduzieren die Ertragseinbußen auf ca. 31,2%. Das größte Schadpotential geht dabei von Unkräutern und Ungräsern aus. Tierische Schädlinge könnten potenziell zu Ertragsverlusten in Höhe von ca. 15,9% führen. Dies ist höher als der Anteil der weltweiten Maisproduktion, der für die Humanernährung genutzt wird (s.o.). Pflanzenschutzmaßnahmen reduzieren die Ertragseinbußen auf ca. 9,6%. Andere Pathogene, vor allem pilzliche Schaderreger, haben im Weizen mit 15,6% ein höheres Schadpotential als im Mais mit 9,4%. Hier reduziert der Pflanzenschutz die Verluste auf 10,2% im Weizen und 8,5% im Mais (OERKE 2006: 35). Diese Zahlen verdeutlichen die Bedeutung des modernen Pflanzenschutzes zur Sicherung der Erträge.

Allerdings stehen aktuelle Praktiken des Pflanzenschutzes, vor allem der chemische Pflanzenschutz sowie der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen, aufgrund möglicher negativer Umweltwirkungen weltweit in vielen Regionen in Gesellschaft und Politik zur Diskussion. Auf der Ebene der Europäischen Union (EU) kommt dies unter dem Dach des European Green Deal in der Farm-to-Fork-Strategie und der Biodiversitätsstrategie für 2030 zum Ausdruck. Ziel ist es Lebensmittelsysteme fair, gesund und umweltfreundlich zu gestalten sowie eine Erholung der Biodiversität herbeizuführen. Zu den Maßnahmen zählen eine Reduktion des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel um 50% bis 2030 sowie der verstärkte Einsatz sicherer alternativer Methoden im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes (EU 2020: 9; EU 2021: 16). Der Anbau gentechnisch veränderter

Pflanzen spielt bereits heute keine nennenswerte Rolle in der EU. Nur eine Sorte ist zugelassen, die in zwei Mitgliedsstaaten zum Anbau kam. Der Großteil der Mitgliedsstaaten erlaubt den Anbau nicht (siehe Kapitel 3.2.1).

Gleichzeitig kann die Klimaerwärmung den Schädlingsdruck weiter erhöhen. DEUTSCH et al. (2018: 916–917) prognostizieren bei einem Anstieg der Oberflächentemperatur um 2°C einen Anstieg der Ertragseinbußen im Mais durch Schadinsekten in Höhe von ca. 31% bzw. 62 Mio. t. China, die USA aber auch Frankreich, die heute hohe Maiserträge erzielen und einen erheblichen Anteil der weltweiten Maisproduktion ausmachen, würden die höchsten prognostizierten Ertragsverluste durch Schadinsekten hinnehmen müssen. Die Kombination aus einem potenziell zunehmenden Schädlingsdruck bei gleichzeitiger Bestrebung den chemischen Pflanzenschutz zu reduzieren, sowie die hohe wirtschaftliche Bedeutung des Maises, auch für die Humanernährung, zeigt die Notwendigkeit Landwirte mit alternativen, nichtchemischen und umweltverträglichen Methoden, Verfahren und Maschinen, entsprechend den Grundsätzen des integrierten Pflanzenschutzes auszustatten.

3.1 Maiszünsler und Fusarium: Biologie, Verbreitung und Schadwirkung

Der Maiszünsler *Ostrinia nubilalis* (Hübner, 1796, engl. European Corn Borer) ist ein Kleinschmetterling aus der Familie der Crambidae mit einem breiten Wirtspflanzenspektrum von mindestens 200 Pflanzen (MASON et al. 2018: 50). Er kann im Wesentlichen alle Wild- und Kulturpflanzen befallen, dessen Stängeldurchmesser groß genug ist, um den Minierfraß der Larven im Inneren des Stängels zu ermöglichen (CAPINERA 2008: 1435). Er zählt zu den bedeutendsten Schädlingen an Mais in Deutschland, Europa und weltweit (MELCHINGER et al. 1998: 115; MEISSLE et al. 2010: 363; MASON et al. 2018: 2). Die Untersuchungen von LOSEY et al. (2002: 94) zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen dem Stängeldurchmesser der Wirtspflanze und der Überlebensrate der Larven. Gleichzeitig zeigte sich mit zunehmenden Stängeldurchmesser eine geringere Neigung der Larven den Stängel auf der Suche nach einer besser geeigneten Wirtspflanze zu verlassen. Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Larven war an Mais im Vergleich zu Pflanzen mit kleineren Stängeldurchmessern um bis zu 40 mal höher. In den Untersuchungen von SÁNDOR und HOLLÓ (2019: 98) zeigte sich ein Zusammenhang zwischen dem Stängeldurchmesser des Maises und der Anzahl von Maiszünslerlarven je Stängel. Je größer der Stängeldurchmesser, desto mehr Larven waren zu finden. Gleichzeitig war festzustellen, dass die Position der untersten Larve im Stängel mit steigender Anzahl von

Larven je Pflanze einen geringeren Abstand zum Boden aufwies. Unterschieden werden zwei morphologisch identische Pheromonrassen. In Mitteleuropa verursacht die Z-Rasse die größten wirtschaftlichen Schäden. Auch die E-Rasse kann den Mais befallen, wie sie es in einigen Teilen Nordamerikas tut, in Europa tritt sie am Mais hingegen nur sporadisch auf (LEHMHUS et al. 2012: 3).

Von den vier Entwicklungsstufen je Generation (Ei, Larve, Puppe, Imago), sind es die Larven, die erhebliche Schäden im Mais verursachen können. Der Maiszünsler durchläuft fünf Larvenstadien bevor er sich verpuppt. Abhängig von der geographischen Lage und Jahreszeit wechselt die ausgewachsene Larve in Dormanz und überdauert den Winter als Larve oder verpuppt sich noch im gleichen Jahr, um eine weitere Generation von Imago hervorzubringen (MASON et al. 2018: 7). In Deutschland breitete sich der Maiszünsler beginnend aus Baden-Württemberg und Bayern in Richtung Norden und Nordosten aus, wo er die Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns und Schleswig-Holstein erreicht hat. In 2007 waren in Deutschland ca. 400.000 ha vom Maiszünsler betroffen, von denen ca. 60.000 ha einen bekämpfungswürdigen Befall aufwiesen (ALBERT et al. 2008: 42). Für das Jahr 2013 ist der Befall von Mais deutschlandweit für ca. 90% aller Landkreise dokumentiert (FREIER et al. 2015: 113). In Deutschland trat der Maiszünsler zunächst nur als univoltine Populationen auf. Im Jahr 2006 wurde erstmals das Auftreten einer bivoltinen Rasse mit zwei Generationen pro Jahr im Süden beobachtet. Dies war in Europa bis dato nur aus südlicher gelegenen Staaten wie Frankreich bekannt (KANSY und ZIMMERMANN 2016: 36). Auch in Polen ist die Ausbreitung des Befallsgebietes in Richtung Norden dokumentiert (BEREŚ und KONEFAŁ 2010:326). In den europäischen Befallsgebieten tritt der Maiszünsler in ca. 20% (Ungarn) bis 60% (Spanien) der Felder auf (MEISSLE et al. 2010: 363). Die Häufigkeit, Intensität und Schadwirkung weist in Europa ein Süd-Nord-Gefälle auf, so führt der Maiszünsler in Skandinavien zu keinen bekannten oder relevanten Schäden. Dennoch, von 2010 bis 2011 wurden an einem Standort in Ostdänemark und an drei Standorten in Südschweden Larven des Maiszünslers identifiziert (LEHMHUS et al. 2012: 165).

BROOKES (2009: 6) bezifferte die jährlich von wirtschaftlich relevantem Befall durch bohrende Insekten betroffene Maisfläche in der EU auf ca. 2,25 bis 4 Mio ha, abhängig von jährlich schwankenden Befallsstärken. Der Maiszünsler wurde um 1900 vermutlich über Importe von Sorghumhirsen (broom corn) aus Ungarn und Italien in die USA eingeschleppt. Eine bivoltine Population wurde 1913 oder 1914 in der Nähe von Boston lokalisiert. Seither hat sich der Maiszünsler immer weiter in Richtung Süden bis an die Atlantikküste und in Richtung Westen bis zu den Rocky Mountains ausgebreitet. Aber auch in Richtung Norden konnte er sich bis nach Kanada hinein ausbreiten und ist von den südöstlichen Provinzen

Nova Scotia, New Brunswick und Quebec bis nach Alberta im Westen zu finden. In den nördlichen Verbreitungsgebieten herrschen univoltine Populationen vor. Weiter südwärts steigt die Anzahl der Generationen pro Jahr bis auf vier (MASON et al. 2018: 2).

Im Zuge des Klimawandels könnte sich der Maiszünsler weiter ausbreiten. So prognostizieren TRNKA et al. (2007: 81) eine schnelle Zunahme der für univoltine Populationen geeigneten Gebiete in den nächsten 20 bis 30 Jahren. In Abhängigkeit vom betrachteten Szenario könnte zwischen 2040 und 2075 nahezu die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche für Maiszünsler geeignet sein. Zudem wird unter zukünftigen Klimaszenarien wahrscheinlich die Fläche mit Eignung zur Körnermaisproduktion und somit die Fläche mit Wirtspflanzen zunehmen. So wächst auch in Schleswig-Holstein dem nördlichsten Bundesland Deutschlands das Interesse am Körnermaisbau (GRIMME und OHL 2021: 30).

Die primäre Schadwirkung des Maiszünslers geht vom Fraß der Larven im Inneren des Maisstängels und an den Maiskolben aus, in dessen Folge der Wasser-, Nährstoff- und Assimilattransport beeinträchtigt wird. Der Minierfraß im Stängelinneren führt zur Abnahme der mechanischen Stabilität der Maispflanze, es kann zum Abknicken kommen. Die Folge sind erschwerte Erntebedingungen und erhöhte Kolbenverluste (MELCHINGER et al. 1998: 115; MASON et al. 2018: 19; SAß et al. 2007: 120). Bei starkem Befall können sich die Ertragsverluste im Körnermais auf ca. 5 % bis 40 % belaufen (MEISSLE et al. 2010: 363; LENZ 2007: 261; GÖTZKE und SCHRÖDER 2007: 275).

Im Vegetationsverlauf fressen sich die Larven des Maiszünslers immer weiter in Richtung des Wurzelansatzes vor. Der überwiegende Anteil der ausgewachsenen Larven überwintert unterhalb des zweiten Knotens, im Bereich der Maisstoppel (SCHAAFSMA et al. 1996: 1589–1590; SCHNEIDER und LENZ 2017: 8). Erhebungen aus Hessen zeigen, dass sich bereits zum Zeitpunkt der Silomaisernte bis zu 70 % der Larven in diesen Stängelabschnitten befanden (SCHNEIDER und LENZ 2017: 7). Larven, die sich zum Zeitpunkt der Silomaisernte noch oberhalb der zurückbleibenden Maisstoppeln aufhalten, werden vom Feld abgefahren. Die Bedingungen im Körnermaisbau sind andere. Zum einen steht den Larven in Folge später Erntetermine eine größere Zeitspanne zum Erreichen der untersten Stängelabschnitte zur Verfügung und zum anderen verbleibt das gesamte Maisstroh meist auf dem Feld. Versuche aus Sachsen zeigten eine sieben- bis achtfach höhere Menge an Ernteresten nach Körnermaisnutzung im Vergleich zum Silomais (GROSA et al. 2016: 10). Die Larven des Maiszünslers sind mobil und können von Pflanze zu Pflanze und von Stoppel zu Stoppel wandern (SCHNEIDER und LENZ 2017: 6; ALBERT et al. 2008: 44). Unter Laborbedingungen können ausgewachsene Larven mehrere Wochen außerhalb der Wirtspflanze ohne Nahrung überleben (LOSEY et al. 2002:

94–95). Alle intakten, mit den Ernteresten auf dem Feld verbleibenden, Stängelsegmente stellen somit ein potenzielles Winterquartier für den Maiszünsler dar.

Neben den direkten Schäden begünstigen die Verletzungen der Maispflanze durch den Maiszünsler die Infektion durch pilzliche Schaderreger wie Fusarien (BLANDINO et al. 2015: 536; GATCH und MUNKVOLD 2002: 1156; SAß et al. 2007: 120; SCARPINO et al. 2015: 70; SOBEK und MUNKVOLD 1999: 505–506). Aber nicht nur im Zusammenhang mit dem Auftreten des Maiszünslers stellen Fusarien eine Problematik im Maisanbau dar. Untersuchungen der Fachhochschule Kiel zeigen, auch in Schleswig-Holstein können unter günstigen Bedingungen bis zu 90 % der Maisstoppeln durch Fusarien befallen sein (SCHLÜTER und KROPF 2010: 95).

Fusarien bilden Mykotoxine mit teils erheblicher toxischer Wirkung auf Warmblüter. Die ca. 100 bekannten Fusarium-Toxine werden in mehreren Gruppen zusammengefasst. Im Getreide- und Maisanbau sind die Trichothecene und das Zearalenon (ZEA) von hoher Bedeutung. Deoxynivalenol (DON), aus der Gruppe der B-Trichothecene, ist das am intensivsten untersuchte Mykotoxin (BÖRNER et al. 2009). DON, auch bekannt als Vomitoxin, führt bei hohen Dosen zu Übelkeit und Erbrechen. Es beeinträchtigt das Immunsystem und hemmt die Proteinbiosynthese. Mehrere Untersuchungen verschiedener Institute zeigen, dass der Einsatz DON belasteter Futtermittel zu Wachstumsbeeinträchtigungen und verringerter Futteraufnahme bei Schweinen führen kann (GUTZWILLER und GAFNER 2012: 49; PREIßINGER et al. 2016, 2016: 3). Im Vergleich zu DON weist ZEA eine geringere akute Toxizität auf. ZEA kann aufgrund der ausgeprägten östrogenen Wirkung zu Fruchtbarkeitsproblemen und Vergrößerungen der Gebärmutter bei Sauen führen (GUTZWILLER et al. 2005: 211; DÄNICKE und VALENTA 1999: 12). Grundsätzlich gelten Monogastriden, zu denen auch der Mensch zählt, als empfindlicher gegenüber Mykotoxinen als Wiederkäuer (WINKLER 2017: 4; DÄNICKE und VALENTA 1999: 12). Aufgrund der gesundheitlichen Risiken regelt die EU-Verordnung 1881/2006 unter anderem die zulässigen Höchstmengen an Mykotoxinen in unverarbeiteten Ernteprodukten und Lebensmitteln (EUROPÄISCHE UNION 2006). Die Belastung der Ernteprodukte mit Fusarien-Toxinen unterliegt von Jahr zu Jahr starken Schwankungen. Günstige Witterungsbedingungen zum Infektionszeitpunkt können zu einer erheblichen Belastung der Ernteprodukte führen. So ergaben die Untersuchungen im Rahmen der Besonderen Ernte- und Qualitätsermittlung (BEE) des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im „Fusarien-Jahr“ 2012, dass 6 % der untersuchten Weizenproben den DON-Grenzwert von 1250 µg/kg überschritten.

Fusarien können sich saprophytisch, auf abgestorbenem Pflanzenmaterial, weiterentwickeln und überdauern. Auf dem Feld verbleibende Erntereste können somit als

„Brücke“ in die Folgekultur dienen. Speziell Körnermais hinterlässt große Mengen an Ernteresten, die langsam verrotten. Ohne zusätzliche Zerkleinerung überdauern sie häufig eine weitere Vegetationsperiode. Körnermaisstroh und –stoppeln stellen somit ein ideales Substrat für Fusarien dar. Infizierte Erntereste an der Bodenoberfläche sind eine stete Infektionsquelle für die Folgekultur. Von Ihnen ausgehend kann die Infektion durch Askosporen und Konidien erfolgen. Ausgehend von den im Boden liegende Ernterückständen erfolgt die Infektion über Wurzel oder Halmbasis (SCHLÜTER und KROPF 2010; DILL-MACKY und JONES 2000).

3.2 Möglichkeiten der Bekämpfung

Die Möglichkeiten zur Bekämpfung des Maiszünslers lassen sich in vier Gruppen von Verfahren gliedern (siehe Abbildung 1). Während der Anbau gentechnisch veränderter Bt-Maissorten, der Einsatz chemischer und biologischer Insektizide sowie Trichogramma Schlupfwespen die Maisbestände direkt schützen, wirken die mechanischen Verfahren präventiv, indem die Population von Maiszünslarven nach bzw. bei der Ernte dezimiert wird.

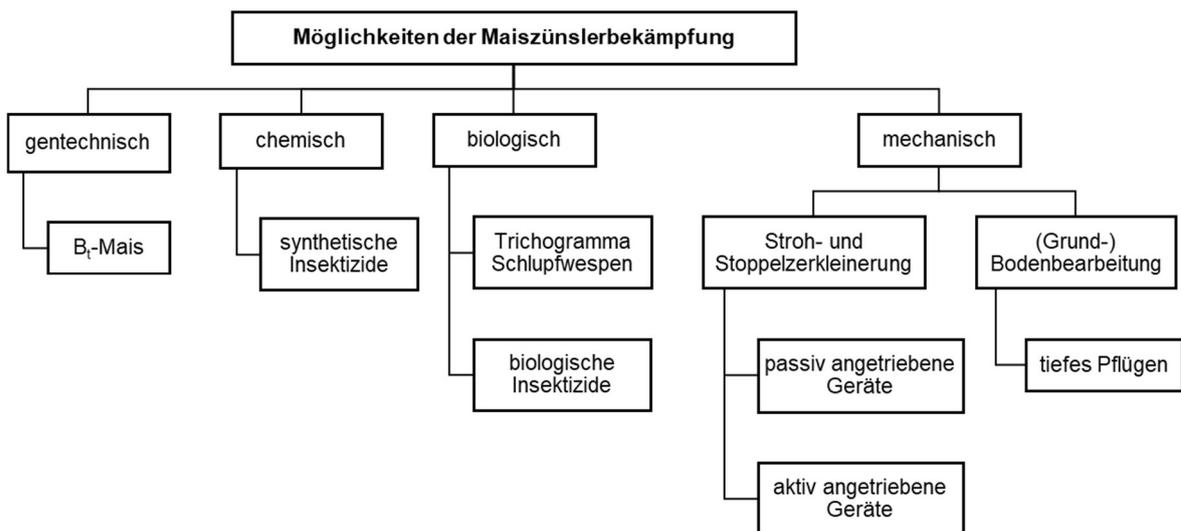


Abbildung 1: Übersicht zu Möglichkeiten der Bekämpfung des Maiszünslers

3.2.1 Bt-Mais

Durch Genveränderung produziert Bt-Mais ein oder mehrere Cry-Toxine. Das codierende Gen stammt ursprünglich aus dem Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis*. Die spezifisch wirkenden Toxine erreichen hohe Wirkungsgrade in der Bekämpfung des Maiszünslers. Mit dem Fraß an der Maispflanze nehmen die Larven das Toxin auf, stellen schnell die Fraßaktivitäten ein und sterben innerhalb von ein bis zwei Tagen. Damit ist der Mais über die gesamte Vegetationsperiode witterungsunabhängig geschützt (MEISE 2003; MASON

et al. 2018: 24; MÜCHER 2004). Bt-Mais erreicht Wirkungsgrade von 97-100% und kann damit den Maiszünsler sicher kontrollieren (LENZ 2007: 263; SCHRÖDER et al. 2006: 146–148). Neben der direkten Wirkung auf den Maiszünsler kann durch die Reduktion der Fraßschäden eine indirekte Wirkung auf die Infektion durch pathogene Pilze erzielt werden. GATCH und MUNKVOLD (2002: 1156) stellten in zwei von drei Versuchsjahren einen verringerten Anteil durch *Fusarium* infizierte Maisstängel in Bt-Maissorten im Vergleich zu den isogenen Hybriden fest.

In den USA und Kanada werden ca. 90% der Maisanbaufläche mit Bt-Mais bestellt (MASON et al. 2018: 24). Vor dem großflächigen Anbau werden die jährlichen Kosten durch Ertragsverluste und Bekämpfungsmaßnahmen für die USA auf 1 Mrd. \$ geschätzt (MASON et al. 2018: 2). In Europa ist die Situation eine andere. Mit der Bt-Maissorte MON 810 ist derzeit nur eine gentechnisch veränderte Pflanze zum Anbau in der EU zugelassen. Sie wurde im Jahr 2020 auf ca. 102.000 ha angebaut. Dies entspricht 1,14% der Maisanbaufläche der EU. Der Anbau beschränke sich auf zwei Mitgliedsstaaten, wobei 96% der Anbaufläche auf Spanien und 4% auf Portugal entfielen. Seit 2015 haben 19 EU-Mitgliedsstaaten auf Grundlage der EU-Richtlinie 2015/412 ihr gesamtes Territorium oder zumindest einzelne Regionen vom Geltungsbereich der MON 810 Zulassung ausnehmen lassen, womit der Anbau ausgeschlossen ist. Durch das Drängen des Handels auf gentechnikfreie pflanzliche Produkte und tierische Erzeugnisse aus Nutztierbeständen mit gentechnikfreier Fütterung stellten die Landwirte in weiteren Staaten, wie Tschechien, die Slowakei (seit 2017) und Rumänien (seit 2016), auch ohne Verbot den Anbau des Bt-Maises ein (USDA 2020: 8–10). In Deutschland ist der Anbau von Bt-Mais bereits seit 2009 nicht möglich (FREIER et al. 2015: 114). Im Großteil der EU steht Bt-Mais für die Bekämpfung des Maiszünslers somit praktisch nicht zur Verfügung.

3.2.2 Insektizide

Die insektizide Wirkung der Bt-Proteine war bereits lange vor der Einführung von Bt-Mais bekannt. Bereits 1938 kam das erste Bt-Präparat auf den Markt. Der großflächige Einsatz folgte in den 1960er Jahren. 1964 erfolgte die Zulassung des ersten Bt-Präparates in Deutschland (KAISER-ALEXNAT 2012: 9). Bt-Präparate haben einen Anteil von ca. 80-90% an den biologischen Insektiziden (BERNHARD et al. 1997: 59). Zur Bekämpfung des Maiszünslers werden sie aufgrund vergleichsweise hoher Kosten bei Wirkungsgraden von 60-70% kaum eingesetzt (LANGENBRUCH 2007: 241).

Weitere biologische Präparate enthalten den Wirkstoff Spinosad, eine Mischung aus den Metaboliten Spinosyn A und Spinosyn D des Bodenbakteriums *Saccharopolyspora*

spinosa. SCHRÖDER et al. (2006: 149) berichten für den Wirkstoff Spinosad (Spintor) über Wirkungsgrade auf dem Niveau der Pyrethroide. BAILEY et al. (2005: 39) stellten in zweijährigen Versuchen in Zuckermais (SUCCESS® 480SC) ebenfalls vergleichbare Wirkungsgrade zu den chemischen Wirkstoffen Carbofuran und lambda-Cyhalothrin (Pyrethroid) fest.

Versuche und Praxisanwendungen verschiedener chemischer Insektizide in Hessen, Brandenburg und Thüringen ergaben Wirkungsgrade zwischen 60% und 97,5% (LENZ 2007: 262; GÖTZKE und SCHRÖDER 2007: 275; KLINGENHAGEN et al. 2014: 70). In Frankreich durchgeführte Versuche (Pyrethroide) zeigten mit 78% ebenfalls einen Wirkungsgrad in diesem Bereich. Gleichzeitig konnte die indirekte Wirkung des Insektizideinsatzes auf den DON-Gehalt der Maiskörner zur Ernte durch die verringerten Fraßschäden mit einem Wirkungsgrad von 82% festgestellt werden (FOLCHER et al. 2012: 304).

Die Herausforderungen beim Einsatz biologischer und chemischer Insektizide bestehen in der Bestimmung des Anwendungszeitpunktes sowie der technischen Umsetzung der Applikation. Das Zeitfenster für den Einsatz der Insektizide ist kurz. Bereits wenige Tage nach dem Schlupf bohren sich die Larven in den Maisstängel und sind vor den Insektiziden weitgehend geschützt. GAGNON et al. (2019: 260) prognostizieren im Zuge des Klimawandels eine schnellere Entwicklung der Larven und damit ein kürzeres Zeitfenster für den Einsatz von Insektiziden oder Trichogramma Schlupfwespen.

Der Entwicklungszyklus des Maiszünslers verläuft regional (eine oder mehrere Generationen pro Jahr) und witterungsabhängig unterschiedlich. Entsprechend sind Bekämpfungsmaßnahmen auf diese Gegebenheiten immer wieder anzupassen. Versuche aus Hessen haben gezeigt, dass gute Wirkungen dann zu erzielen sind, wenn die Behandlung direkt zum Larvenschlupf erfolgt (LENZ 2007: 262). Die Larven schlüpfen unter deutschen Klimabedingungen ca. 9-14 Tage nach der Eiablage (WYSS 2012: 7). Damit sollte die Behandlung 5 bis 8 Tage nach dem ersten Flughöhepunkt des Maiszünslers erfolgen (HOMMEL 2012: 19). In Gebieten mit zwei Populationen von Maiszünslern pro Jahr, sind es vor allem die Larven der zweiten Generation, die Fraßschäden an den Kolben verursachen. BLANDINO et al. (2010: 80) ermittelten in diesem Zusammenhang durch Versuche in Italien den besten Behandlungserfolg hinsichtlich Fraßschäden an den Maiskolben, Fusarium-Kolbenfäule und Fumonisin-Kontamination durch die Applikation des Insektizids (Contest, BASF; Pyrethroid) 7 bis 10 Tage vor dem Flughöhepunkt der Falter bei konstanter Zunahme der Flugaktivität.

In den Befallsregionen stellen die amtlichen Pflanzenschutzdienste regionale Daten zur aktuellen Entwicklung des Maiszünslers zur Verfügung. Diese fließen in Prognosemodelle ein und können beispielsweise über das Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion e.V. abgerufen werden (ISIP 2020). Basis sind Wetterdaten, Verpuppungskontrollen über Stoppelkäfige, Fänge von Zünslern über Licht- und Pheromonfallen sowie Feldbeobachtungen (ZELLER 2020: 16–17). Ergänzt durch Bestandskontrollen durch die Landwirte und Berater kann so ein Überschreiten von Schadschwellen und der bestmögliche Behandlungstermin ermittelt werden (HOMMEL 2012: 18).

Da der Mais zum Applikationszeitpunkt bereits eine Wuchshöhe zwischen 1,40-1,80 m erreicht, geht der Einsatz herkömmlicher Applikationstechnik mit hohen Durchfahrtsverlusten einher, die nur durch den Einsatz von Spezialtechnik wie selbstfahrenden Feldspritzen mit hydraulisch ausfahrbaren Fahrwerken oder Stelzenschleppern reduziert werden können (LENZ 2007: 261; KLINGENHAGEN et al. 2014: 72).

3.2.3 Trichogramma Schlupfwespen

Eine weit verbreitete Methode der biologischen Bekämpfung des Maiszünslers ist der Einsatz von Trichogramma Schlupfwespen (v.a. *Trichogramma brassicae*). Die Ausbringung des natürlich vorkommenden Nützlings erfolgt in Form von Kärtchen oder Kugeln/ Kapseln mit Trichogramma-Puppen. Die Schlupfwespen parasitieren die Gelege des Maiszünslers, indem sie ihre eigenen Eier in die der Maiszünslers legen. Trichogramma Schlupfwespen werden im Saatmais bereits seit den 1980er Jahren eingesetzt (KANSY und ZIMMERMANN 2016: 36). Bei händischer Ausbringung werden ca. 20 min/ha benötigt (ALBERT et al. 2008: 46). Zunehmend setzt sich jedoch der Einsatz von Drohnen bzw. Multikoptern durch, die Kapseln aus der Luft zielgenau abwerfen und somit nur ca. 3-5 min/ha benötigen (SPRICH 2014: 2). Bei größeren Einsatzflächen können auch größere Luftfahrzeuge wie Gyrokopter zum Einsatz kommen. BZOWSKA-BAKALARZ et al. (2020: 2245) erproben diese Technik in Polen und konnten ca. 80 ha in 40 min behandeln.

Wie auch beim Einsatz von Insektiziden ist die Terminierung der Ausbringung der Trichogramma Schlupfwespen entscheidend zur Erzielung eines hohen Wirkungsgrades (MELCHINGER et al. 1998: 116). RAZINGER et al. (2016: 250) kamen in zweijährigen Versuchen auf eine Parasitierungsrate der Eigelege des Maiszünslers von 80% in Italien, 71% in Frankreich und 49% in Slowenien. Die Versuche zeigten aber auch den Einfluss der Witterung auf die Wirksamkeit der biologischen Bekämpfungsmaßnahme. So konnte in Folge hoher Temperaturen im Jahr 2012 in Slowenien nur eine Parasitierungsrate von 17% erreicht werden (RAZINGER et al. 2016: 252). Im Durchschnitt von sechs Versuchsjahren erzielten die Trichogramma Schlupfwespen in denen von BZOWSKA-BAKALARZ et al.

(2020: 2246) in den Jahren 2013-2018 in Polen durchgeführten Versuchen einen Wirkungsgrad von 72% (59,3%-83,5%). Gleichzeitig konnten gegenüber den unbehandelten Kontrollen verringerte Mykotoxingehalte und höhere Erträge nachgewiesen werden. Auch in Deutschland durchgeführte Versuche kommen auf vergleichbare Ergebnisse (KANSY und ZIMMERMANN 2016: 38; LENZ 2007: 263). Im Oderbruch durchgeführte Versuche erreichten hingegen nur einen Wirkungsgrad von 31% bei zweimaliger Ausbringung (SCHRÖDER et al. 2006: 148). Versuche mit zweimaliger Ausbringung von Trichogramma Schlupfwespen im Jahr 2016 in Bayern erreichten wiederum einen Wirkungsgrad von 83% (ZELLNER et al.). KANSY und ZIMMERMANN (2016: 38) stellen im langjährigen Vergleich einen um ca. 10% geringeren Wirkungsgrad als bei chemischen Insektiziden fest. Die Ausführungen zeigen die Variabilität im Wirkungsgrad, abhängig von Standort- und Witterungsbedingungen.

3.2.4 Mechanische Verfahren

Alle bislang angeführten Verfahren der Maiszünslerbekämpfung (gentechnisch, chemisch, biologisch) schützen die Maisbestände direkt, d.h. in der aktuellen Vegetationsperiode. Die mechanischen Verfahren wirken hingegen präventiv. Ziel ist es, die Anzahl überwinternder Larven auf ein Minimum zu reduzieren um mit einem möglichst geringen Befallsdruck in die nächste Anbauperiode zu starten. Sie umfassen Maßnahmen zur Zerkleinerung und Auffaserung der Erntereste sowie der Bodenbearbeitung, vor allem das Pflügen. Die mechanischen Maßnahmen können nur dann ihre Wirkung entfalten und den Schädlingsdruck unterhalb der wirtschaftlichen Schadschwelle halten, wenn sich die Landwirte einer Region flächendeckend an den Maßnahmen beteiligen. Andernfalls können die Falter ausgehend von ungenügend bearbeiteten Flächen neue Bestände anfliegen (UPPENKAMP 2020: 33; FREIER et al. 2015: 119).

Die Larven des Maiszünslers überwintern im Inneren des Maisstängels (siehe Kapitel 3.1). Durch unterpflügen der Erntereste kann verhindert werden, dass die Falter nach dem Puppenstadium die Bodenoberfläche erreichen (UPPENKAMP 2012: 20). Gleichzeitig wird der Infektionsdruck durch Fusarien in der Folgekultur gesenkt (BEYER et al. 2006: 242; DILL-MACKY und JONES 2000: 74; KIRCHMEIER und DEMMEL 2018, 2018: 17). An erosionsgefährdeten Standort, wie beispielsweise in den Hanglagen süddeutschlands, steht der Einsatz des Pfluges jedoch im Zielkonflikt mit dem Erosionsschutz (LENZ 2007: 261; BARTELS und RODEMANN 2003: 130). Zudem können die großen Mengen von Ernteresten zur Bildung von Strohmatte mit entsprechenden Negativeffekten für die Folgekultur führen (UPPENKAMP 2012: 20). Auf der anderen Seite kann der Wechsel zu

reduzierten Bodenbearbeitungssystemen zu einer Zunahme der Überwinterungsrate der Maiszünsler führen (MASON et al. 2018: 40).

Die Maßnahmen zur Zerkleinerung und Auffaserung der Erntereste zielen darauf ab den Larven das Winterquartier zu nehmen, in dem der Maisstängel aufgeborchen wird, oder sie direkt zu zerstören. Gleichzeitig wird die Strohrotte gefördert und das Fusarium- Potential in der Folgekultur gesenkt (FREIER et al. 2015: 119; SCHNEIDER und LENZ 2017: 9). Zudem beeinflusst die Zerkleinerungsintensität die microbielle Aktivität, die Nährstoffdynamik und den Aufbau organischer Substanz im Boden (STETSON et al. 2018).

In Folge der bereits langanhaltenden Maiszünsler- und Fusarium-Problematik wurden diverse Geräte zur Zerkleinerung und Zerstörung des Maisstrohs und der Maisstoppeln entwickelt. Die Zerkleinerung der Erntereste beginnt jedoch in der Regel bereits bei der Ernte.

3.2.4.1 Stand der Technik: Körnermaisernte

Körnermais wird heute flächendeckend mittels Mähdrescher und Maispflückvorsatz geerntet. Je nach Region sind die Erntevorsätze allerdings sehr unterschiedlich ausgestattet. Dies betrifft sowohl den Reihenabstand als auch die Intensität der Strohzerkleinerung. Die Bandbreite der Reihenweiten liegt weltweit zwischen 50 cm und 2,60 m. In seltenen Fällen kommen auch engere Reihenabstände wie 37,5 cm vor. Im Mittleren Westen der USA dominiert der Reihenabstand von 30 Zoll (76,2 cm). Circa 90% der Maispflücker werden entsprechend ausgerüstet. Am weitesten verbreitet sind 12-reihige Maschinen mit starrer Rahmenbauweise. Horizontalhäcksler zur Strohzerkleinerung und tiefen Stoppelschnitt werden nur an ca. 5% der Maschinen verbaut. Ein kleiner Anteil der Erntevorsätze von ca. 10% wird für engere Reihenabstände von 20–22 Zoll (50,8–55,9 cm) ausgestattet. In Europa wird großer Wert auf die Zerkleinerung des Maisstrohs und das saubere Abtrennen der Pflanze vom Maisstoppel gelegt. So werden ca. 90% aller Maispflücker mit Horizontalhäcksler ausgeliefert. Die Reihenabstände liegen klassischerweise zwischen 70 cm und 80 cm. In den meisten europäischen Ländern dominiert der Reihenabstand von 75 cm. In Teilen Österreichs, der Ukraine und Russland wird die Reihenweite von 70 cm genutzt. Während in Südfrankreich ein Reihenabstand von 80 cm dominiert, wird der Mais im Rest des Landes auf 75 cm Reihenabstand bestellt. Ein wachsendes Interesse an engeren Reihenabständen von 45-50 cm ist zu erkennen. In Deutschland finden sich vor allem sechs-, acht- und zwölf-reihige Maispflücker, wobei sechs- und acht-reihige Maschinen für den Straßentransport häufig klappbar ausgeführt sind (DUTZI 2019: 18–19).

Die typischen Pflückaggregate sind mit zwei Pflückwalzen ausgerüstet (Abbildung 2). Sie ziehen die Maispflanze durch die Pflückplatten hindurch und streifen den Kolben ab. Dieser wird dem Mähdrescher zugeführt. Das übrige Pflanzenmaterial wird auf dem Feld abgelegt. In der Ausgestaltung der Pflückwalzen gehen die Hersteller unterschiedliche Wege in der Länge, dem Durchmesser und der Form (gradlinig oder konisch). Je nach Ausstattung mit Schneidkanten bzw. Messerleisten, wird das Maisstroh bereits durch die Pflückwalzen gequetscht und (vor-) zerkleinert. Die verschiedenen Modelle von Maispflückern unterschiedlicher Hersteller unterscheiden sich teils erheblich in der Zerkleinerungsintensität des Maisstrohs und der Leistungsaufnahme. Aftermarket-Produkte eingeschlossen, finden sich Pflückwalzen mit vier bis zehn Schneidkanten bzw. Messerleisten am Markt. Die Schneidkanten der gegenüberliegenden Pflückwalzen können entweder ineinander eingreifen oder einander gegenüberstehen. Die Vielfalt ist vor allem den unterschiedlichen Erntebedingungen weltweit als auch der Optimierung hinsichtlich verschiedener Zielstellungen wie z.B. der Leistungsaufnahme, der Zerkleinerung und/ oder Auffaserung der Erntereste geschuldet.

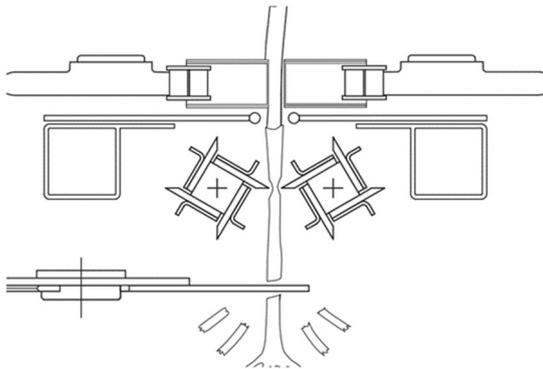


Abbildung 2: Funktionsprinzip eines 2-Walzen-Pflückaggregates mit Horizontalhäcksler des Mais Star* Horizon (Geringhoff)

Die von Firma Geringhoff entwickelte 3-Walzen-Technik ergänzt die zwei Pflückwalzen um einen dritten, mit Schneidscheiben bestückten Rotor. Die Schneidscheiben des gegenläufig rotierenden Rotors greifen in die Schlitze der zwei Pflückwalzen ein. In der Bewegung der Pflanze entlang der Pflückwalzen wird eine nahezu diagonale Schnitfführung durch den Maisstängel erreicht (Abbildung 3).

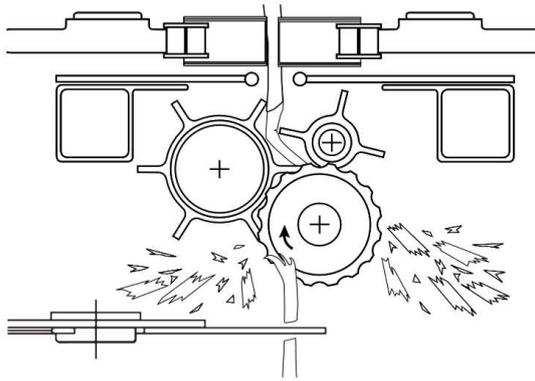


Abbildung 3: Funktionsprinzip eines 3-Walzen-Pflückaggregates mit Horizontalhäcksler des Horizon Star* II (Geringhoff)

Der optionale Horizontalhäcksler trennt die Pflanze vom Stoppel und zerkleinert das Maisstroh im freien Schnitt. Die Maisstopfeln verbleiben unversehrt auf dem Feld. Beim überwiegenden Anteil der Maispflücker mit Horizontalhäckslern sind diese mit je zwei Messern ausgerüstet (vgl. Abbildung 2, Abbildung 3). Die Modelle der verschiedenen Anbieter unterscheiden sich vor allem in der Position der Horizontalhäcksler hinter oder seitlich der Reihenaggregate und damit auch in der Länge der Messer. Das Modell QUASAR der Firma Capello s.r.l. ist hingegen mit drei Messern je Horizontalhäcksler ausgerüstet (N.N. o.J.d). Firma Olimac s.r.l. bietet mit dem Modell Drago GT den ersten Maispflücker mit zwei Horizontalhäckslern je Pflückaggregat an. Sie sind links und rechts seitlich der Reihenaggregate in Fahrtrichtung versetzt zueinander auf unterschiedlichen Höhen angeordnet und rotieren im Scherenschnitt-Prinzip gegenläufig (N.N. o.J.f).

HANDLER et al. (2005) untersuchten drei sechsstufige Maispflücker der Firma Geringhoff hinsichtlich der Aufbereitung der Erntereste. Verglichen wurden die Modelle Mais Star* (2-Walzen-Pflückaggregat mit Horizontalhäckslern), Rota-Disc* (3-Walzen-Pflückaggregat) und Horizon Star* (3-Walzen-Pflückaggregat mit Horizontalhäckslern) für eine Reihenweite von 70 cm. Messungen der Stängelfragmente zeigten, dass die 3-Walzen-Pflückaggregat 90% der Stängelmasse kürzer als 20 cm häckselten. Der Anteil von Stängelmateriale länger als 30 cm lag unter 2%. In der Variante Mais Star* waren lediglich 62% der Stängelmasse kürzer als 20 cm und 18% länger als 30 cm. Im Vergleich zum 2-Walzen-Pflücksystem mit Horizontalhäcksler erreichten die 3-Walzen-Systeme eine signifikant intensivere Strohzerkleinerung. Neben der Größe der Fragmente ist auch deren Struktur für eine zügige Strohhütte entscheidend. Die Stängelfragmente sollten aufgebrochen werden, sodass eine möglichst große Oberfläche geschaffen wird und Wasser eindringen kann. HANDLER et al. (2005) stellten fest, dass im Falle der 2-Walzen-Pflückaggregat ca. 68% der Stängelfragmente aufgespalten wurden. Die 3-Walzen-Pflückaggregat erreichten über 90%. HANDLER et al. (2005) stellten jedoch fest, dass die

Schnittflächen durch den Maisstängel, anders als von Schlegelmulchern bekannt, überwiegend glatt waren. Deutliche Unterschiede zeigten sich auch in der Leistungsaufnahme der Maispflücker während der Ernte. Bei einer Geschwindigkeit von konstant 7 km/h benötigte der Mais Star* trotz geringster Zerkleinerungsintensität die höchste Antriebsleistung von durchschnittlich 60,3 kW (10,05 kW/Reihe). Das 3-Walzen-System Rota-Disc* zeigte mit durchschnittlich 43,9 kW (7,32 kW/Reihe) eine erheblich geringere Leistungsaufnahme. Trotz des zusätzlichen Horizontalhäckslers benötigte der Horizon Star* mit 53,8 kW (8,97 kW/Reihe) signifikant weniger Leistung als der Mais Star*.

VOGEL und BELOW (2019: 1–28) untersuchten ob sich durch Maßnahmen des Ernterückstandsmanagements und durch den Einsatz von Ammoniumsulfat oder eines Bodenhilfsstoffes (Extract PBA, Loveland Products) zur Rotteförderung unter zwei Intensitätsstufen (Bestandsdichte, Düngung, Pflanzenschutz) und zwei unterschiedlichen Maissorten die Ertragsdifferenz zwischen langjähriger Mais-Monokultur und einer Mais-Sojabohnen-Fruchtfolge schmälern lässt. Dabei kamen nicht näher beschriebene Standard-Pflückwalzen (OEM) im Vergleich zu Calmer BT® Chopper Pflückwalzen (Calmer Corn Heads Inc.; Aftermarket) zur intensiveren Strohzerkleinerung zum Einsatz (2-Walzen-Pflückaggregate). Die Calmer BT® Chopper Pflückwalzen arbeiten mit jeweils zehn ineinandergreifende Messerleisten und können das Maisstroh nach Herstellerangaben in ca. 2,5-5 cm (1“-2“) kleine Fragmente häckseln (N.N. o.J.g). VOGEL und BELOW (2019: 9) stellten fest, dass durch die intensivere Zerkleinerung des Maisstrohs die Abbaurate über Winter signifikant erhöht wurde. Nach Einsatz der Calmer BT® Chopper Pflückwalzen verrotteten, bezogen auf das im Herbst des Vorjahres ermittelte Gewicht in Trockenmasse, 46% der Ernterückstände über Winter. Dies sind 7% mehr als nach dem Einsatz der Standard-Pflückwalzen. Es konnte eine leichte Verbesserung des Feldaufgangs der Folgefrucht festgestellt werden. Zudem zeigten sich signifikante Unterschiede im Kornertrag. Gemittelt über die Intensitätsstufen erreichte die Variante mit intensiver Strohzerkleinerung in der Mais-Monokultur einen um 0,53 t/ha höheren Ertrag gegenüber der Variante mit Standard-Pflückwalzen (VOGEL und BELOW 2019: 16).

Diese Aufführungen zeigen die Bandbreite der technischen Lösungen zur Zerkleinerung des Maisstrohs während der Körnermaisernte zum aktuellen Stand der Technik sowie die damit einhergehende Bedeutung für phytosanitäre und pflanzenbauliche Fragestellungen. Die aktuell am Markt erhältlichen Maispflücker bearbeiten nur das Maisstroh, nicht die Maisstoppeln. Diese müssen gegebenenfalls im Nachernteverfahren bearbeitet werden. Je nach gewähltem Verfahren bzw. Gerät wird dabei die Arbeitsqualität vom Habitus der Maisstoppeln beeinflusst. So können abgeknickte und zu Boden gedrückte Maisstoppeln

durch einige Geräte nicht oder nur unzureichend bearbeitet werden (siehe Kapitel 3.2.4.2). Der überwiegende Anteil moderner Mähdrescher überfährt während der Körnermaisernte kontinuierlich zwei Reihen von Maisstoppeln. Dies entspricht bei achtreihiger Ernte 25% der Maisstoppeln. Hinzu kommen Wendemanöver am Vorgewende sowie die Fahrspuren eingesetzter Transportfahrzeuge, sodass unter Praxisbedingungen regelmäßig mit einem Anteil überfahrener Maisstoppeln von >30% auszugehen ist. Verstärkend hinzukommt, dass der Großteil der Maispflücker im Bereich der Fahrspuren des Mähdreschers mit Stoppelknickern ausgerüstet sind, die die Maisstoppeln gezielt zu Boden drücken, um Schäden an den Reifen oder Bandlaufwerken der Erntemaschine vorzubeugen.

3.2.4.2 Stand der Technik: Geräte zur Zerkleinerung von Maisstroh und -stoppeln

Zur Zerkleinerung und Auffaserung von Maisstoppeln und –stroh nach der Ernte wird eine Vielzahl unterschiedlicher Geräte eingesetzt. Die Bandbreite reicht von gewöhnlichen Bodenbearbeitungsgeräten bis hin zu speziell für diesen Einsatz entwickelter Maschinen. Die verschiedenen Systeme unterscheiden sich deutlich im Einsatzspektrum, dem Investitionsbedarf, der Flächenleistung und dem Leistungsbedarf aber vor allem in der Arbeitsqualität, d.h. in der Intensität der Stroh- und Stoppelzerkleinerung und somit im Wirkungsgrad bei der präventiven Maiszünsler- und Fusariumbekämpfung.

Aus der Gruppe der Bodenbearbeitungsgeräte werden vor allem (Kurz-, Ketten-, X-) Scheibeneggen, Kreiseleggen und Fräsen eingesetzt. Sie können die Ernterückstände gut mit dem Boden vermischen aber zerkleinern das Pflanzenmaterial häufig unzureichend. Dabei erreichen Kettenscheibeneggen noch vergleichsweise hohe Zerkleinerungsintensitäten. Durch den steilen Anstellwinkel der Scheiben wird eine reibende Wirkung erzielt und die flexiblen Ketten ermöglichen eine gute Bodenanpassung (UPPENKAMP 2016: 109). SEIDEL et al. (2014) stellten in ihren Versuchen eine hinsichtlich der Maiszünslerbekämpfung unzureichende Stoppelzerkleinerung durch Grubber und Scheibenegge nach Körnermais fest.

Messerwalzen werden in unterschiedlichsten Bauformen angeboten und kommen teils auch als Vorwerkzeuge für Bodenbearbeitungsgeräte wie Kurzscheibeneggen zum Einsatz. Ein gleichmäßiger Bearbeitungserfolg stellt sich nur bei ausreichender Bodenanpassung ein. Dazu haben sich schmale, versetzt angeordnete Walzenelemente bewährt. Besonders bei trockenen und mürben Maisstoppeln erreichen sie ein Zerschneiden der Ernterückstände. Bei starker Maisstrohmatten, wie nach der Körnermaisernte, feuchten, elastischen Ernteresten oder schwerer feuchter Böden geraten sie jedoch an ihre Grenzen. (RECKLEBEN 2012: 11; UPPENKAMP 2016: 109). Dies zeigte sich in den Untersuchungen von UPPENKAMP et al. (2011: 31–32). In sehr feuchtem CCM-

Stroh konnte die Messerwalze (DAL-BO MaxiCut 600) das Maisstroh nicht ausreichend durchschneiden und hinterließ 52,2 % des Pflanzenmaterials länger als 45 mm bei einer mittleren Reststoppelhöhe von 15,5 cm. Bauartbedingt ist durch den Abstand der Messerleisten eine Schnittlänge von 15 cm fix vorgegeben. Damit konnte in diesem Versuch den Anforderungen an die Maiszünslerbekämpfung nicht gerecht werden. Die Vorteile der Messerwalzen liegen in der hohen Arbeitsgeschwindigkeit und teils großen Arbeitsbreite mit entsprechend hoher Flächentestung bei gleichzeitig niedrigem Energiebedarf. Zudem können sie niedergefahrene Maisstoppeln im Vergleich zu anderen Verfahren tendenziell besser erfassen (UPPENKAMP et al. 2011: 30–31; SCHNEIDER und LENZ 2017: 8)

Neben den universell einsetzbaren Geräten, die Teils für den Einsatz zur Bearbeitung der Erntereste optimiert wurden, sind angesichts der bereits langanhaltenden Maiszünsler- und Fusariumproblematik einige Spezialmaschinen entwickelt worden. Hierzu zählt beispielsweise die Reibradmodule STOPPELMAXX der Fa. Baß Antriebstechnik GmbH, bekannt vom Zünlerscheck Aktiv (Knoche Maschinenbau GmbH) oder in Kombination mit einer Messerwalze der Fa. Klaus Wallner – Maschinen- Bau und Handel. Bei diesem System werden die stehenden Maisstoppeln durch Verdrehen und Reiben aufgefaserst. Niedergefahrene und damit nicht zu erreichend Maisstoppeln können durch eine nachfolgende Messerwalze erfasst werden (UPPENKAMP 2016: 112; N.N. o.J.b, o.J.c). Durch den Stoppelschlitzer der Fa. terratec GmbH & Co.KG werden die Maisstoppeln hingegen gezielt zu Boden gedrückt. Die vier Reihenaggregate (3 m Arbeitsbreite) sind mit zwei Reihen von Messern im Abstand von 2,5 cm bestückt, die ca. 5 cm tief in den Boden eingreifen und die Maisstoppeln in Längsrichtung aufschneiden. Überfahrene Stoppeln sind für dieses Gerät somit unproblematisch. In der Ausführung für den Frontanbau lässt sich der Stoppelschlitzer mit einem Bodenbearbeitungsgerät im Heck des Schleppers kombinieren (N.N. o.J.e). Eine ganzflächige Bearbeitung des Maisstrohs erfolgt nicht.

Als besonders intensives Verfahren haben sich für die Bearbeitung der Erntereste des Körnermaises vor allem Mulcher durchgesetzt. Untersuchungen verschiedener Institute zeigen, dass der Einsatz eines (Schlegel-) Mulchers nach der Ernte zum momentanen Stand der Technik zur intensivsten Zerkleinerung und Zerkleinerung der Maisstoppeln und des Maisstrohs führt (SCHNEIDER und LENZ 2017: 3–11; SEIDEL et al. 2014; GROSA et al. 2016; UPPENKAMP et al. 2011: 33). Dieser Effekt zeigt sich sowohl im Wirkungsgrad der Maiszünslerbekämpfung als auch in den Mykotoxingehalten der Folgefrucht. Dieses Verfahren setzt somit den Maßstab bezüglich der Arbeitsqualität bei der Aufbereitung der Ernterückstände des Körnermaises nach der Ernte.

Mulchgeräte werden nach ihrer Bauart in Sichel- und Schlegelmulcher unterteilen. Beide Bauarten zerkleinern das Pflanzenmaterial im freien Schnitt. Sie unterscheiden sich in der Lage der Drehachse der Werkzeugträger/ -wellen. Bei Sichelmulchern rotieren die Werkzeuge um eine vertikale Drehachse, vergleichbar mit den Horizontalhäckslern der Maispflücker (vgl. Kapitel 3.2.4.1). Die paarweise Anordnung von jeweils zwei Messern übereinander ermöglicht den Schnitt in zwei Ebenen und kann die Zerkleinerungswirkung verbessern. Durch Gegenschneidenelemente kann der Gutstrom zusätzlich gebremst und die Zerkleinerungsintensität weiter gesteigert werden. Bei Schlegelmulchern sind die Werkzeuge hingegen auf einem horizontalen Rotor spiralförmig angebracht. Diese rotiert entgegen der Fahrtrichtung. Dabei wird das Pflanzenmaterial bodennah abgetrennt und in das Mulchgehäuse befördert. Durch Gegenschneidenelemente kann auch bei dieser Bauart der Gutstrom gebremst werden um eine mehrfache Bearbeitung des Materials durch die Schlegel zu erreichen (GROSA et al. 2016: 11; UPPENKAMP 2016: 110; VOCKE und JOHANNING 2012: 252). Speziell für Schlegelmulcher sind verschiedenste Werkzeuge in Form, Anzahl und Kombination verfügbar. Typische Ausführungen sind Hammerschlegel in unterschiedlichen Größen, Y-Schlegel in zwei- oder mehrgliedriger Ausführung (mit Räummesser oder Gebläseschaufel) sowie Plattenschlägel (C-förmig). Sie unterscheiden sich in ihrer Eignung für unterschiedliche Einsatzgebiete, dem Leistungsbedarf und Zerkleinerungseffekt. Die Werkzeugtypen wurden in verschiedenen Untersuchungen auf ihre Eignung für den Einsatz in Silo-, Körnermais- und CCM-Ernteresten bewertet.

GROSA et al. (2016) führten in den Jahren 2015 und 2016 an sechs Standorten in Sachsen Versuche im Silo- und Körnermais mit Sichelmulcher und Schlegelmulchern mit unterschiedlichen Werkzeugen durch. Verglichen wurden der Sichelmulcher McConnel SR 620 mit den Schlegelmulchern Müthing MU-Pro 280 (Y-Schlegel oder Hammerschlegel) und Müthing MU-Farmer 280 (Y-Schlegel mit Lüfterflügel oder schwere Hammerschlegel) bei einer Geschwindigkeit von 6, 8 und 10 km/h. Für die Ernte der Körnermaisbestände kam ein Horizon Star* II der Firma Geringhoff zum Einsatz (vgl. Kapitel 3.2.4.2). Alle Mulchsysteme konnten stehende Maisstoppeln nach der Körnermaisernte unabhängig von der Geschwindigkeit sicher erfassen. Mit einer Reststoppelhöhe von 6,0-7,5 cm hinterließen die Schlegelmulcher mit Hammerschlegeln die niedrigsten Reststoppeln. Lediglich der Sichelmulcher hinterließ kontinuierlich Reststoppeln mit einer Höhe von 10 cm. Die Y-Schlegel lagen im Mittelfeld. In den Untersuchungen von UPPENKAMP et al. (2011: 32) zeigte sich ein vergleichbares Bild, allerdings konnten die Mulchsysteme nach der CCM-Ernte nochmals niedrigere Reststoppeln erzielen. Die getesteten Sichelmulcher (Spearhead StarCut 500, Schulte FX 315) hinterließen Reststoppeln mit durchschnittlichen Höhen von 7,5 cm bzw. 6,4 cm. Wie auch GROSA et al. (2016) testeten UPPENKAMP et

al. (2011) die Schlegelmulcher Müthing MU-Pro 280 (Hammerschlegel) und MU-Farmer 280 (schwere Hammerschlegel). Sie erreichten mit Reststoppelhöhen von durchschnittlich 4,5 cm bzw. 4,1 cm auch in dieser Untersuchung das beste Ergebnis. Die Geräte mit Plattenschlegeln (Spearhead Trident 2800, Dücker UM 27) hinterließen mit 5,6 cm bzw. 4,9 cm etwas höhere Stoppeln. Das Gerät mit Y-Schlegeln und Gebläseschaukel (Kuhn RM 280) schnitt mit 6,3 cm nur geringfügig besser ab als die getesteten Sichelmulcher.

Die Bearbeitung niedergefahrener und geknickter Maisstoppeln ist für Mulcher problematisch. Liegen die Stoppeln am Boden oder bieten nicht mehr genügend Widerstand, so werden diese zumindest anteilig nicht ausreichend erfasst. GROSA et al. (2016: 26–54) stellen auf Grundlage der durchgeführten Versuche im Silomais 5-10 cm längere Reststoppeln im Fahrspurbereich fest. Gemessen an der Reststoppellänge ist der Erfolg des Mulchens bei niedergefahrenen Stoppeln um ca. 50 % reduziert. Daher wird ein großes Potential in der Reduktion des Fahrspuranteils im Feld gesehen. Im Falle geknickter, schräg stehender Maisstoppeln, stellen GROSA et al. (2016: 27) einen Einfluss der Fahrtrichtung beim Mulchen auf die Arbeitsqualität fest. Erfolgt das Mulchen entgegen der Fahrtrichtung des Erntefahrzeuges, kann der Bearbeitungserfolg abgeknickter Stoppeln deutlich erhöht werden, erreicht aber nicht das Niveau wie bei feststehenden, unverletzten Maisstoppeln. Zu diesem Ergebnis kommen auch BRUNOTTE und VOßHENRICH (2017: 22–23). Das Quetschen der Maisstoppeln durch Überfahren genügt in der Regel nicht, um dem Maiszünsler das Winterquartier zu nehmen (LANGENBRUCH und LORENZ 1989: 142; KLINGENHAGEN et al. 2014: 73)

Die von GROSA et al. (2016: 37–38) durchgeführten Siebanalysen des Körnermaisstrohs zeigten eine Erhöhung der feinen Siebfractionen <30 mm um 10-15% über alle Werkzeugvarianten. Der im Frontanbau eingesetzte Mulcher mit Hammerschlegeln erreichte die Intensivste Zerkleinerung. Dabei wurde die Grobfraction >63 mm um 40% zugunsten der Mittelfraction (>30 mm; +15%) und Feinfraction (<30 mm; +25%) gegenüber dem Ausgangsmaterial reduziert. Der Mulcher mit Y-Schlegeln ohne Lüfterflügel zeigte die geringste Zerkleinerungsintensität. Eine vergleichbare Rangierung der verschiedenen Mulcherbauarten und Werkzeugtypen ergab sich in den Untersuchungen von UPPENKAMP et al. (2011: 32) im CCM-Stroh. Die intensivste Zerkleinerung erreichen die untersuchten Hammerschlegel. Sie zerkleinerten 81,9% bzw. 88,4% des Pflanzenmaterials auf <45 mm, gefolgt von den Plattenschlegeln mit 84,2% bzw. 85,0%. Die Y-Schlegel mit Gebläseschaukel schnitten mit 59,6% schlechter ab als die Sichelmulcher mit einem Anteil von 79,2% bzw. 81,7% Pflanzenmaterial <45 mm. Auch LATSCH et al. (2010: 4) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass Hammerschlegel einen höheren Feinanteil erzeugten, als die getesteten Y-Schlegel mit Räumklinge (Kuhn BPR 280). Auch der Vorteil des

Frontanbaus des Mulchgerätes zeigte sich in diesen Untersuchungen. LATSCH et al. (2010: 4) führen dies auf das Ausbleiben zusätzlicher Fahrspureffekten zurück. Zudem ergaben Laboruntersuchungen eine um den Faktor 2,5 bis 5-fach höhere Sogwirkung der Hammerschlegel im Vergleich zu den Y-Schlegeln mit Räumklinge. Gleichzeitig führten die Hammerschlegel zu deutlich höheren Druckschwankungen. Eine gerichtete Sogwirkung nach oben konnte nicht festgestellt werden. Dennoch, die Turbulenzen könnten die Gutaufnahme und Zerkleinerungswirkung unterstützen.

Auch in Bezug auf die Antriebsleistung bestehen Unterschiede zwischen den Mulcherbauarten und Werkzeugformen. Dabei hängt der Leistungsbedarf stark von den Einsatzbedingungen, d.h. dem Durchsatz (Geschwindigkeit, Masse der Erntereste), dem Feuchtegehalt des Pflanzenmaterials und der Maschineneinstellung ab. Entsprechend groß ist die Bandbreite der Ergebnisse aus Leistungsmessungen verschiedener Studien. Für die Bearbeitung von Silomaisstoppeln wird erheblich weniger Leistung benötigt als zur Bearbeitung des Körnermaisstrohs. Dazu ermittelten UPPENKAMP et al. (2011: 32) für die verschiedenen Mulcherbauarten und Werkzeugformen in Silomaisstoppeln Antriebsleistungen zwischen 8,89 und 26,25 kW/m Arbeitsbreite bei 8 km/h. Die von GROSA et al. (2016: 32) im Silomais durchgeführten Versuche zeigten eine ähnliche Bandbreite und Rangierung über die getesteten Schlegel- und Sichelmulcher hinweg von 8 kW bis 48 kW normiert auf eine Arbeitsbreite von 2,8 m (2,9-17,1 kW/m Arbeitsbreite) und Geschwindigkeiten von 6 km/h und 10 km/h. Beide Untersuchungen zeigten übereinstimmend einen besonders hohen Leistungsbedarf für schwere Hammerschlegel. Ein niedriger Leistungsbedarf ergab sich für leichte Y-Schlegel ohne Gebläseschaukel oder Räumklinge. Mehrgliedrige Y-Schlegel, leichte Hammerschlegel und Sichelmulcher rangieren im Mittelfeld. Speziell im Silomais überwiegt der Anteil der Leerlaufleistung am Gesamtleistungsbedarf der Schlegelmulcher, der vor allem auf die Luftförderung durch die Werkzeuge zurückzuführen ist. Schwere Hammerschlegel und Y-Schlegel mit Gebläseschaukel verdrängen viel Luft und führten in den Untersuchungen von GROSA et al. (2016: 32) bei einer Arbeitsbreite von 2,8 m zu Leerlaufleistungen von ca. 20-35 kW, wo hingegen einfache Y-Schlegel lediglich 5 kW benötigten.

In Körnermais- und CCM-Stroh gilt es ein Vielfaches an Pflanzenmaterial zu verarbeiten. Entsprechend höher fällt der Leistungsbedarf der Mulchgeräte aus. GROSA et al. (2016: 38) ermittelten trotz einer im Vergleich zum Silomais 7-8-fach höheren Ernterestmenge einen maximal 3-fachen Leistungsbedarf der Mulchgeräte im Körnermaisstroh. Dabei beträgt der Anteil der Arbeitsleistung am Gesamtleistungsbedarf der Schlegelmulcher das 2-2,5-fache der Leerlaufleistung. Auch im Körnermais benötigten schwere Hammerschlegel die höchste Zapfwellenleistung zwischen ca. 120 kW und 140 kW bei 2,8 m Arbeitsbreite,

6-10 km/h und 29 t/ha Erntereste. Damit war die benötigte Antriebsleistung ca. 2,5-fach höher als bei leichten Hammerschlegeln. Ähnliches zeigte sich im Vergleich der einfachen Y-Schlegel gegenüber der Y-Schlegel mit Gebläseschaukel. Die dreigliedrige Ausführung benötigte bei 6 km/h bzw. 10 km/h mit ca. 90 kW bzw. 110 kW die dreifache Antriebsleistung. Der Sichelmulcher rangierte im Leistungsbedarf zwischen den leichten Hammerschlegeln und einfachen Y-Schlegeln. Bei feuchtem CCM-Maisstroh und einer Geschwindigkeit von 8 km/h ergaben die Versuche von UPPENKAMP et al. (2011: 32) für den getesteten Müthing Farmer 280 mit schweren Hammerschlegeln eine Leistungsaufnahme von der Zapfwelle in Höhe von 43,04 kW/m Arbeitsbreite. Der Müthing Farmer 280 mit kleinen Hammerschlegeln benötigte hingegen nur 23,75 kW/m Arbeitsbreite und damit weniger als der Kuhn RM 280 mit Y-Schlegeln und Gebläseschaukeln, für den ein Leistungsbedarf von 27,5 kW/m Arbeitsbreite ermittelt wurde. Damit zeigte sich abermals eine vergleichbare Rangierung der Werkzeugbauarten in beiden Untersuchungen. LATSCH et al. (2010: 3) ermittelten ebenfalls eine erhebliche Zapfwellen-Leistungsdifferenz zwischen Hammerschlegeln und Y-Schlegeln mit Räumklinge. Zudem ergaben sich deutliche Unterschiede bei der Wahl des Anbauraums, Front- oder Heckanbau, am eingesetzten Traktor. Bei einem Durchsatz von 8,6 t TM/h Maisstroh und einer Geschwindigkeit von 3,4 km/h benötigte der Kuhn BPR 280 (2,8 m Arbeitsbreite) ausgestattet mit Hammerschlegeln im Heckanbau eine Zapfwellenleistung von 12,5 kW/m Arbeitsbreite bzw. 13,7 kW/m Arbeitsbreite im Frontanbau. Ausgerüstet mit Y-Schlegel und Räumklinge betrug der Leistungsbedarf hingegen nur 4,0 kW/m Arbeitsbreite im Heckanbau bzw. 7,3 kW/m Arbeitsbreite im Frontanbau. Der Zusätzliche Leistungsbedarf beim Frontanbau wird auf das Ausbleiben von Fahrspureffekten zurückgeführt, wodurch mehr Stoppel durch den Mulcher erfasste, werden können.

GROSA et al. (2016: 30) ermittelten im Silomais-Versuch durch das Mulchen eine Reduktion des Besatzes mit Maiszünslerlarven um 85% gegenüber der Ausgangssituation. Dabei betrug der Fahrspuranteil 25%. Eine Minderung der DON-Gehalte im Winterweizen nach Körnermais konnte aufgrund eines allgemein geringen Befallsdrucks jedoch nicht nachgewiesen werden. SCHNEIDER und LENZ (2017: 9) kommen auf ein vergleichbares Ergebnis. In Demonstrationsparzellen konnte durch den Einsatz des Mulchers nach der Maisernte im folgenden Frühjahr eine starke Reduktion des Ausgangsbefalls durch den Maiszünsler um 90% festgestellt werden. Der Einsatz einer Quetschwalze erreichte hingegen lediglich einen Wirkungsgrad von 50%. Weiterhin konnte bei pflugloser Bestellung des Winterweizens nach Körnermais durch den Einsatz des Schlegelmulchers ein um ca. 50% geringerer DON-Gehalt in den Weizenkörnern nachgewiesen werden. Auch KIRCHMEIER und DEMMEL (2008: 151) konnten einen Minderungseffekt auf den DON-

Gehalt des Winterweizens durch vorheriges Mulchen der Maiserntereste feststellen. Einen Unterschied zwischen Hammer- und Y-Schlegeln war in den Versuchen von LATSCH et al. (2010: 7) nicht festzustellen.

Die Ausführungen haben gezeigt, dass die verschiedenen am Markt verfügbaren Geräte zur Bearbeitung der Erntereste sich deutlich in ihrer Funktion, der Arbeitsqualität und dem Leistungsbedarf unterscheiden. Je nach standörtlichen Gegebenheiten, Fruchtfolge, Bodenbearbeitungssystem und Schaderregerdruck, ist es auch eine betriebswirtschaftliche Abwägung, welches Gerät zum Einsatz kommt. Die Bandbreite der Kosten für den Einsatz der Geräte ist wiederum groß. Tendenziell steigen die Kosten mit der Zerkleinerungsintensität. Während mit Messer- und Quetschwalzen eine Bearbeitung bereits ab 10 €/ha möglich wird, ist der Einsatz von Mulchern erheblich kostenintensiver (RECKLEBEN 2012: 11). UPPENKAMP (2012: 22) nimmt für schweres Mulchen z.B. in CCM-Ernteresten mittels Rotormulcher bei einer Arbeitsbreite von 2,8 m einem Schlepper mit 150 ps und einer Flächenleistung von 2 ha/h bei einer jährlichen Einsatzfläche bis 50 ha/Jahr Kosten in Höhe von 50€/ha (inkl. MwSt. und zzgl. Kraftstoff) an, die bei einer Einsatzfläche von jährlich 150 ha auf 35€/ha sinken. Vor diesem Hintergrund kann der überbetriebliche Einsatz solcher Maschinen für kleinere landwirtschaftliche Betriebe von Vorteil sein.

3.2.4.3 Stand der Technik: Kombination von Ernte und Stoppelzerkleinerung

Die angeführten „Schwachstellen“ der bislang verfügbaren Verfahren, d.h. eingeschränkte Bearbeitbarkeit überfahrener Maisstoppeln, teils hoher Energiebedarf und zusätzliche Arbeitserledigungskosten, sorgen für Bemühungen Lösungsansätze zu entwickeln, die Ernte und Stoppelbearbeitung miteinander kombinieren. Mit dem Stalkbuster stellte Kemper zur Agritechnica 2017 einen Erntevorsatz für die Silomaisernte vor, der durch integrierte Schlegel die Maisstoppeln während des Häckselns zerstört (N.N. 2017). Anders als beim Silomais muss im Körnermais zusätzlich zu den Maisstoppeln auch die gesamte Restpflanze zerkleinert werden. Der Erntevorsatz muss somit ein Vielfaches an Pflanzenmaterial verarbeiten.

KIRCHMEIER und DEMMEL (2018) führten von 2004 bis 2006 Untersuchungen zur Wirkung der Maisstrohzerkleinerung und Bodenbearbeitung auf Fusariuminfektionen in der Folgekultur Winterweizen durch. Die Maisstrohzerkleinerung erfolgte dabei nicht nur mit einem traktorbetriebenen Schlegelmulcher, sondern auch kombiniert während der Ernte. Dazu wurden jeweils links und rechts im Bereich vor den Vorderrädern des Mähdreschers Mulchgeräte am Schrägförderer angebracht, die die jeweils zwei äußeren Maisreihen bearbeiteten (6-reihiger Maispflücker). Ein zusätzlich am Heck des Mähdreschers angebrachtes Mulchgerät bearbeitete den Bereich zwischen den Rädern des

Mähdreschers. Ein Überfahren von Maisstoppeln vor der abschließenden Bearbeitung konnte somit unterbunden werden. Der gewünschte fahrspurunabhängige Zerkleinerungseffekt konnte erreicht werden. Bei diesem System handelt es sich jedoch um eine Einzellösung eines Lohnunternehmens. Eine Serienmaschine ist daraus bislang nicht hervorgegangen, sodass dieses System der Allgemeinheit der Maisanbauer nicht zur Verfügung steht.

Als weitere Möglichkeit zur Kombination von Ernte und Stoppelzerkleinerung bietet die Firma Baß Antriebstechnik die bereits vorgestellten Reibradmodule STOPPELMAXX zur Nachrüstung an selbstfahrenden Erntemaschinen an (N.N. o.J.b).

Mit dem 5000 Stalk Devastator™ bietet die Firma Yetter Manufacturing Co. Inc. federbelastete Walzenmodule zur Nachrüstung an Maispflückvorsetzen an. Im Bereich der Maisreihe sind die Walzenelemente mit jeweils vier Stahlleisten bestückt. Auf diese Weise werden die Maisstoppeln zu Boden gedrückt und gequetscht (N.N. o.J.a).

Bislang war somit noch kein serienreifes System verfügbar, das ohne nachträgliche Anpassungen am Mähdrescher und/ oder Maispflücker eine Zerkleinerung der Maisstoppeln während der Körnermaisernte ermöglicht. Einen ersten Ansatz zeigte Firma Geringhoff auf dem Praktikertag 2015 des Deutschen Maiskomitee e.V. (DMK) in Saerbeck. Dazu wurden die Horizontalhäcksler des Maispflückers mit speziellen Messern ausgerüstet, die an der Rückseite mit einer nach unten weisenden Abkantung versehen waren und den Maisstoppeln nach dem Schnitt durch einen Schlag bodennah auffasern (UPPENKAMP 2017: 13). Dieser grundsätzliche Ansatz wurde weiterverfolgt und mündete in dem hier vorgestellten Projekt.

4 Projektziele

Die vorangestellten Ausführungen zeigen die Bedeutung und Anforderungen an die mechanische Aufbereitung der Erntereste des Körnermaises aber auch die Unzulänglichkeiten bestehender Verfahren zum aktuellen Stand der Technik (Kapitel 3).

Ziel dieses Projektes war die Entwicklung eines neuen Körnermaisernteverfahrens mit integrierter Maisstoppelzerkleinerung und intensiver Maisstrohaufbereitung sowie der dazu notwendigen Maschinenteknik in Form eines Erntevorsatzes für Mähdrescher (Horizon Star* III). Die Kombination beider Arbeitsschritte soll die Effizienz hinsichtlich Energie-, Maschinen-, und Personalaufwand erhöhen, indem die Bearbeitung der Erntereste im Nachernteverfahren entfällt. Eine Erhöhung der Effektivität in Form einer indirekten Steigerung des Wirkungsgrades in der präventiven Maiszünslerbekämpfung soll durch eine ganzflächig hohe Intensität in der Stoppelzerkleinerung erreicht werden, in dem es zu keiner negativen Beeinflussung des Bearbeitungserfolges durch Überfahren der Maisstoppen kommt. Durch die Zerkleinerung der gesamten Restpflanzen wird die Strohrotte gefördert und das Risiko überhöhter Mykotoxingehalte in Folge des Befalls durch Fusarien in der Folgekultur reduziert.

Eine hohe Akzeptanz des neuen Verfahrens in der landwirtschaftlichen Praxis ist nur dann zu erwarten, wenn es sich problemlos in die betrieblichen Abläufe integrieren lässt. Daher muss der neu entwickelte Erntevorsatz universell mit allen gängigen Modellen von Mähdreschern zu kombinieren sein. Das setzt weiterhin voraus, dass durch akzeptable Flächenleistungen und hohe Standzeiten der Verschleißteile der Ernteprozess nicht wesentlich beeinträchtigt wird. Damit kann dem Ziel einer regional flächendeckenden, präventiven Bekämpfung des Maiszünslers, als wichtiges Kriterium für die Wirksamkeit dieser Maßnahme, nähergekommen werden.

Durch das Ausschöpfen des Potentials mechanischer Präventivmaßnahmen in der Bekämpfung von Maiszünsler und Fusarium, soll die Notwendigkeit des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel zur Risikoabsicherung auf ein Minimum reduziert werden. Das Projekt dient somit der Umsetzung umweltverträglicher Pflanzenschutzstrategien in der landwirtschaftlichen Praxis.

Neben der maschinentechnischen Entwicklung des Erntevorsatzes bis hin zu einer serienreifen Lösung, gilt es die Funktionalität bezüglich Arbeitsqualität und Effizienz unter Praxisbedingungen in Feldversuchen zu untersuchen. Dabei muss sich das neue Verfahren am aktuellen Stand der Technik messen.

5 Entwicklung des Horizon Star* III

Bereits in den Projektzielen ist angedeutet, dass die wesentliche Herausforderung in der Entwicklung des Erntevorsatzes mit integrierter Stoppelzerkleinerung darin besteht, sowohl den Anforderungen des Ernteprozesses, als auch denen der Stoppelzerkleinerung gerecht zu werden. Die gegenüber herkömmlichen Maispflückern zusätzlich umzusetzende Funktion der Stoppelzerkleinerung führt unweigerlich zu einem höheren Anspruch an Antriebsleistung. Alle an der Aufbereitung der Ernterückstände direkt oder indirekt beteiligten Baugruppen müssen auf Energieeffizienz und Langlebigkeit ausgelegt sein, ohne dass die Arbeitsqualität der Stoppel- und Strohzerkleinerung dadurch eingeschränkt ist. Der Aufbau und die Funktionsweise von Maispflückern wurden in Kapitel 3.2.4.1 erläutert. Das grundsätzliche Konzept des HS3 basiert auf speziellen Werkzeugen für die Horizontalhäcksler des Maispflückers, die für ein Aufspalten der Maisstoppeln bis zum Wurzelansatz sorgen.

Um den gewünschten Effekt zu erreichen, müssen die Werkzeuge unmittelbar über der Bodenoberfläche geführt werden und der Bodenkontur folgen. Der Anspruch an die Präzision der Höhenführung ist deutlich höher als bei herkömmlichen Maispflückern. Bodenkontakt muss trotz der geringen Schnitthöhe weitgehend vermieden werden. Zudem muss das System so stabil ausgeführt sein, dass sporadischer Bodenkontakt keine Schäden verursacht. Das Zerschlagen der Maisstoppeln und der tiefe Schnitt sorgen für den erhöhten Leistungsanspruch gegenüber Standardmaispflückern und erfordern eine Neuauslegung des Antriebsstrangs.

Bei der Auswahl geeigneter Reihenaggregate ist sowohl eine intensive Zerkleinerung des Maisstrohs, als auch eine ausgangs geringe Leistungsaufnahme der Horizontalhäcksler zu beachten. Diverse Detailoptimierungen werden nötig, um den Erntevorsatz für den bodennahen Einsatz abzustimmen.

Maispflücker mit einer Arbeitsbreite von acht Reihen - bei einem Reihenabstand von 75 cm - sind zum momentanen Stand im europäischen Markt weit verbreitet und besonders in klappbarer Ausführung stark nachgefragt (vgl. DUTZI 2019; Kapitel 3.2.4.1). Erste Prototypen des Horizon Star* III (HS3) wurden entsprechend aufgebaut und standen für Tests und Versuche zur Erntesaison 2018 zur Verfügung.

In den folgenden Kapiteln wird auf die wesentlichen Entwicklungsschritte der unterschiedlichen Baugruppen und Einzelkomponenten über die Projektlaufzeit eingegangen und ein Ausblick auf zukünftige Schritte gegeben.

5.1 Auswahl geeigneter Reihenaggregate als Ausgangsbasis für die Entwicklung des Horizon Star* III

Aus Vorversuchen war bekannt, dass die höchste Intensität in der Stoppelzerkleinerung mit stumpfen, schlagenden Arbeitskanten an den Werkzeugen des Horizontalhäckslers erreicht wird. Derartige Werkzeuge führen jedoch zu einem hohen Leistungsbedarf, der den von Horizontalhäckslern mit Standardmessern unter Umständen um das Dreifache übersteigen könnte (siehe Kapitel 5.2.1). Bei der Auswahl geeigneter Reihenaggregate als Ausgangspunkt für die Entwicklung des HS3 waren daher, vor allem die Qualität der Strohzerkleinerung und die Leistungsaufnahme der Horizontalhäcksler entscheidend.

Potentiell standen drei Typen von Pflückaggregaten aus dem bestehenden Sortiment der Firma Geringhoff zur Auswahl (Abbildung 4). Die Systeme Mais Star* SC (MSSC) und Mais Star* Horizon (MSH) arbeiten mit jeweils zwei mit Messerleisten bestückten Pflückwalzen und unterscheiden sich in der Positionierung der Horizontalhäcksler, hinter oder seitlich des Reihenaggregats, sowie dessen Durchmesser. Die Reihenaggregate des Horizon Star* II (HS2) sind mit drei Rotoren ausgerüstet. Der gegenläufig rotierende Schneidscheibenrotor mit insgesamt 15 Scheiben greift in die Schlitze der zwei Pflückrotoren ein und sorgt für eine diagonale Schnitfführung durch den Maisstängel. Die Horizontalhäcksler sind seitlich der Pflückaggregate angeordnet. In allen Varianten sind die Horizontalhäcksler mit jeweils zwei Messern bestückt.

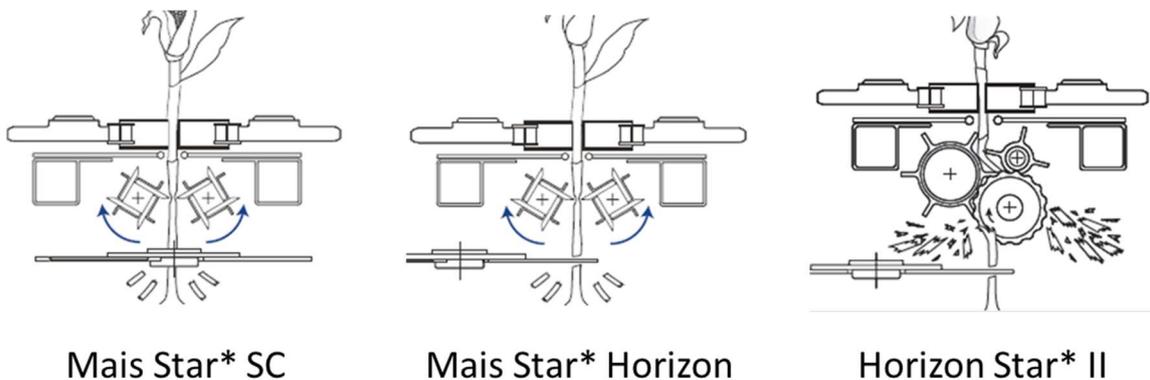


Abbildung 4: Potentielle Reihenaggregate als Ausgangspunkt für die Entwicklung des HS3

Die Zerkleinerung des Maisstrohs betreffend, war aus eigenen Beobachtungen, sowie Versuchen mit vergleichbaren Pflücksystemen zu erwarten, dass das 3-Walzen-System des HS2 im Vergleich zu den 2-Walzen-Systemen eine intensivere Zerkleinerung und eine bessere Struktur des Maisstrohs erreichen kann (vgl. HANDLER et al. 2005; Kapitel 3.2.4.2).

Der große Durchmesser der Horizontalhäcksler des Modells MSSC sorgt für eine hohe Leistungsaufnahme. Gleichzeitig erschwert die Positionierung der Horizontalhäcksler hinter den Reihenaggregaten eine bodennahe Führung der Werkzeuge. Trotz des geringeren Durchmessers und der Anbringung seitlich der Reihenaggregate benötigen die Horizontalhäcksler des MSH mehr Leistung als die des HS2 (siehe Kapitel 5.2.1). Die 3-Walzen-Pflückaggregate des HS2 sorgen durch den Schneidscheibenrotor für eine intensive Zerkleinerung des Maisstrohs, bevor es in den Wirkungsbereich des Horizontalhäckslers gelangt. Zudem wird ein Teil des zerkleinerten Pflanzenmaterials direkt aus dem Wirkungsbereich des Horizontalhäckslers herausgeführt, sodass insgesamt weniger Pflanzenmaterial durch den Horizontalhäcksler bearbeitet wird (siehe Abbildung 4). Die Horizontalhäcksler des HS2 sind daher weniger belastet als die des MSH.

Aufgrund der höheren Erwartungen in Bezug auf die Zerkleinerungsintensität des Maisstrohs und des geringeren Leistungsbedarfs des Horizontalhäckslers fiel die Wahl auf die Reihenaggregate des HS2 als Ausgangspunkt für die Entwicklung des HS3.

5.2 Entwicklung der Werkzeuge für die Stoppelbearbeitung während der Ernte

Die wesentliche Herausforderung in der Entwicklung der Werkzeuge für den Horizontalhäcksler des HS3 besteht in der gleichzeitigen Optimierung der Leistungsaufnahme, der Qualität der Stoppelzerstörung und der Standzeit. Um ein geeignetes Design zu finden wurden Vorversuche durchgeführt, in denen diverse Prototypen gegeneinander getestet wurden.

5.2.1 Vorversuch zur Ermittlung einer geeigneten Werkzeuggeometrie in Bezug auf die Antriebsleistung

Für die separate Messung der Leistungsaufnahme aller relevanten Baugruppen eines Pflückaggregats, wurde die CG-Leistungsmessmaschine eigens für die Vorversuche aufgebaut. Bei diesem Maispflücker ist jede Abgangswelle der Reihengetriebe mit einem Drehmomentsensor NCTE Serie 2000 (NCTEngineering GmbH) ausgerüstet. Die Drehzahl wird mittels Induktivnäherungsschalter (KIN-M12PS/008-KLS12E, Bernstein AG) an der Verbindungswelle der Reihengetriebe gemessen. Es können verschiedene Reihenaggregate simultan getestet werden (Abbildung 5).



Abbildung 5: CG-Leistungsmessmaschine

Die CG-Leistungsmessmaschine kam zum Einsatz, um diverse Prototypen von Werkzeugen mit unterschiedlichen Geometrien hinsichtlich ihrer Leistungsaufnahme während der Ernte zu vergleichen. Abbildung 6 zeigt eine Auswahl der untersuchten Werkzeuge. Alle Varianten wurden sowohl in Verbindung mit dem 3-Walzen-Pflückaggregat des HS2 als auch mit dem 2-Walzen-Pflückaggregat des MSH getestet.



Abbildung 6: Prototypen von Werkzeugen mit unterschiedlichen Geometrien

In Abbildung 7 sind die Ergebnisse der Messfahrten der unterschiedlichen Werkzeugprototypen in Kombination mit dem HS2-Reihenaggregat als mittlere Antriebsleistung über die Vorfahrtsgeschwindigkeit dargestellt. Aus dem Diagramm geht deutlich hervor, dass alle Werkzeugvarianten zur Stoppelzerkleinerung eine erheblich höhere Antriebsleistung erfordern als das Standardmesser ohne Abkantung (Messer 506085). Aber auch zwischen den unterschiedlichen Werkzeugprototypen zeigen sich deutliche Unterschiede im Leistungsbedarf, sowohl das absolute Niveau betreffend als auch die Steigung über die Geschwindigkeit.

Einen besonders steilen Anstieg der Antriebsleistung über die Geschwindigkeit zeigen die Werkzeugvarianten mit einer Abkantung im 90° Winkel zur Drehrichtung (5090099 und 509099*). Werkzeuge mit einer Abkantung am Ende des Messers, die von der Drehachse weggerichtet sind (MZM011 und MZM043), dies zeigten ebenfalls eine höhere Antriebsleistung als das Werkzeug, dessen Abkantung zur Drehachse hingerrichtet ist (MZM002).

Die Messungen zu den Werkzeugen MZM040 und MZM013 ergaben keine eindeutigen Ergebnisse. Das Werkzeug MZM040 zeigte keinen eindeutigen Trend, während das Messer MZM013 eine negative Steigung über die Geschwindigkeit aufwies. Beide Messertypen haben eine ähnliche Geometrie wie die Werkzeuge MZM011 und MZM043.

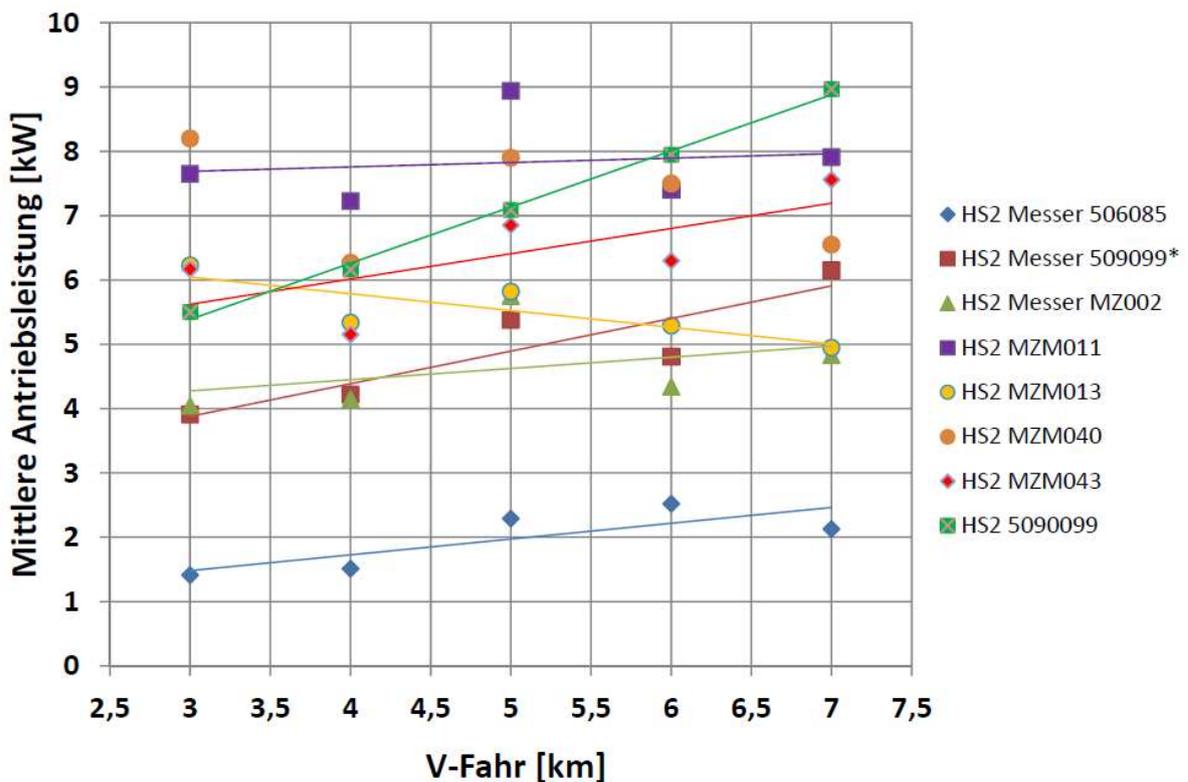


Abbildung 7: Mittlere Antriebsleistung unterschiedlicher Werkzeugprototypen in Verbindung mit dem Reihenaggregat HS2

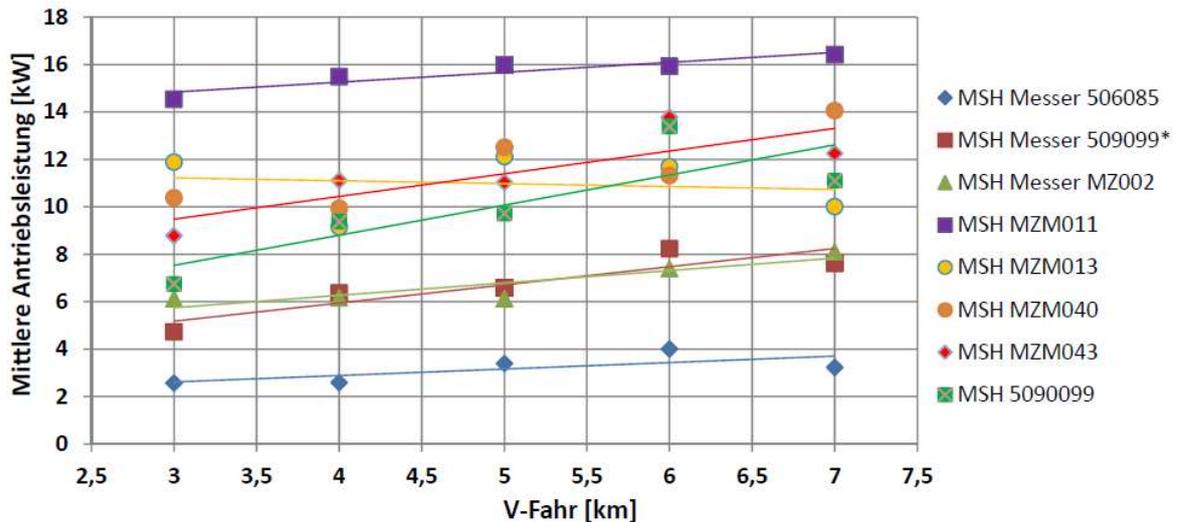


Abbildung 8: Mittlere Antriebsleistung unterschiedlicher Werkzeugprototypen in Verbindung mit dem Reihenaggregat MSH

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse der Messfahrten der unterschiedlichen Werkzeugprototypen in Kombination mit dem MSH-Reihenaggregat dargestellt. Auch hier zeigt sich die deutlich erhöhte Antriebsleistung für eine Stoppelzerkleinerung während des Ernteprozesses, im Vergleich der Prototypen mit dem Standardmesser (506085). Das Messer MZ002 mit nach innen gerichteter Abkantung am Ende des Messers, setzte sich während dieser Messungen weniger stark vom Messer 509099* ab, aber zeigt dennoch eine verhältnismäßig niedrige Leistungsaufnahme.

Aus dem Vergleich der Reihenaggregate HS2 und MSH geht hervor, dass das MSH Reihenaggregat über die Messerkombinationen eine höhere Antriebsleistung für den Horizontalhäcksler benötigt, als das Reihenaggregat HS2.

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse wurde das Messerdesign MZM002 als favorisierte Variante identifiziert. Darüber hinaus zeigten erste Beurteilungen des Stoppelbildes eine gute Wirkung in der Stoppelzerkleinerung. Die grundsätzliche Geometrie dieses Messers wurde über den Projektverlauf beibehalten. Das Werkzeug des HS3 ist somit ein Hybrid aus einem schneidenden Messer mit einer Abkantung am Ende, die als stumpfer Schlegel fungiert. Die Maisstoppeln werden in einem ziehenden Schnitt von der Restpflanze getrennt. Die stumpfe Arbeitskante am Ende des Messers ist in einem Winkel so angestellt, dass die Maisstoppeln bei Kontakt in Richtung der Drehachse geschlagen werden und auffasern. Die Werkzeuggeometrie und die Drehzahl der Horizontalhäcksler sind so aufeinander abgestimmt, dass die schlagende Kante bei praxisüblichen Erntegeschwindigkeiten die Maisreihe ca. alle 2 cm überstreichen und somit eine flächige Bearbeitung sichergestellt ist. Abbildung 9 zeigt die zur Ernte 2018 eingesetzten Hybridmesser am HS3.



Abbildung 9: Erste Generation der Hybridmesser des HS3 zur Ernte 2018

5.2.2 Maßnahmen zur Erhöhung der Standzeit der Hybridmesser

Die neu entwickelten Messer des Horizontalhäckslers erreichten während des ersten Versuchsjahres eine Standzeit von ca. 100 ha bis 150 ha. Es war festzustellen, dass die Messer der äußeren Reihen schneller verschlissen, als die der inneren Reihen. So wiesen diese bereits nach ca. 100 ha, deutliche Verschleißerscheinungen auf. Die Messer der mittleren Reihen konnten hingegen auf einer Gesamtfläche von ca. 290 ha gefahren werden. Es wurde vermutet, dass die äußeren Reihen im Allgemeinen durch das Schwenken des Vorsatzes häufiger tiefer häckseln und es zu vermehrtem Bodenkontakt kam. Dies zeigt die Bedeutung einer exakten Höhenführung (siehe Kapitel 5.3). Es war zu beobachten, dass der Verschleiß in trocknen und reifen Beständen deutlich abnimmt. Abbildung 10 vermittelt einen Eindruck des Verschleißzustandes bei unterschiedlichem Einsatzumfang während des ersten Versuchsjahres.



Bild 1: Verschleiss nach 20ha



Bild 2: Verschleiss nach 110ha



Bild 3: Verschleiss nach 160ha

Abbildung 10: Verschleißzustand der Hybridmesser der ersten Generation in Abhängigkeit von der Einsatzfläche

Bei Beschädigungen der Beschichtung der Messer, wurde eine rasche Zunahme des Verschleißes beobachtet. Vor diesem Hintergrund erfolgte eine Überarbeitung der Messer zum zweiten Versuchsjahr. Der in 2019 wärmebehandelte, vergütete Grundkörper wurde zusätzlich durch Plasma-Pulver-Auftragsschweißen (PTA-Beschichtung) stärker gegen Verschleiß geschützt. Die Aufpanzerung sowie die hohe Grundhärte des Materials der

Messer sorgte für die erhoffte Verlängerung der Standzeit. Die neuen Messer wurden in der Region Kraichtal über die Erntesaison auf einer Fläche von ca. 240 ha getestet. In dieser Region findet sich kaum Steinbesatz auf den Ackerflächen. Nach der Einsatzfläche von ca. 240 ha waren die Messer nach wie vor in einem akzeptablen und einsatzbereiten Zustand (siehe Abbildung 11).



Abbildung 11: Verschleißzustand der Messer der zweiten Generation im Langzeittest auf Feldern mit geringem Steinbesatz, Einsatzfläche ca. 150 ha

Auf Flächen mit höherem Steinbesatz nehmen die Messer hingegen schneller Schaden. Dies äußerte sich durch abgebrochene Teilbereiche an den stumpfen Abkantungen der Messer (siehe Abbildung 12).



Abbildung 12: Verschleißerscheinungen der Messer der zweiten Generation nach intensivem provoziertem Kontakt mit Fremdkörpern

Um auch unter diesen Bedingungen zufriedenstellende Standzeiten zu erreichen, galt es die Zähigkeit der Messer weiter zu erhöhen. Es wird fortlaufend gemeinsam mit Zulieferern nach Optimierungspotenzialen gesucht. Das Grundmaterial, die Werkstoffverarbeitung, die Beschichtung und die Geometrie sind hierzu in unterschiedlichen Ausführungen in der Erprobung und Diskussion. Diese Erfahrungen werden auch in die Serienmaschinen eingehen können.

5.3 Optimierung des Höhenführungssystems zur bodennahen Führung der Werkzeuge

Um eine gleichbleibende Arbeitsqualität und Last unter Praxisbedingungen im Feld zu erreichen, muss eine konstante Höhenführung des HS3 unmittelbar an der Bodenoberfläche gewährleistet sein. Gleichzeitig gilt es, Bodenkontakt verbunden mit Leistungsspitzen und hohem Verschleiß zu vermeiden. Im ersten Versuchsjahr 2018 wurden die Prototypen mit zwei Höhenführungssensoren ausgestattet. Die in den Spitzen des Erntevorsatzes pendelnd angebrachten Bodentastbügel gleiten schleppend über die Bodenoberfläche. Am Gegenlager des Bodentastbügels wird die Höhe mittels Potentiometer als Winkel des Bodentastbügels abgegriffen und durch unterschiedliche Voltzahlen dem Mährescher zur weiteren Verrechnung übergeben (vgl. Abbildung 16). Die im Mährescher hinterlegte Steuerung verrechnet hierbei diese gemessenen Signale, um das Schwenkschild und den Einzugskanal der Bodenoberfläche anzupassen. Meist haben die Mährescher ebenfalls noch veränderliche Regler, um hier die Dynamik der Steuerung anzupassen.

5.3.1 Erkenntnisse des ersten Versuchsjahres 2018 zur Weiterentwicklung der Höhenführung

Die Messfahrten des ersten Versuchsjahres demonstrierten den Einfluss der Höhenführung und der Geschwindigkeit auf die Antriebsleistung des Erntevorsatzes.

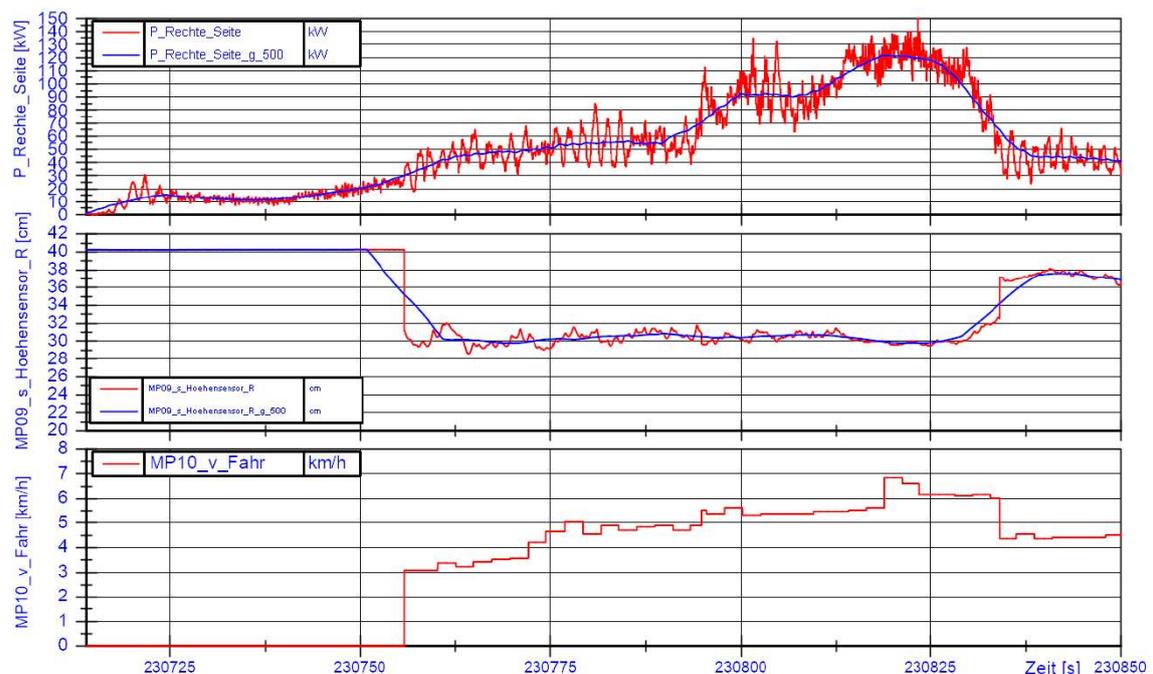


Abbildung 13: Simultaner Verlauf der Maximalleistung, der Höhe über dem Boden und der Vorfahrtsgeschwindigkeit während der Ernte

In Abbildung 13 sind der simultane Verlauf der Maximalleistung, der Vorsatzhöhe über dem Boden und der Geschwindigkeit während der Ernte dargestellt. Die Grafiken zeigen den Zusammenhang von Vorfahrtsgeschwindigkeit und Leistungsbedarf. Zudem zeigt sich mit dem Peak der Maximalleistung im hinteren Bereich der Darstellung, der Zusammenhang zur Höhe des Erntevorsatzes.

Der Zusammenhang zwischen der Höhenführung des Vorsatzes und der Leistungsaufnahme wird in der nachstehenden Abbildung 14 nochmal deutlicher. Die Zunahme des Leistungsbedarfs lässt sich auf den zunehmenden Durchmesser der Maisstängel in Richtung Bodenoberfläche, sowie dem Widerstand der Stoppel (je dichter über dem Boden desto fester gehalten, desto ungedämpfter der Schlag) bei kurz abgetrennter Maisstoppel erklären.

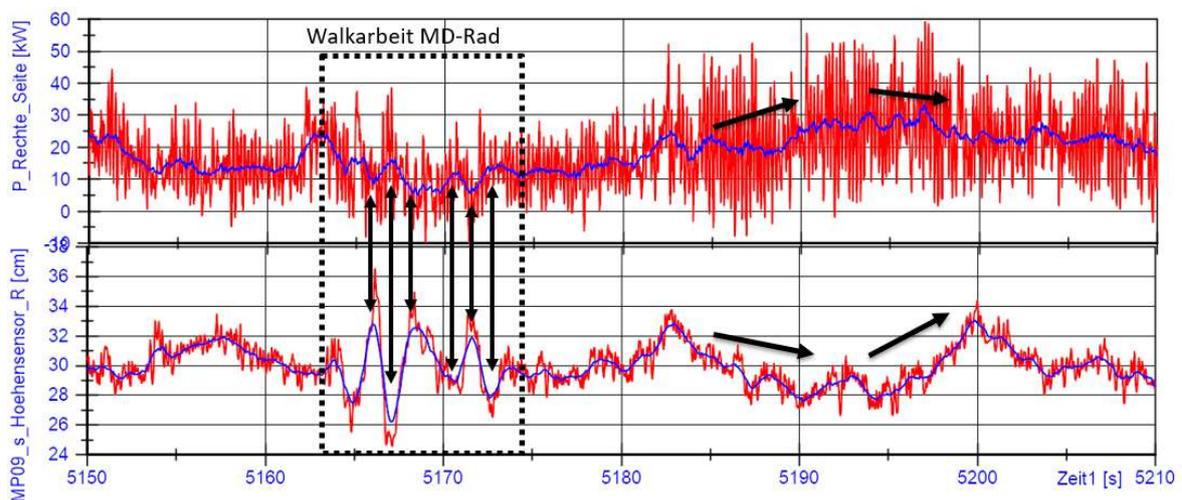


Abbildung 14: Zusammenhang von Antriebsleistung und Arbeitshöhe des Prototypen im Feldeinsatz (halbseitig, 4 Reihen)

Abbildung 14 zeigt zudem das Problem walkender Reifen bei der Höhenführung des Erntevorsatzes. Der Versuch hat ergeben, dass die Führung des Erntevorsatzes durch den Mähdrescher möglich ist. Es zeigte sich, dass die Höhenführung quer zur Fahrtrichtung zufriedenstellend arbeitet, jedoch in Fahrtrichtung noch weiter optimiert werden muss, um eine gleichbleibende Arbeitsqualität zu gewährleisten.

5.3.2 Einführung und Optimierung eines neuen Höhenführungssystems

Nach ersten Feldeinsätzen im Jahr 2018, wurde mit der Vorentwicklung eines Fahrerassistenzsystems begonnen. Dieses sollte eine statistische Istauswertung der Höhenführungssignale zur Qualität der Höhenführung während des Feldeinsatzes vornehmen. Anlass hierfür war die Feststellung, dass Mähdrescher unterschiedlicher Hersteller und Modellreihen eine sehr unterschiedliche Sensitivität im Regelverhalten

aufwiesen, worauf seitens des Erntevorsatzes nicht reagiert werden konnte. Parallel erfolgte die Erprobung des Höhenführungssystems Headsight Horizon (Headsight Inc.). Die HS3 wurden zur Ernte 2019 erstmals mit diesem System ausgerüstet. In der verwendeten Konfiguration werden die Signale von insgesamt fünf Bodentastbügel vor der Übergabe an die elektrohydraulische Steuerung des Mähreschers überarbeitet. Je nach Mährescher Modell erfolgt gegebenenfalls ein Übersteuern der Signale, um sehr schnelle Reaktionen auf sich ändernde Bodenkonturen zu erreichen. Die Agilität und somit die Qualität in der Höhenführung nehmen zu. Hiermit werden selbst die Unsicherheiten bei Radfahrwerken noch so kompensiert, dass keine Nachteile im Feld mehr feststellbar waren. Damit war die Notwendigkeit zur Entwicklung eines Fahrerassistenzsystems nicht länger gegeben.

Wird der Erntevorsatz unmittelbar an der Bodenoberfläche geführt, ist der Messbereich der Bodentastbügel sehr klein. Besonders schwierig wird es bei Bodenkontakt der Spitzen. Die Zusatzfunktion HEADSIGHT-ForSight erkennt diesen Zustand durch vorherige Kalibration und erhöht die Sensitivität bei geringem Abstand zum Boden. Durch die Möglichkeit die Signale von fünf Bodentastbügeln simultan verarbeiten zu können, erfüllt dieses System auch die Ansprüche zur Höhenführung bei mittig geteiltem Grundrahmen und separater Höhenführung beider Flügel (siehe Kapitel 5.4).

Das Headsight Horizon System ermöglicht zudem die Maschinensteuerung über ISOBUS. Somit können vorhandene ISOBUS-fähige Terminal des Mähreschers genutzt werden. Ein eigenständiges Terminal ist somit nicht zwingend notwendig.

5.3.2.1 Kalibrierung

Nur bei korrekter Kalibration des Höhenführungssystems, bestenfalls einmalig vor dem Ernteeinsatz, kann die Steuerelektronik des Mähreschers die korrekte Höhe des Erntevorsatzes über dem Boden berechnen und durch Verstellen der Position des Einzugskanals und des Schwenkschildes den Maispflücker bei Bodenunebenheiten sicher entlang der Bodenoberfläche führen und Bodenkontakt vermeiden. Als Erfolgskontrolle für die Kalibrierung gibt die Software des Höhenführungssystems eine Score aus. Er wird unmittelbar nach dem Kalibriervorgang im Terminal angezeigt. Eine hohe Score stellt eine gute Ausnutzung bzw. „Range“ der Sensorsignale dar. Bei einer niedrigen Score wird nur ein geringerer Teil des Sensorweges, bzw. des möglichen Ausgabesignals zum Steuern des Erntevorsatzes bzw. des Einzugskanals und Schwenkschildes des Mähreschers verwendet. Somit ist die Steuerung bei niedriger Score deutlich gröber und wenig feinfühlig.

Die Versuche zeigten, dass eine gute Qualität in der Höhenführung und damit der Stoppelbearbeitung bei ebener Bodenoberfläche ab einer Score von mindestens 90 % erreicht wird. Dieser ist nur zu erreichen, wenn die Kalibrierung auf ebenem und befestigtem

Untergrund durchgeführt wird. Bereits bei einer Score von 80 % zeigten sich eine erhöhte Häufigkeit von Bodenkontakt und eine Wellenform im Stoppelbild. Eine Kalibrierung im Feld ist somit unzureichend.

5.3.2.2 Grundeinstellungen

Zur Ermittlung der Mährescher-modellspezifischen Grundeinstellungen wurde ein Bewertungsschema erarbeitet, um die optimalen Grundeinstellungen des Mähreschers und Höhenführungssystems, zunächst für den unternehmenseigenen Mährescher Claas Lexion 760TT, zu ermitteln. Als relevante Einstellparameter des Mähreschers wurden die Sensibilität der Schnitthöhenregelung und der Querregelung identifiziert. Diese wurden gemeinsam mit den Einstellungsparametern der Höhenführungs-Software (Tilt Sensitivity, Rais Bias, Flex Sensitivity) variiert.

Über Messstrecken von 50 m Länge wurden im Feldversuch in Abständen von 2,5 m jeweils eine Maisstoppel je Reihe vermessen und bewertet. Die gemessenen Stoppelhöhen wurden im Anschluss mit den Messwerten der Höhensensoren verglichen und analysiert. Die Messungen wurden mit insgesamt 11 unterschiedlichen Grundeinstellungen durchgeführt, sodass 1.848 Maisstoppeln beurteilt wurden.

Die Analyse der Messdaten ergab, dass die Stoppelhöhe mit den vorhandenen Höhensensoren nicht zuverlässig geschätzt werden konnte. Die Daten der Höhensensoren des Horizon Star III Razor zeigten eine Wannenform, die sich im Stoppelbild jedoch nicht widerspiegelte. In Abbildung 15 ist ein Beispiel zur Auswertung der Messdaten dargestellt.

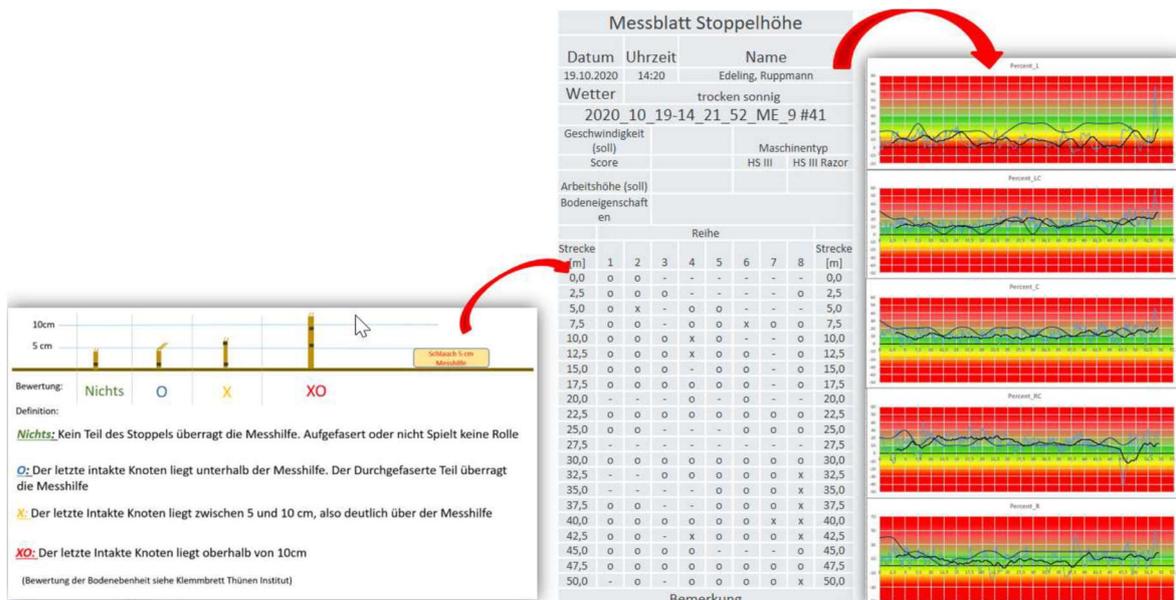


Abbildung 15: Beispiel für die Analyse des Zusammenhangs der gemessenen und nach Sensorwerten erwarteten Stoppelhöhen des Horizon Star III Razor

In der weiteren Auswertung erfolgte der Vergleich der unterschiedlichen Einstellungen auf Basis der Standardabweichungen der im Feld gemessenen Stoppelhöhen und der Stoppelhöhen laut Höhensensoren. Die eingeführte Methode zur Ermittlung der Grundeinstellungen am Mähdrescher und Höhenführungssystem liefert in der Betrachtung der Varianzen der Messdaten gute Anhaltspunkte zur Findung der optimalen Einstellungen, obwohl die tatsächliche Reststoppelhöhe nicht auf Grundlage der Sensormessdaten zu schätzen ist.

5.3.3 Höhenführungssensorik als Bodentastbügel

Als Alternative zur Anbringung der Bodentastbügel an den beweglichen Spitzen des Erntevorsatzes, wurde eine ortsfeste Verbindung zur Karosserie in Erwägung gezogen und 2019 erstmals getestet (Abbildung 16). Die Motivation zur Veränderung der Position der Tastbügel beruhte auf zwei Faktoren. Zum einen konnte der Tastbügel durch die ortsfeste Anbringung näher an den Arbeitspunkt des Horizontalhäckslers positioniert werden, zum anderen besteht bei einer ortsfesten Anbringung nicht die Notwendigkeit Bewegungen der Spitzen in Folge von Bodenkontakt softwareseitig auszugleichen. Die weiteren Versuche während der Ernteperiode 2020 zeigten jedoch, dass die ortsfeste Anbringung aufgrund des beengten Bauraums zu Schwierigkeiten durch Verklemmen der Bodentastbügel im Zusammentreffen mit feuchtem Erdanhang führte. Weiterhin stellte sich heraus, dass bei der Anbringung der Bodentastbügel an der Unterseite der Spitzen, das Softwaremodul ForeSight die Bewegungen der Spitzen ausreichend kompensieren und die Position des Erntevorsatzes sicher ermitteln konnte.



Abbildung 16: Höhenführungssensorik als Bodentastbügel

Vor dem Hintergrund dieser Resultate werden die Höhenführungssensoren auch weiterhin in den Spitzen montiert. Zum aktuellen Stand werden 8-reihige HS3 mit fünf

Höhenführungssensoren ausgeliefert, um eine entsprechend hohe Regelgüte zu ermöglichen. Zudem können viele Mähdrescher die Signale von nur zwei oder drei Höhenführungssensoren verarbeiten, sodass die Anbindung von fünf Sensoren nur durch das Headsight Horizon System möglich wird.

5.4 (Vor-) Entwicklung eines flexiblen Rahmenkonzepts (Razor) für größere Arbeitsbreiten

Entscheidend für eine gute Qualität der Stoppelbearbeitung durch den neu entwickelten Erntevorsatz ist die bodennahe Führung der Werkzeuge. Auf diese Weise können die Maisstoppeln unmittelbar an der Bodenoberfläche zerschlagen werden. Um dies zu gewährleisten, muss der Erntevorsatz der Bodenkontur möglichst präzise folgen. Der bislang vorgestellte HS3 basiert auf einer starren Rahmenbauweise mit acht Pflückaggregaten bei einem Reihenabstand von 75 cm. Um der Bodenkontur zu folgen, übermittelt die Software des Höhenführungssystems die Regelsignale an die Steuerelektronik des Mähdreschers. Diesen Signalen folgend, wird die Position des Erntevorsatzes zum Mähdrescher in zwei Achsen, längs und quer zur Fahrtrichtung, verändert. Hierzu werden die Höhe bzw. Position des Schrägförderers und des Schwenkschildes des Mähdreschers angepasst. In der aktuellen Maschinenkonfiguration mit 6 m Arbeitsbreite konnte sich diese Methode auf weitestgehend allen Versuchsfeldern bewähren. Die Boden Anpassung des Erntevorsatzes war für eine Arbeitsbreite von 6 m ausreichend. Erst wenn innerhalb der Arbeitsbreite des Erntevorsatzes erhebliche Unterschiede in den Höhen der Bodenkontur auftreten, kann unter Umständen nicht gewährleistet werden, dass alle Reihenaggregate gleichzeitig mit ihren Werkzeugen ausreichend flach über dem Boden geführt werden können (Abbildung 17). In diesem Fall kann es zu Einschränkungen in der Arbeitsqualität kommen. Das bedeutet, mit zunehmender Arbeitsbreite des Erntevorsatzes steigt das Risiko, dass über eine starre Bauweise des Erntevorsatzes keine ausreichende Boden Anpassung auf kuppelten Feldern gewährleistet werden könnte.

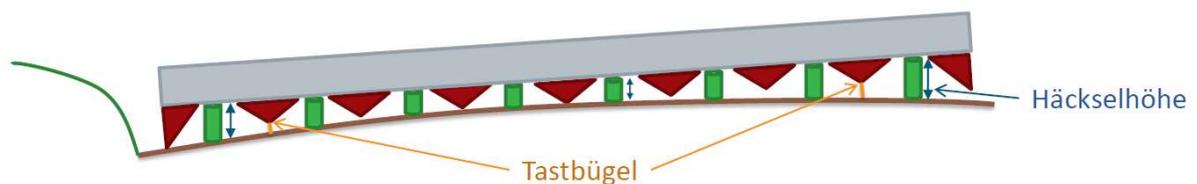


Abbildung 17: Einfluss von Bodenwellen innerhalb der Arbeitsbreite auf die Schnitthöhe

Um zukünftig auch die Nachfrage nach Maispflückern mit integrierter Stoppelbearbeitung in größeren Arbeitsbreiten bedienen zu können, sieht Geringhoff die Notwendigkeit eines flexibleren Rahmenkonzeptes, um eine hohe Arbeitsqualität auch auf kupierten Feldern zu ermöglichen. Aus diesem Grund erfolgte zur Ernte 2019 die Vorentwicklung des Horizon Star III Razor mit flexibler Rahmenbauweise. Abbildung 18 zeigt die Funktionsweise des Horizon Star III Razor zur Anpassung an Bodenunebenheiten.



Abbildung 18: Horizon Star III Razor mit geteiltem Grundrahmen

Das Hauptmerkmal dieses Maschinenkonzeptes ist die mittige Teilung des Grundrahmens. Beide Maschinenhälften werden über die Drehpunkte und Hydraulikzylinder individuell in der Höhe geführt. Die Flügel können jeweils um 8° nach oben und unten schwenken. Die Gesamthöhe des Vorsatzes wird weiterhin über die Position des Schrägförderers des Mähdreschers gesteuert. Zur individuellen Höhenführung ist dieser Erntevorsatz mit insgesamt fünf Bodentastbügeln ausgerüstet. Wobei jeweils zwei Tastbügel die Steuerung der Flügel übernehmen. Ein weiterer, mittig angeordneter Tastbügel, gibt die Signale zur Positionierung des Schrägförderers vor. Um ein entsprechendes Schwenken der einzelnen

Flügel zu ermöglichen, war zudem die mittige Teilung der Mulde sowie der Förderschnecke notwendig.

Der Horizon Star III Razor, mit neuem Rahmenkonzept, kam während der Ernte 2019 im Raum Ahlen in Verbindung mit einem Claas Lexion 760TT über einen Zeitraum von zwei Wochen zum Ersteinsatz.

Die Gutflussübergabe von den Flügeln der geteilten Maschine zur Maschinenmitte war stets gegeben, auch bei einem Verschwenken der Maschinenhälften. Es kam zu keinem Aufstauen des Ernteguts. Problematischer gestaltet sich die Übergabe des Ernteguts von der Maschinenmitte zum Schrägförderer des Mähdeschers. Aufgrund der geteilten Förderschnecke, um eine unabhängige Höhenführung der Maschinenhälften zu ermöglichen, ist im Bereich der Maschinenmitte konstruktionsbedingt keine aktive Förderung des Ernteguts vorhanden, die das Material aktiv dem Schrägförderer zuführen könnte. In dessen Folge kommt es zum Materialstau vor dem Schrägförderer, zwischen den Halterungen der Förderschnecken (siehe Abbildung 19). Das aufstauende Material schränkt den Druschbetrieb jedoch nicht ein.



Abbildung 19: Materialstau in der Maschinenmitte des Horizon Star III Razor

Aus diesen Erkenntnissen wurden in der Versuchssaison 2020 insgesamt 11 verschiedene Ansätze zur Problemlösung entwickelt und validiert. Die Modifikationen konnten bereits wesentlich zur Verbesserung des Gutflusses beitragen, bis zum Ende der Versuche 2020 konnte die Materialübergabe jedoch noch nicht optimal sichergestellt werden. Eine neue Bauform von Mulden mit verringertem Abstand der Querförderschnecken vom Schrägförderer konnte die Übergabe der Maiskolben an den Schrägförderer zusätzlich verbessern. Damit ist der Gutfluss sichergestellt, vergleichbar mit Serienmaschinen. Zudem wurde das Rahmenkonzept weiter optimiert und ist universell an alle Mähdescher adaptierbar.

5.5 Weitere Optimierungen von Einzelkomponenten und Anpassungen für spezielle Erntebedingungen

Für einen problemlosen Dauereinsatz des HS3 für die Stoppelzerkleinerung während der Ernte wurden diverse Einzelkomponenten gegenüber bisheriger Serienmaschinen angepasst. In den folgenden Kapiteln werden die wesentlichen Änderungen vorgestellt. Dazu zählen auch Anpassungen für besondere Erntebedingungen für Mais in Doppelreihen.

5.5.1 Anpassung des Antriebsstrangs an die erhöhten Anforderungen

Wie erläutert, ist der Leistungsbedarf des HS3 im Vergleich zu bisherigen Serienmaschinen deutlich höher. Hierzu ist der Antriebsstrang von der Eingangswelle bis zum Häckslermesser, neu auszulegen. Mit den neuen zu erwartenden Lastkollektiven, sind die Reihen- und Häckslerge triebe neu ausgelegt worden. Der Antriebsstrang wurde neu dimensioniert und zum Bau der Prototypen vorgegeben. Mit diesen neuen Komponenten wurden die Prototypen zur Ernte 2018 ausgerüstet.

Während der Einsätze im Versuchsjahr 2018 kam es zu keinen Schäden im Antriebsstrang. Dennoch gab die Befundung der Getriebeeinheiten im Winter 2018/19 Anlass, zusätzlich auch die Seitengetriebe neu zu dimensionieren. Zur Ernte 2019 wurden die eingesetzten Maschinen mit entsprechenden Getrieben ausgerüstet, die an eine sehr hohe Dauerlast des Systems angepasst sind.

Einzelne Versuchsmaschinen konnten während der Erntesaison 2019 über große Einsatzflächen von bis zu 400 ha in ihrer Dauerfestigkeit getestet werden. Der Antriebsstrang der Horizon Star III Versuchsmaschinen erwies sich im zweiten Projektjahr als dauerhaft. Dies gilt insbesondere für das neu dimensionierte Seitengetriebe.

Die Peakleistungen aus den Auswertungen zeigen einen sehr hohen Leistungsbedarf im Antriebsstrang zum Drescher. Die Peakleistungen sind abhängig von der Erntesituation (Mächtigkeit des Bestandes), sowie dem hieraus im Erntevorsatz resultierenden Durchsatz, sowie von der Arbeitsgeschwindigkeit des Mähdreschers. Hilfreich wäre für einen schadfreien Einsatz eine Lastanzeige des Mähdrescherantriebsstranges. Dieses gibt es heute noch nicht. Daher muß GERINGHOFF für seine HS3 heute sehr hohe Leistungsvoraussetzungen der Mähdrescherantriebe vorgeben. Aktuell sind 150KW Minimalleistung bei 8-reihigen HS3 ermittelt worden. Dieses führt zwar zu hohen Auslastungen im Antriebsstrang und damit verbundenen hohen Temperaturen, aber hierzu

sind die Getriebe des Vorsatzes ausgelegt und dauerhaft, was auch auf Prüfständen nachgewiesen ist.

5.5.2 Optimierung der Querverteilung des Maisstrohs

Die bislang am Horizon Star III verbauten Schwallbleche verursachten teilweise eine starke Schwadbildung des Maisstrohs. Ca. 70 % des Maisstrohs wird von den Pflückreihen gegen das Schwallblech geworfen und zu Boden geleitet (siehe Abbildung 20). Die ursprüngliche Funktion der Schwallbleche bei Vorgängermaschinen bestand darin zu verhindern, dass das Maisstroh entsprechend der Drehrichtung der Horizontalhäcksler zu einer Maschinenseite gefördert wird.



Abbildung 20: Schwadbildung bei Schwallblechen

Dies gab Anlass für Testfahrten mit demontierten bzw. optimierten Halbmond-schwallblechen im Vergleich zur Standardausführung. Zur Beurteilung der Güte der Querverteilung wurden zu zwei Ernteterminen bei unterschiedlichem Reifegrad der Maispflanzen Versuche durchgeführt. Die Messungen erfolgten jeweils bei drei unterschiedlichen Vorfahrtsgeschwindigkeiten von 3, 5 und 7 km/h. Als Maß zur Beurteilung der Querverteilung wurde die Schichtdicke des Maisstrohs gemessen. Bei demontierten Schwallblechen war eine deutlich gleichmäßigere Strohverteilung festzustellen. Als zusätzlicher Effekt zeigte sich eine deutliche Verbesserung in der Zerkleinerung und Zerkleinerung des Maisstrohs. Durch die Demontage der Schwallbleche konnte unter den Testbedingungen keine starke Umverteilung des Maisstrohs von der rechten zur linken Maschinenseite festgestellt werden. Vermutlich wird das Maisstroh durch den extrem tiefen

Schnitt des Horizon Star III weniger zur linken Maschinenseite gefördert, als zuvor bei anderen Maispflücker-Modellen beobachtet wurde. Auch die halbmondförmigen Schwallbleche führten, wie die Standardversion, zur Schwadbildung. Es wird in Sachen Schwallblech am HS3 zu einer Serienänderung (Korrektur des Zuschnittes) kommen, die die Schwadbildung minimiert. So wurde die Kontur der äußeren Schwallbleche angepasst. Die Schwallbleche der übrigen Reihen sind so verändert, dass sie in Abhängigkeit von den Erntebedingungen schnell demontiert werden können. Hier hat vor allem der Restfeuchtegehalt des Maises entscheidenden Einfluss auf das „Flugverhalten“ der Ernterückstände.

5.5.3 Validierung unterschiedlicher Gleitkufen im Feldeinsatz

Auch mit einem optimalen Höhenführungssystem, kann aufgrund des äußerst geringen Abstandes der Werkzeuge des Horizontalhäckslers zum Boden, sporadischer Bodenkontakt nicht vermieden werden. Zur weiteren Absicherung der Dauerfestigkeit der Maschine wurde die Anbringung spezieller Gleitkufen zur Vermeidung des tiefen Eindringens der Messer in den Boden getestet. Gleichzeitig sollen die Gleitkufen das teilweise auftretende Problem des Aufschiebens von Maisstroh vor den Pflückaggregaten lösen. Vergleichend erprobt wurden zwei Varianten von Kunststoffgleitkufen aus Robalon in einreihiger und zweireihiger Ausführung (siehe Abbildung 21).



Abbildung 21: Kunststoffgleitkufen

Im Vergleich zu den Ernteeinsätzen ohne Gleitkufen konnten beide Varianten die Performance deutlich verbessern. Bei sehr losem aber klebrigem Oberboden hatten jedoch beide Ausführungen Probleme, wodurch stellenweise Erde aufgeschoben wurde. Der zum Teil sehr klebrige Boden haftete im vorderen Bereich der Kufen an. Der hintere Teil der

Kufen, der effektiv über den Boden geführt wird, war hingegen größtenteils frei von Anhaftungen. Sowohl die einreihige als auch die zweireihige Gleitkufe schützte den Maispflücker überwiegend vor einem zu tiefen Einsinken in den Boden. Dennoch konnten Bodenkontakte der Hybridmesser nicht immer verhindert werden, wenn der Boden weicher wurde und die Kufen einsanken oder Erdhaufen an der Bodenoberfläche (Maulwurfshaufen) vorhanden waren. Die breitere Version der Gleitkufen konnte sich im weiteren Verlauf bewähren und wird in den Serienmaschinen eingesetzt. Sie liefern eine optimale Trageigenschaft bei begrenztem Bauraum.

5.6 Entwicklungsstand zum Projektende und Aussicht auf zukünftige Entwicklungsschritte

Zum Projektende steht der Horizon Star* III als serienreife Maschine für die Stoppelzerkleinerung während der Ernte zur Verfügung. Derzeit ist der HS3 in der Konfiguration als 8-reihiger Erntevorsatz für die Reihenabstände 70-75-80 cm verfügbar. Für den Straßentransport kann der Vorsatz optional in klappbarer Ausführung geliefert werden. Er kann mit aktuellen Modellen von Mähdreschern aller namenhaften Hersteller eingesetzt werden, die eine Antriebsleistung für den Vorsatz von mindestens 150 kW liefern können. Bislang befinden sich 25 Erntevorsätze bei landwirtschaftlichen Betrieben und Lohnunternehmen im Einsatz.

Eine zukünftige Ausweitung des Angebots auf größere Arbeitsbreiten bis 12 Reihen als auch kleinere Arbeitsbreiten wie 6 und 7 Reihen ist in Planung. Speziell für Arbeitsbreiten größer 6 m wird optional der flexible Rahmen Razor in die Serie eingeführt.

Auch weiterhin wird an der Optimierung der Verschleißteile für maximale Standzeiten gearbeitet. Verschiedene Grundmaterialien und Beschichtungen werden variiert und bewertet.

6 Versuche zur vergleichenden Validierung des Horizon Star* III

Neben einer Vielzahl von Komponenten- und Langzeittests wurde die Wirksamkeit und Effizienz des HS3 in gezielten Feldversuchen bewertet. Mit dem Ziel aussagekräftige Ergebnisse für die landwirtschaftliche Praxis zu erhalten, sind alle Versuche unter Praxisbedingungen auf Praxisschlägen und mit praxisüblicher Technik erfolgt. Die Versuche lassen sich damit in die Kategorie der On-Farm-Experimente einordnen. Abbildung 22 gibt eine grobe Gliederung der Versuchsinhalte wieder.

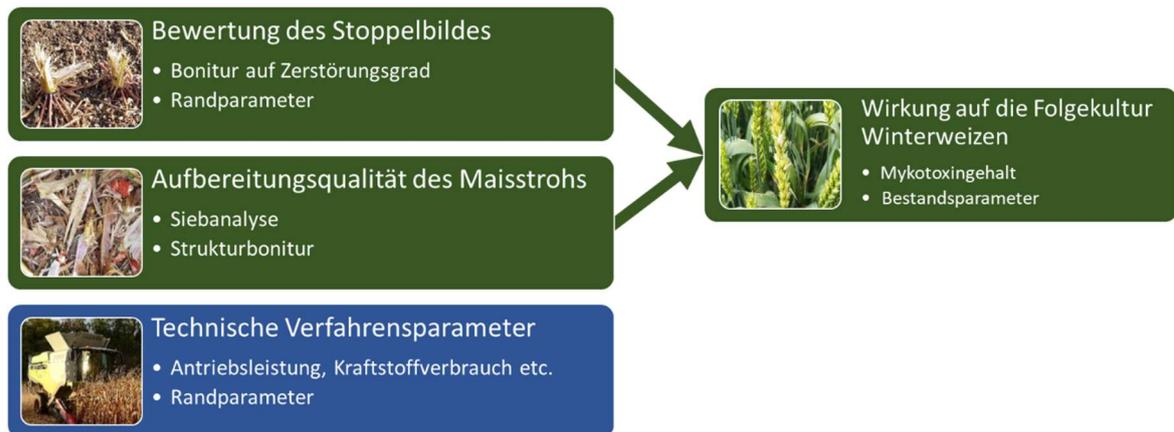


Abbildung 22: Inhaltliche Gliederung der Versuche

Im Fokus der Körnermaisversuche lagen vor allem die Arbeitsqualität des HS3, d.h. die Qualität der Stoppelzerkleinerung sowie die Aufbereitungsqualität des Maisstrohs. Diese wurde vergleichend zu Maispflückern mit Standardkonfiguration bewertet. Wo möglich kamen zusätzlich Schlegelmulcher im Nachernteverfahren für den Vergleich zur heutigen „best practice strategy“ zum Einsatz. Zur Klärung technischer Fragestellungen bezüglich des Energie- und Leistungsbedarfs sowie der Einflüsse bestimmter Betriebszustände wurden die Versuchsmaschinen mit Messtechnik ausgerüstet. An einzelnen Standorten erfolgte die Erweiterung des Versuches auf die Folgekultur Winterweizen. Somit sollten mögliche Unterschiede im Effekt auf das Infektionsgeschehen von Fusarium im Winterweizen in Abhängigkeit der verschiedenen Verfahren des Ernterückstandsmanagements im Körnermais identifiziert werden. Als Hauptparameter diente der Mykotoxingehalt des Weizens.

Damit in den Versuchen eine möglichst große Bandbreite unterschiedlicher Erntebedingungen abgebildet werden kann, wurden bundesweit Versuchsstandorte akquiriert. Die Versuche erstreckten sich von Baden-Württemberg über Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen bis nach Schleswig-Holstein. In jedem der vier Versuchsjahre wurden zwei Standorte ausgewählt. Einen Überblick gibt die Karte in Abbildung 23.



Abbildung 23: Übersichtskarte der Versuchsstandorte in Deutschland (Bildquelle: GDI-TH, Esri, HERE, Garmin, FAO, NOAA, USGS)

In den folgenden Kapiteln werden die Methoden und Ergebnisse der einzelnen Pakete von Versuchsinhalten vorgestellt und diskutiert.

6.1 Untersuchungen zur Aufbereitungsqualität der Erntereste im Körnermais

Die Untersuchungen zur Aufbereitungsqualität der Erntereste umfassen die Bewertung des Stoppelbildes sowie die Bewertung der Zerkleinerungsintensität und Struktur des Maisstrohs, ergänzt um beschreibende Randparameter. Die Methoden bauen auf das Bonitursystem für die Maisstoppelbearbeitung nach BRUNOTTE und VOßHENRICH (2017: 18–23) und VOßHENRICH et al. (2017: 24–26) auf. Im Laufe des Projektes wurden die Bewertungsmethoden als auch das Versuchsdesign mehrmals optimiert. Darüber hinaus war es an einzelnen Standorten bzw. für einzelne Versuchsfragen und zur Umsetzung einzelner Prüfglieder notwendig die Versuchsanlage an die standörtlichen Gegebenheiten anzupassen. In den folgenden Kapiteln werden zunächst die Bewertungsmethoden, gefolgt vom grundsätzlichen Versuchsdesign und den standortspezifischen Besonderheiten, beschrieben. Anschließend werden die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

6.1.1 Material und Methoden

6.1.1.1 Methoden zur Bewertung des Stoppelbildes

Um die Ergebnisse aus der Bewertung des Stoppelbildes der untersuchten Verfahren der Stoppelzerkleinerung einordnen zu können, müssen zusätzlich zur Bonitur des Zerstörungsgrades der Maisstoppeln Radparameter erhoben werden. Dazu gehören die Höhe der Reststoppeln, die Beschaffenheit der Bodenoberfläche im Bereich der Saatreihen und der Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen. Auf Basis der Erkenntnisse des ersten Versuchsjahres wurde ab dem Versuchsjahr 2019 zusätzlich eine Vorerntebonitur eingeführt.

6.1.1.1.1 Vorerntebonitur

Unabhängig davon, ob eine Maisstoppelbearbeitung mittels Schlegelmulcher oder direkt am Erntevorsatz vorgenommen werden soll, haben die Rahmenbedingungen einen entscheidenden Einfluss auf das erzielbare Arbeitsergebnis. Um ein Auffasern der Reststoppel bis zum Wurzelansatz zu erreichen, scheint es notwendig, die Werkzeuge unmittelbar am oder unterhalb des niedrigsten Knotens der Maispflanze zu führen. Andernfalls reißen die Maisstoppeln häufig nur bis zum nächst tieferen Knoten auf. Darunter bleibt ein intakter, für die Überwinterung des Maiszünslers geeigneter, Stängelabschnitt zurück. Ob das vollständige Auffasern der Maisstoppeln technisch möglich ist, hängt zum einen vom Abstand zwischen der Bodenoberfläche und dem untersten Knoten der Maispflanze und zum anderen von der Beschaffenheit der Bodenoberfläche ab. Stehen die Maisstoppeln in tiefen Mulden, bei gleichzeitig geringem Abstand des ersten Knotens von der Bodenoberfläche, sind sie nur schwer zu bearbeiten. Beide Faktoren wurden in der Vorerntebonitur berücksichtigt.

6.1.1.1.1.1 Abstand des ersten Knotens von der Bodenoberfläche

Der Abstand des ersten Knotens von der Bodenoberfläche kann von Feld zu Feld stark variieren und wurde in der Vorerntebonitur ab dem Versuchsjahr 2019 erfasst (siehe Abbildung 24). In jeder Versuchsparzelle erfolgte an zufällig ausgewählten Maispflanzen die Messung des Abstandes des ersten Knotens von der Bodenoberfläche (in 0,5 cm Schritten gerundet).

Hin und wieder tritt der Fall auf, in dem das erste Internodium kürzer als 3 cm ist. In einem solchen Fall wurde der Abstand des zweiten Knotens von der Bodenoberfläche gemessen und gleichzeitig das Vorhandensein eines weiteren Internodiums mit einer Länge von weniger als 3 cm dokumentiert. Es wird angenommen, dass zur Überwinterung der Larven des Maiszünslers mindestens ein 3 cm langes Stängelsegment notwendig ist, damit das

Platzangebot genügt. Nur in seltenen Ausnahmefällen wurden Larven in Internodien mit geringerer Länge vorgefunden.



Abbildung 24: Abstand des ersten Knotens von der Bodenoberfläche

6.1.1.1.2 Bewertung der Oberflächenbeschaffenheit der Ackerfläche im Bereich der Saatreihe

Grundsätzlich ist anzustreben die Werkzeuge zur Zerstörung der Reststoppel so flach über der Bodenoberfläche zu führen, dass die Stoppel bis zur Basis aufgefasert wird. Stehen die Stoppeln auf Dämmen so kann davon ausgegangen werden, dass die Stoppel durch die Werkzeuge ausreichend flach über dem Boden erfasst werden können. Stehen die Stoppeln hingegen in Mulden, so ist die Tiefenführung durch die Dämme zwischen den Reihen begrenzt. Dies kann die Arbeitsqualität der eingesetzten Werkzeuge verringern.

Zur Bewertung der Oberflächenbeschaffenheit der Ackerfläche wurde an der Position jeder bonitierten Maispflanze ein Messstab mit einer Länge von 130 cm quer zur Aussaatrichtung auf den Boden aufgelegt. Ausgehend von diesem Bezugspunkt wurde die Tiefe der Mulde bzw. die Höhe des Damms in/auf der sich die jeweilige Maispflanze befindet gemessen (siehe Abbildung 25). Diese Methode floss ab dem Versuchsjahr 2020 in die Vorerntebonitur ein.

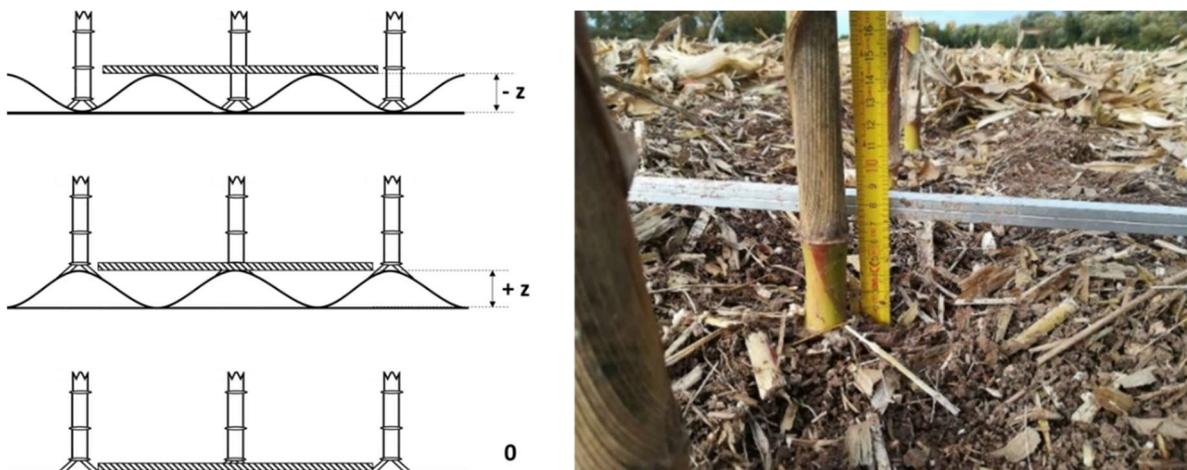


Abbildung 25: Bewertung der Oberflächenbeschaffenheit der Ackerfläche

6.1.1.1.2 Bonitur vor dem Mulchen

Die Beschaffenheit der Maisstoppeln, in Form des Habitus, hat Einfluss auf die Arbeitsqualität des im Nachernteverfahren eingesetzten Mulchers. Vor dem Mulchen wurde der Habitus der Maisstoppeln in den Parzellen der Mulcher-Varianten bewertet. Schräg stehende und abgeknickte Stoppeln, speziell in Bereichen mit Fahrspureinfluss, können zu einer erheblichen Verringerung des Arbeitserfolges führen. Abbildung 26 stellt den dreistufigen Boniturschlüssel dar.

Stoppeln - fest	Stoppeln - abgeknickt	Stoppeln - abgebrochen (Fahrspur)
		
1	2	3

Abbildung 26: Boniturschlüssel zum Habitus der Maisstoppeln (verändert nach BRUNOTTE und VOßHENRICH 2017: 20)

Die Bonitur erfolgte separat für Maisstoppeln innerhalb und außerhalb der Fahrspuren des Mähdreschers.

6.1.1.1.3 Bewertung des Stoppelbildes nach der Bearbeitung der Maisstoppeln

Das Problem, überfahrene und dadurch zu Boden gedrückte Stoppeln durch eine Bearbeitung mittels Schlegelmulcher im Nachernteverfahren zu erreichen, wurde in Kapitel 3.2.4.2 bereits erläutert. Hier liegt aus Sicht der Autoren ein wesentliches Potential zur Verbesserung der Qualität in der Stoppelbearbeitung durch den im Rahmen dieses Projektes entwickelten Erntevorsatz mit integrierter Stoppelbearbeitung (vgl. Kapitel 4). Die Maisstoppeln werden zerkleinert, bevor diese in Kontakt mit den Fahrwerken der eingesetzten Fahrzeuge kommen. Um diesen wesentlichen Effekt versuchstechnisch abbilden zu können, erfolgten die Bonituren des Zerstörungsgrades der Maisstoppeln separat für Teilflächen mit und ohne Fahrspureinfluss an zufällig ausgewählten Maisstoppeln nach Abschluss der Stoppelzerkleinerung. Über den angenommenen Anteil überfahrener Maisstoppeln von 25% kann eine Gewichtung erfolgen.

Zusätzlich zur Bewertung des Zerstörungsgrades der Maisstoppeln wurden deren Gesamthöhe sowie die Höhe des noch massiven Stängelabschnittes gemessen. Zudem erfolgte die Bewertung der Bodenoberfläche im Bereich der Saatreihe.

6.1.1.1.3.1 Bewertung des Stoppelbildes nach Zerstörungsgrad der Maisstoppeln

Die durchgeführten Bonituren erfolgten in Anlehnung an das „Bonitursystems für die Maisstoppelbearbeitung zur Anwendung in der Praxis“ nach BRUNOTTE und VOßHENRICH (2017: 18–23). Abbildung 27 stellt den fünfstufigen Boniturschlüssel dar.



Abbildung 27: Boniturschlüssel für die Maisstoppelbearbeitung (verändert nach BRUNOTTE und VOßHENRICH 2017: 20)

Zur Anwendung in diesem Projekt erfolgte eine eindeutige Definition der einzelnen Boniturstufen hinsichtlich der jeweils notwendigen Eigenschaften der Maisstoppeln zur Eingruppierung in die Boniturstufen. Die Definitionen sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Bewertet wurde die gesamte, noch mit dem Boden verwurzelte Reststoppel. Im Falle des Vorhandenseins mehrerer Internodien, ist für die Eingruppierung in die Boniturstufen das Internodium ausschlaggebend, welches die geringsten Beschädigungen aufweist, bzw. der höchsten Boniturstufe zuzuordnen ist. Wie bereits für die Vorerntebonitur in Kapitel 6.1.1.1.1 beschrieben, stellen Internodien mit einer Länge von weniger als 3 cm eine Ausnahme dar. Es wird angenommen, dass zur Überwinterung der Larven des Maiszünslers mindestens ein 3 cm langes Stängelsegment notwendig ist, damit das Platzangebot ausreicht. Aus diesem Grund werden bodennahe Internodien <3 cm in der Bewertung nicht berücksichtigt.

Tabelle 1: Definition der Boniturstufen zur Bewertung des Zerstörungsgrades der Maisstoppeln

Boniturstufe	Definition
1	Stängelwand > 50% offen, komplett zerfasert oder bis zum Wurzelansatz abgeschlagen
2	Stängelwand < 50-30% offen
3	Stängelwand < 30% offen
4	Stirnseite der Stoppel geöffnet, Knoten abgeschlagen und Stängelwand weitgehend intakt
5	Stoppel intakt, Stirnseite und Längsseite der Stoppel geschlossen

6.1.1.1.3.2 Ermittlung der Höhe der Maisstoppeln nach der Bearbeitung

Neben der Bestimmung des Zerstörungsgrades, werden die Gesamthöhe sowie die Höhe des zurückgebliebenen, massiven Anteils (ab 2019) der bonitierten Reststoppeln gemessen. Stängelabschnitte ohne nennenswerte Auffaserung, werden hierbei als massives Segment verstanden (siehe Abbildung 28).

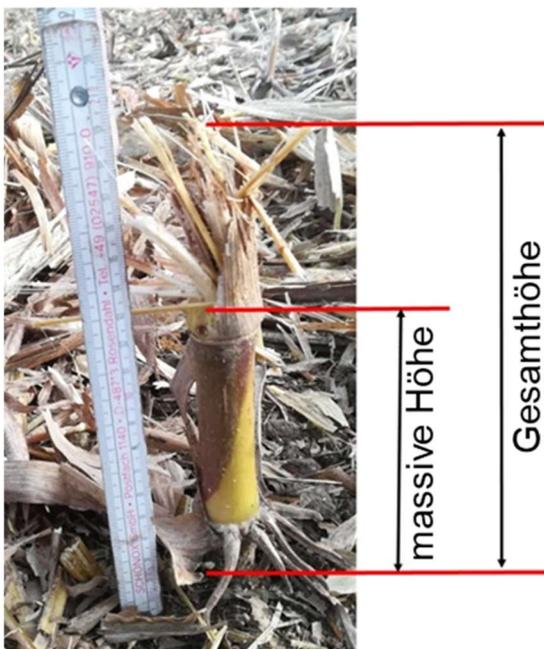


Abbildung 28: Bestimmung der Gesamtlänge und der Länge des massiven Stoppelanteils

6.1.1.1.3.3 Bewertung der Oberflächenbeschaffenheit der Ackerfläche im Bereich der Saatreihe nach der Bearbeitung der Maisstoppeln

Im ersten Versuchsjahr 2018 erfolgte die Bewertung der Oberflächenbeschaffenheit der Ackerfläche im Bereich der Saatreihe anhand des Boniturschlüssels nach BRUNOTTE und VOßHENRICH (2017: 20) zunächst nur in den Mulcher-Varianten. Der dreistufige Boniturschlüssel unterscheidet zwischen Maisstoppeln die auf Dämmen, auf ebener Oberfläche oder in Mulden stehen (siehe Abbildung 29).

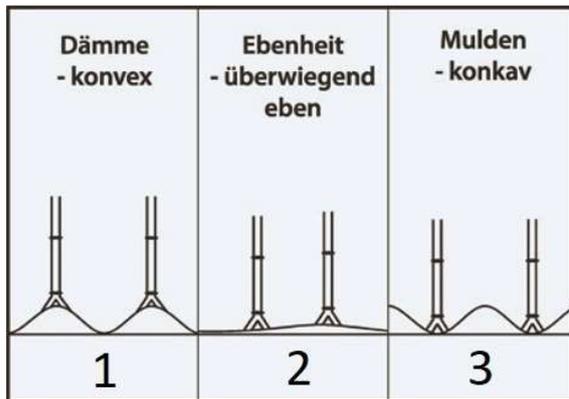


Abbildung 29: Boniturschlüssel zur Bewertung der Beschaffenheit der Bodenoberfläche (verändert nach BRUNOTTE und VOßHENRICH 2017: 20)

Nach dem sich die erhebliche Bedeutung der Beschaffenheit der Bodenoberfläche für den Erfolg einer Stoppelzerkleinerung im ersten Versuchsjahr zeigte, wurde mit dem zweiten Versuchsjahr 2019 die Messung entsprechend der in Kapitel 6.1.1.1.2 vorgestellten Methode eingeführt und auf alle Versuchsvarianten angewandt. Die Messungen erfolgten im Bereich jeder hinsichtlich des Zerstörungsgrades bewerteten Maisstoppel, um einen direkten Zusammenhang herstellen zu können.

6.1.1.2 Methoden zur Bewertung der Aufbereitungsqualität des Maisstrohs

Die Beurteilung der Aufbereitungsqualität des Maisstrohs erfolgte in Anlehnung an das „Bonitursystems für die Anwendung in der Wissenschaft“ nach VOßHENRICH et al. (2017: 24–26), mit kleineren Anpassungen. Die Bewertung der Zerkleinerungsintensität erfolgte durch die Siebfraktionierung von Proben des Maisstrohs. Eine anschließende Bonitur der groben Siebfraktionen ermöglichte die Bewertung der Struktur des Pflanzenmaterials.

Zur Entnahme der Proben wurde ein Alu-Rahmen mit einer Größe von 100 cm x 75 cm quer zur Aussaatrichtung auf das Maisstroh aufgelegt, sodass der Bereich einer Maisreihe über die Länge von 1 m erfasst werden konnte. Die Proben wurden anschließend für die Dauer von 12 bis 14 Tagen mittels Heißluftgebläse in einer Trockenkammer auf Gleichgewichts-

feuchte getrocknet. Zusätzlich zur Probenahme erfolgten eine Fotodokumentation des Stoppelbildes innerhalb des Alu-Rahmens sowie die Erfassung der Anzahl von Maisstoppeln im Boniturrahmen (Abbildung 30).



Abbildung 30: Beispiel des Stoppelbild vom Horizon Star* III (li.) und Horizon Star* II (re.) innerhalb des Boniturrahmens

6.1.1.2.1 Siebanalyse

Die Fraktionierung der getrockneten Maisstrohproben erfolgte mittels Siebanlage in sechs Fraktionen. Abbildung 31 zeigt die Kaskadensiebanlage mit den Abstufungen der Sieblochdurchmesser. Die Siebdecks sind mit Rundlochblechen bestückt. Die Siebfläche je Siebdeck beträgt ca. 2.200 cm² bei einer Neigung von ca. 5°. Der Exzenterantrieb mit einem Hub von 50 mm sorgt für die horizontale Bewegung der Siebe bei 250 U/min.



Abbildung 31: Kaskadensiebanlage des Thünen-Instituts für Agrartechnologie (verändert nach VOßHENRICH et al. 2017: 24)

Durch Verwiegen des Maisstrohs jeder Siebfraktion wurden die relativen Gewichtsanteile der Fraktionen an der Gesamtprobe ermittelt, um die Zerkleinerungsintensität bewerten zu können.

6.1.1.2.2 Strukturbonitur

Neben der Zerkleinerungsintensität ist sowohl für die Geschwindigkeit der Strohrotte als auch für die Möglichkeit der Überwinterung von Maiszünslerlarven im Inneren von Stängelsegmenten die Struktur des Pflanzenmaterials entscheidend. Aufgebrochenes, aufgefaserter Material bietet eine große Angriffsfläche und lässt Wasser eindringen, sodass eine zügige Rotte möglich wird. Blattmaterial hat in diesem Zusammenhang eine untergeordnete Bedeutung, es verrottet vergleichsweise schnell und eignet sich nicht als Winterquartier für Maiszünslerlarven. Die Bewertung der Struktur des Pflanzenmaterials beschränkt sich daher auf die Stängelsegmente des Maises. Zudem wird Pflanzenmaterial, das ein 30mm-Sieb passiert, als soweit aufbereitet angesehen, dass es keiner weiteren Begutachtung bedarf. Es ist nicht zu erwarten, dass dieses Material intakte Stängelsegmente enthält. Die Bewertung der Struktur ist somit auf die Stängelsegmente innerhalb der Siebrückstände des 30 mm und 67 mm Siebes beschränkt. Das übrige Pflanzenmaterial wurde entsprechend des angewandten Boniturschlüssels der Boniturstufe 1 (höchster Zerstörungsgrad) zugerechnet. Die Bewertung erfolgte nach dem bereits in Kapitel 6.1.1.1.3.1 vorgestellten Boniturschlüssels zur Bewertung des Stoppelbildes (siehe Abbildung 27).

Separat für beide Siebfractionen wurden zunächst alle Stängelsegmente mit einem Durchmesser >5 mm und einer Länge >3 cm entnommen und den Boniturstufen zugeordnet. Durch Wiegen wurde das Gewicht der Stängelsegmente je Siebfraction und Boniturstufe ermittelt, um die relativen Gewichtsanteile an der jeweiligen Siebfraction und an dem Gesamtgewicht der Probe zu ermitteln.

Im zweiten Schritt wurden die unvollständig zerstörten Stängelsegmente einer jeden Siebfraction und Boniturstufe nach ihrem Durchmesser, größer oder kleiner als 10 mm, nochmals in je zwei Fractionen unterteilt und ihre Anzahl festgestellt. Da sich die Maiszünslerlarven über die Vegetationsperiode hinweg in Richtung Wurzelansatz durch die Pflanze fressen, ist das Risiko eines Besatzes der oberen Pflanzenabschnitte zum Zeitpunkt der Ernte geringer. Zudem soll auf diese Weise dem Platzanspruch der Larven Rechnung getragen werden (vgl. Kapitel 3.1). Über die definierte Fläche der Proben von $0,75$ m² und den absoluten Häufigkeiten je Boniturstufe, sind Rückschlüsse auf den Besatz des Feldes mit unvollständig zerstörten Stängelfragmenten in Abhängigkeit vom Stoppelbearbeitungsverfahren möglich.

6.1.1.3 Grundsätzliches Versuchsdesign und Anpassungen an einzelne Versuchsstandorte

Die Aufbereitungsqualität der Erntereste wurde über die Projektlaufzeit primär an sieben Versuchsstandorten untersucht. Grundsätzlich erfolgte die Anlage der Versuche in Langparzellen entsprechend der Arbeitsbreite der Erntevorsätze von 6 m in mehrfacher Wiederholung als vollständige Blockanlage. Unter anderem durch die standörtlichen Gegebenheiten, wie beispielsweise die Feldabmessungen und der Abstand der Pflegespuren oder die Einführung zusätzlicher Versuchsvarianten, machten es notwendig die Versuchsanlagen an die Gegebenheiten anzupassen. Speziell auf der Grundlage der Erkenntnisse des ersten Versuchsjahres wurde das Versuchsdesign für die Folgejahre überarbeitet. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Versuchsstandorte zur Bewertung der Aufbereitungsqualität der Erntereste, die umgesetzten Versuchsvarianten und die Anzahl an Wiederholungen je Versuchsvariante.

Tabelle 2: Übersicht zu den Versuchsvarianten an den Versuchsstandorten zur Bewertung der Aufbereitungsqualität der Erntereste

Jahr	Standort	Versuchsvarianten*			Parzellen je Variante
		HS3	HS2	HS2+M	
2018	Zeutern	x	x	x	3
	Steinheim	x	x	x	3
2019	Stettfeld	x	x	x	6
	Bückeberg	x	x	x	6
2020	Kraichtal	x	x	x	6
	Timmaspe	x	x	x	5
2021	Wöbs	x	x		6

) HS3 = Horizon Star III HS2 = Horizon Star* II
 +M = Einsatz eines Schlegelmulchers im Nachernteverfahren

Aus Tabelle 2 geht hervor, dass der HS3 an allen Versuchsstandorten vergleichend zum Vorgängermodell HS2 eingesetzt wurde. Da sich HS2 und HS3 vom grundsätzlichen Aufbau bezüglich der Pflückaggregate und Horizontalhäcksler nicht unterscheiden, lässt sich durch Austauschen der Hybridmesser des HS3 gegen die Standardmesser des HS2 ein Wechseln zwischen beiden Modellen im Feld vollziehen. Die wesentlichen Unterschiede zwischen beiden Modellreihen, wie der neu ausgelegte Antriebsstrang und das neu eingeführte Höhenführungssystem, sowie die zahlreichen Detailoptimierungen des HS3 gegenüber dem HS2, beeinflussen die Wirkungsweise nicht (siehe Kapitel 5).

An sechs der sieben Versuchsstandorte ist die Variante HS2+M das dritte Prüfglied. Die Ernte erfolgte in dieser Variante auf gleiche Weise wie in der Variante HS2. Im Anschluss an die Ernte kam der jeweils betriebseigene Schlegelmulcher zum Einsatz.

Tabelle 3 fasst die Versuchsvarianten nochmals zusammen. Für die Serienmaschine HS2 wurde eine praxisübliche Stoppelhöhe von 15-25 cm angestrebt. Alle Erntevorsetze wurden in diesen Versuchen mit 6 km/h gefahren.

Tabelle 3: Beschreibung der Versuchsvarianten

Variante	Erntetechnik			Verfahren der Stoppelzerkleinerung
	Erntevorsatz	Arbeitshöhe	Geschwindigkeit	
HS3	Horizon Star* III	minimal	6 km/h	integriert
HS2	Horizon Star* II	15 – 25 cm	6 km/h	-
HS2+M	Horizon Star* II	15 – 25 cm	6 km/h	Schlegelmulcher

In den folgenden Kapiteln wird auf die standortspezifische Umsetzung der Versuche, d.h. den jeweiligen Versuchsplan, die eingesetzten Maschinen, erhobene Parameter und Versuchsbedingungen näher eingegangen.

6.1.1.3.1 Steinheim und Zeutern 2018: Versuchsplan, eingesetzte Maschinen und Rahmenbedingungen

Im ersten Versuchsjahr 2018 stand vor allem die Machbarkeit im Fokus der Versuche. Dies betraf sowohl die Eignung des neuen Maschinenkonzepts HS3 als auch die Methoden der Versuchsanstellung. Das Jahr 2018 war durch starke Trockenheit geprägt und sorgte für eine frühe Körnermaisernte mit totreifem Maisstroh (Abbildung 32).



Abbildung 32: Totreifer Maisbestand an den Standorten Zeutern (li.) und Steinheim (re.) 2018

Der nördliche Versuchsstandort befand sich im Landkreis Höxter in Nordrhein-Westfalen, ca. 4 km südöstlich von Steinheim, in der Steinheimer Börde. Die Ernte des Versuchsfeldes erfolgte am 12. Oktober 2018. In Abbildung 33 ist der Versuchsplan dargestellt.

Der Versuch wurde als randomisierte vollständige Blockanlage in Langparzellen mit dreifacher Wiederholung jedes Prüfgliedes angelegt. Die Breite der Versuchspartellen entsprach der Arbeitsbreite des Erntevorsatzes von 6 m bei einer Läng von 125 m.

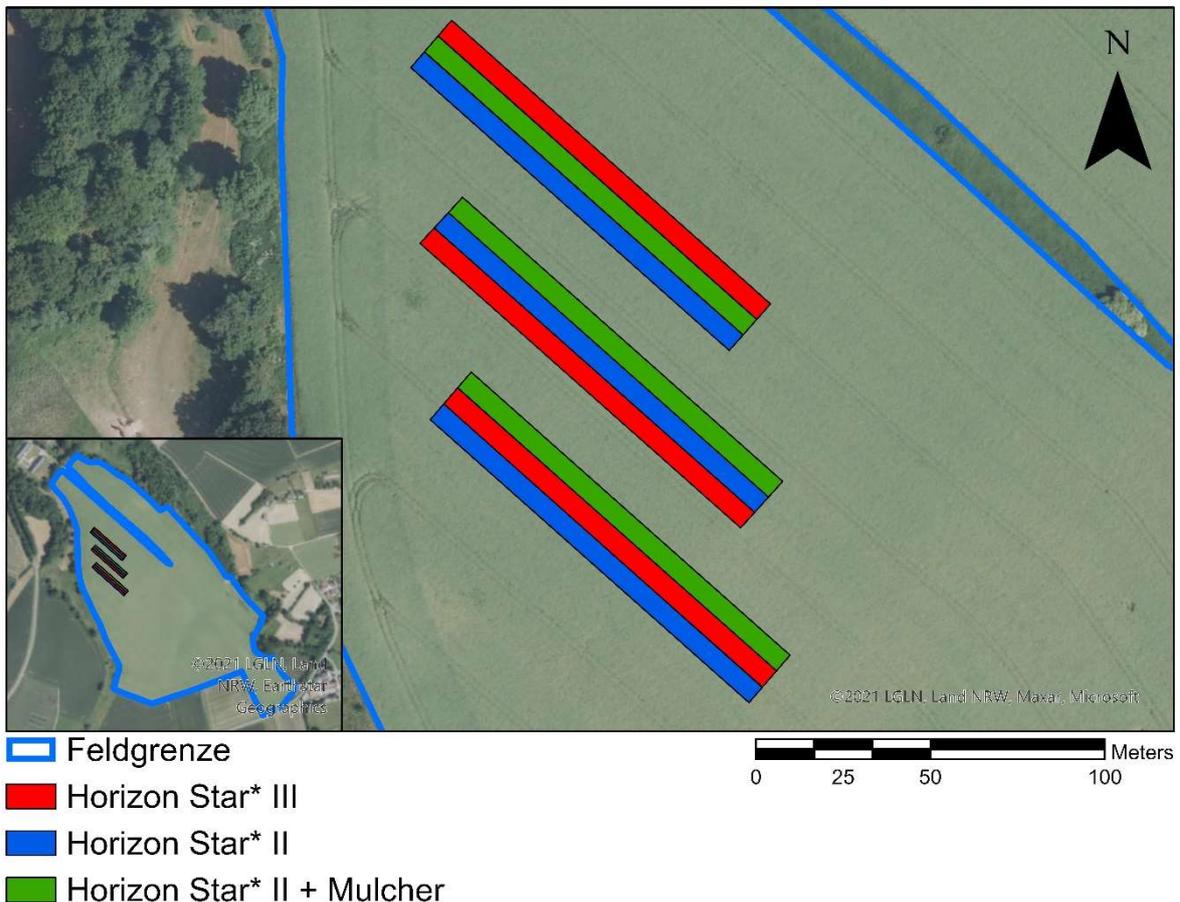


Abbildung 33: Versuchsplan Steinheim, Körnermais 2018

Für die Ernte der Versuchspartellen wurde ein Claas Lexion 760TT mit Bandlaufwerken eingesetzt. Zum Mulchen der Versuchspartellen stand ein Fendt 516 Vario mit Front- und Heckmulcher zur Verfügung. Bei den Mulchgeräten handelte es sich um Schlegelmulcher der Firma Mühling mit Hammerschlegeln.

Das im Naturraum Kraichgau im nordwestlichen Baden-Württemberg gelegene Versuchsfeld befand sich unweit des Ortsteils Zeutern der Gemeinde Ubstadt-Weiher. Die Kombination teils erheblicher Hanglagen und Lössböden eiszeitlicher Entstehung sorgen für eine hohe Gefährdung durch Wassererosion. Aus diesem Grund erfolgt die Bewirtschaftung dieses Versuchsstandortes bereits langjährig pfluglos. Die Versuche wurden am 20. September 2018 durchgeführt.

In Abbildung 34 ist der Versuchsplan am Standort Zeutern dargestellt. Die Partellen hatten identische Abmessungen wie am Versuchsstandort Steinheim. Aufgrund des geringeren Abstandes der Pflegespuren von 21 m, musste die Versuchsanlage angepasst werden.

Zwischen zwei benachbarten Pflegespuren konnten nur zwei Versuchspartellen angelegt werden, sodass innerhalb der Blöcke Leerparzellen entstanden.

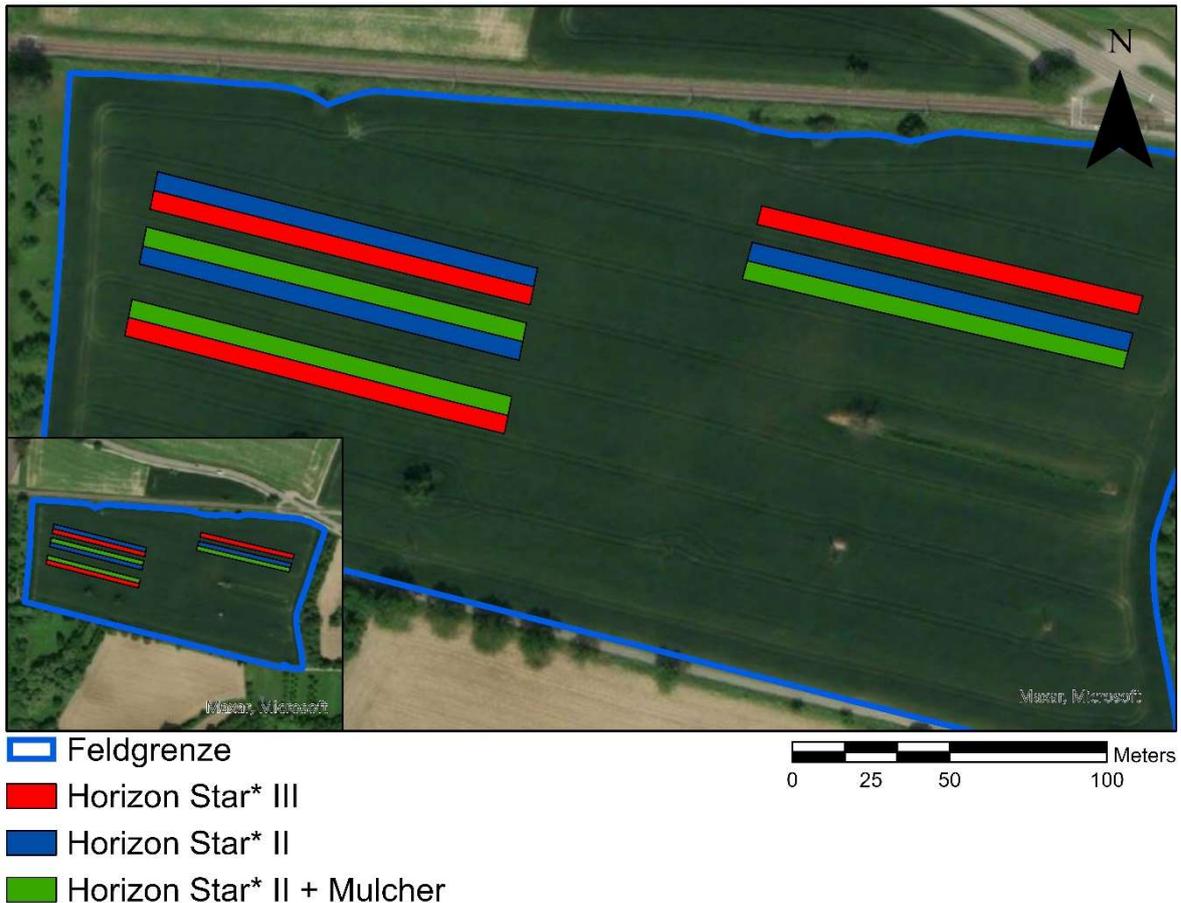


Abbildung 34: Versuchsplan Zeutern, Körnermais 2018

Zur Ernte kam ein Claas Lexion 770TT zum Einsatz. Durch die Fahrwerkskonfiguration dieses Mähdreschers, wurden während der Geradeausfahrt keine Maisstoppeln überfahren, die Bandlaufwerke und Hinterräder passten zwischen die Maisreihen. Gemulcht wurde mit einem Fendt 930 Vario und einem Sauerburger Albatros 6400, ausgestattet mit Y-Schlegeln.

Tabelle 4 gibt einen Überblick zu den erhobenen Daten und den jeweiligen Stichprobenumfängen. An beiden Versuchsstandorten sind jeweils 54 Proben des Maisstrohs durch Siebanalyse und Strukturbonitur hinsichtlich der Aufbereitungsqualität des Maisstrohs untersucht worden. Insgesamt 450 Maisstoppeln wurden am Standort Zeutern hinsichtlich ihres Zerstörungsgrades bewertet. Aufgrund der Fahrwerkparameter des Mähdreschers, konnte der Fahrspureinfluss nicht betrachtet werden. Am Standort Steinheim erfolgte die Bonitur von 270 Maisstoppeln innerhalb und 270 Maisstoppeln außerhalb der Fahrspuren des Mähdreschers.

Tabelle 4: Übersicht zur Datenerhebung an den Versuchsstandorten Steinheim und Zeutern 2018

		Stichprobenumfang je Parzelle (außerhalb der Fahrspuren / innerhalb der Fahrspuren)					
		Standort: Zeutern			Standort: Steinheim		
		Anzahl der Wiederholungen: 3			Anzahl der Wiederholungen: 3		
Versuchsvarianten:		HS3	HS2	HS2+M	HS3	HS2	HS2+M
Vorerntebonitur	Abstand des ersten Knotens von der Bodenoberfläche	-	-	-	-	-	-
	Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Messung)	-	-	-	-	-	-
Bonitur vor dem Mulchen	Habitus der Maisstoppeln	-	-	50/0	-	-	30/30
Bewertung des Stoppelbildes	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln	50/0	50/0	50/0	30/30	30/30	30/30
	Gesamthöhe der Maisstoppeln	50/0	50/0	50/0	30/30	30/30	30/30
	Höhe des massiven Stoppelsegments	-	-	-	-	-	-
	Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Messung)	-	-	-	-	-	-
	Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Bonitur)	-	-	40/0	-	-	30/0
Aufbereitungsqualität des Maisstrohs	Siebanalyse	6/0	6/0	6/0	6/0	6/0	6/0
	Strukturbonitur	6/0	6/0	6/0	6/0	6/0	6/0

6.1.1.3.2 Bückeberg und Stettfeld 2019: Versuchsplan, eingesetzte Maschinen und Rahmenbedingungen

Das sehr ebene, ca. 10 ha große Versuchsfeld im niedersächsischen Bückeberg bot sehr gute Bedingungen. Die Aussaat und Anlage der Versuchspartzellen erfolgte in der letzten Aprilwoche. Ausgesät wurde die Sorte Farmmoritz von Farmsaat, eine mittelfrühe Doppelnutzungssorte (S250, K240) mit einer Aussaatstärke von 90.000 Körnern/ha. Der Pflanzenbestand präsentierte sich sehr gleichmäßig und üppig. Zur Ernte am 6. November 2019 waren die Pflanzen noch sehr grün, während die Kolben erntereif waren. Dem Erntetermin gingen ergiebige Regenfälle voraus. Während der Ernte erneut einsetzender Regen, sorgte für schwierige Bedingungen für das Mulchen.

Zum zweiten Versuchsjahr erfolgte eine Überarbeitung der Versuchsanlage. Die wesentlichen Grundzüge des ursprünglichen Versuchsdesigns wurden beibehalten, sodass weiterhin ein Vergleich der Ergebnisse möglich ist. Der Versuch wurde als randomisierte vollständige Blockanlage mit sechs Wiederholungen angelegt. Die Länge der Parzellen betrug 75 m bei einer Breite von 6 m. Abbildung 35 zeigt den Versuchsplan am Standort Bückeberg.

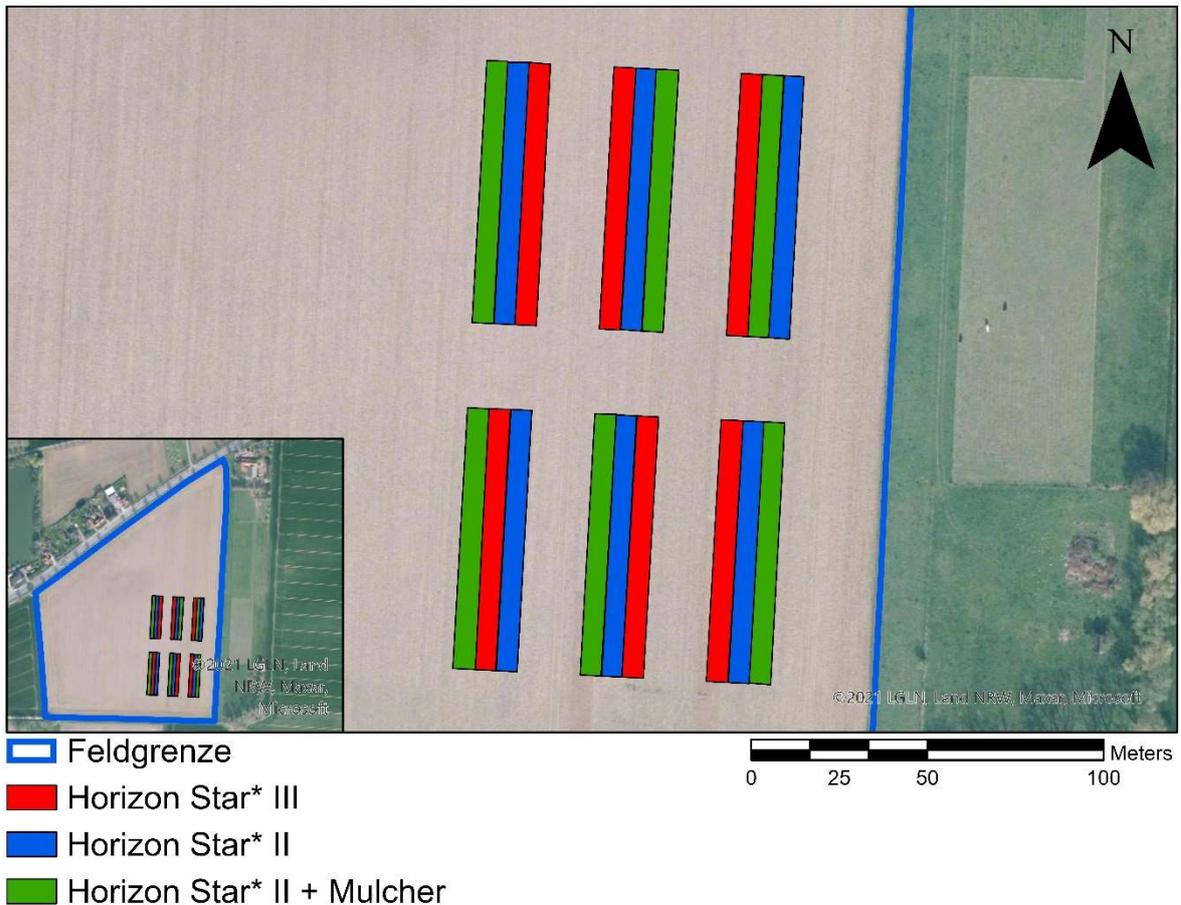


Abbildung 35: Versuchsplan Bückeberg, Körnermais 2019

Zur Ernte kamen die bereits im Vorjahr am Standort Steinheim 2018 verwendeten Maschinen zum Einsatz, ein Claas Lexion 760TT für die Ernte sowie ein Fendt 516 Vario mit Schlegelmulchern der Firma Mühling als Front- und Heckkombination. (vgl. Kapitel 6.1.1.3.1).

In Baden-Württemberg erfolgte die Anlage des Großparzellenversuches in der Gemeinde Stettfeld, unweit des Versuchsfeldes Zeutern aus dem Jahr 2018. Aufgrund der Lage im Tal ist das Versuchsfeld, anders als für diese Region typisch, nicht von Hanglagen betroffen, sondern sehr eben und damit zunächst für die Versuchsdurchführung gut geeignet. Bedingt durch Bodenbearbeitung, Aussaat und Bodenart, ergab sich jedoch eine vergleichsweise unebene Ackeroberfläche, mit in Mulden stehenden Maispflanzen. Die Bedingungen für eine Stoppelbearbeitung waren somit nicht optimal. Die Ernte des Versuchsfeldes erfolgte am 15. Oktober 2019. Auch an diesem Standort erschwerte Regen die Datenaufnahme in den Folgetagen. Darüber hinaus traten erhebliche Probleme in der Höhenführung des HS3 auf, in dessen Folge der Erntevorsatz nicht in einer optimalen Höhe über den Boden geführt werden konnte. Das Problem in der Höhenführung konnte im weiteren Verlauf des Versuchsjahres identifiziert und behoben werden.

Durch den im Vergleich engeren Abstand der Pflegespuren (21 m) waren Leerparzellen innerhalb der Blöcke notwendig (Abbildung 36).

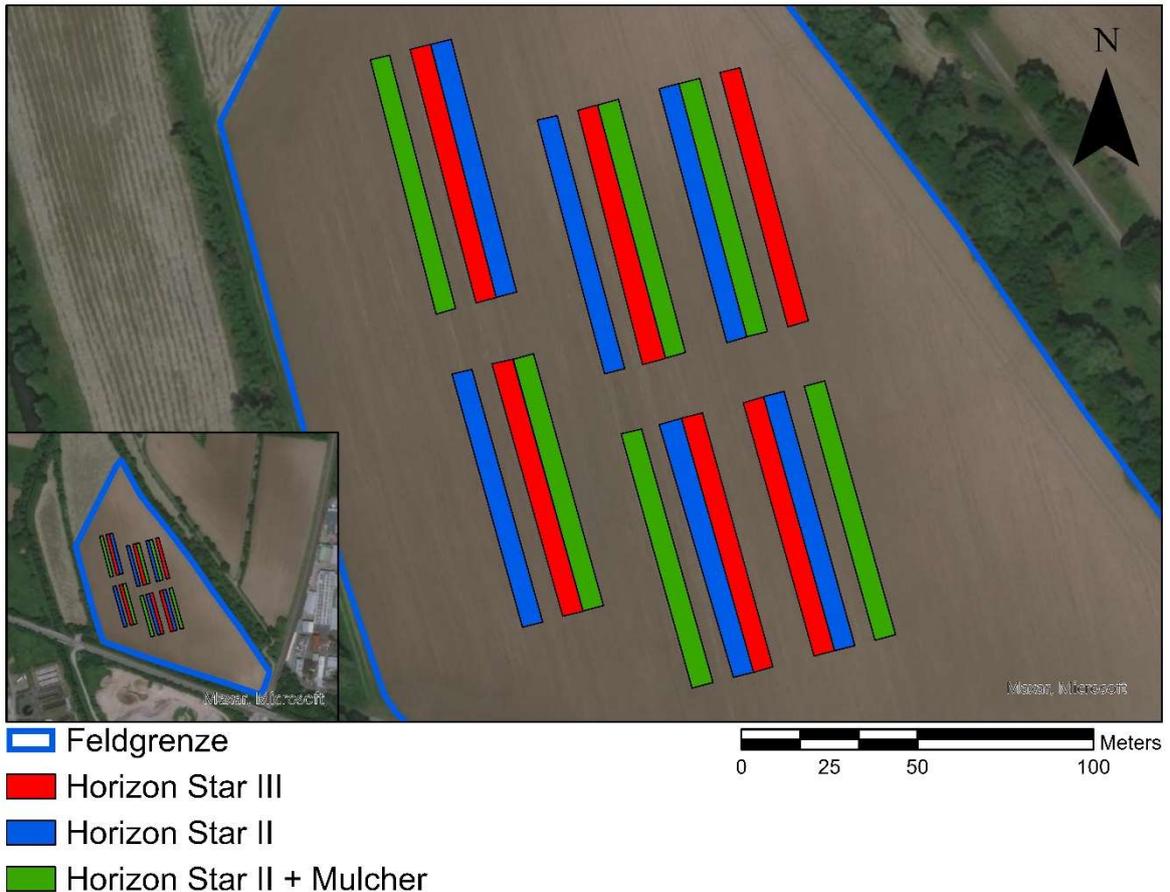


Abbildung 36: Versuchsplan Stettfeld, Körnermais 2019

Für die Ernte stand ein Claas Lexion 760TT mit Bandlaufwerken zur Verfügung. Die zu mulchenden Parzellen wurden mit einem Schlegelmulcher der Firma Maschio - ausgerüstet mit Hammerschlegeln - im Frontanbau eines Fendt 724 Vario bearbeitet.

Tabelle 5 gibt einen Überblick zu den erhobenen Daten und den jeweiligen Stichprobenumfang. An beiden Versuchsstandorten sind jeweils 54 Proben des Maisstrohs durch Siebanalyse und Strukturbonitur hinsichtlich der Aufbereitungsqualität des Maisstrohs untersucht worden. Zur Bewertung des Stoppelbildes war die Bonitur von 40 Maisstopplern innerhalb und 40 Maisstopplern außerhalb der Fahrspuren je Versuchspartzele vorgesehen. Aufgrund anhaltenden Starkregens im Anschluss an die Ernte am Standort Bückebug, hatte eine Reduktion des geplanten Stichprobenumfangs zu erfolgen. Nur in zwei Blöcken konnte der geplante Stichprobenumfang von je 40 Maisstopplern mit und ohne Fahrspureinfluss pro Versuchspartzele beibehalten werden, in den übrigen vier Wiederholungen wurde die Anzahl bonitierter Stopplern halbiert.

Tabelle 5: Übersicht zur Datenerhebung an den Versuchsstandorten Bückeurt und Stettfeld 2019

		Stichprobenumfang je Parzelle (außerhalb der Fahrspuren / innerhalb der Fahrspuren)					
		Standort: Bückeurt			Standort: Stettfeld		
		Anzahl der Wiederholungen: 6			Anzahl der Wiederholungen: 6		
Versuchsvarianten:		HS3	HS2	HS2+M	HS3	HS2	HS2+M
Vorerntebonitur	Abstand des ersten Knotens von der Bodenoberfläche	25	25	25	40	40	40
	Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Messung)	-	-	-	-	-	-
Bonitur vor dem Mulchen	Habitus der Maisstoppeln	-	-	40/40	-	-	40/40
	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln	20/20 (40/40)	20/20 (40/40)	20/20 (40/40)	40/40	40/40	40/40
Bewertung des Stoppelbildes	Gesamthöhe der Maisstoppeln	20/20 (40/40)	20/20 (40/40)	20/20 (40/40)	40/40	40/40	40/40
	Höhe des massiven Stoppelsegments	20/20 (40/40)	20/20 (40/40)	20/20 (40/40)	40/40	40/40	40/40
	Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Messung)	20/20 (40/40)	20/20 (40/40)	20/20 (40/40)	40/40	40/40	40/40
	Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Bonitur)	-	-	-	-	-	-
Aufbereitungsqualität des Maisstrohs	Siebanalyse	3/0	3/0	3/0	3/0	3/0	3/0
	Strukturbonitur	3/0	3/0	3/0	3/0	3/0	3/0

6.1.1.3.3 Kraichtal und Timmaspe 2020: Versuchsplan, eingesetzte Maschinen und Rahmenbedingungen

Die Maisaussaat 2020 erfolgte in der Region Kraichtal unter sehr trockenen Bodenbedingungen. Die Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) im ca. 20 km entfernt gelegenen Waghäusel meldete für den Monat März eine Niederschlagsmenge von 54 mm. Ab dem 20. März bis zum 28. April blieb es für 38 Tage trocken. Die Tagesdurchschnittstemperatur betrug in diesem Zeitraum 11,4 °C. An 19 Tagen stieg die Tageshöchsttemperatur auf über 20 °C, an 7 Tagen sogar auf über 25 °C. Erst in den letzten Apriltagen gab es Niederschläge. Im gesamten Monat April belief sich die Niederschlagsmenge auf 6 mm. Im Mai folgten insgesamt 44 mm Niederschlag, von denen 27 mm am 11. Mai fielen (DWD Climate Data Center 2021).

Auf dem Versuchsfeld wurde der Mais nach Vorfrucht Mais im Stip-Till-Verfahren bestellt. Durch die Mulchbedeckung konnte der Boden ausreichend Feuchtigkeit für einen gleichmäßigen Feldaufgang halten. Gleichzeitig sorgte das Bestellverfahren für eine sehr ebene Ackeroberfläche, allerdings mussten einige Parzellen im Seitenhang angelegt werden (siehe Abbildung 37, rechts). Auf vielen konventionell bestellten Feldern der Region lief der Mais hingegen sehr ungleichmäßig und mit großen Lücken auf. Nicht selten hatten sich hohe Dämme zwischen den Maisreihen gebildet (siehe Abbildung 37, links)



Abbildung 37: Feldaufgang und Beschaffenheit der Bodenoberfläche auf den Versuchsfeldern Zeutern (li.) und Kraichtal (re.)

Der Versuch wurde wie bereits im Vorjahr in Langparzellen mit sechsfacher Wiederholung jedes Prüfgebietes angelegt. Die Breite der Versuchspartellen entsprach der Arbeitsbreite des Erntevorsatzes von acht Reihen, bei einem Reihenabstand von 75 cm (6 m). Die Länge der Partellen betrug 75 m. Abbildung 38 zeigt den Versuchsplan des Standortes Kraichtal.

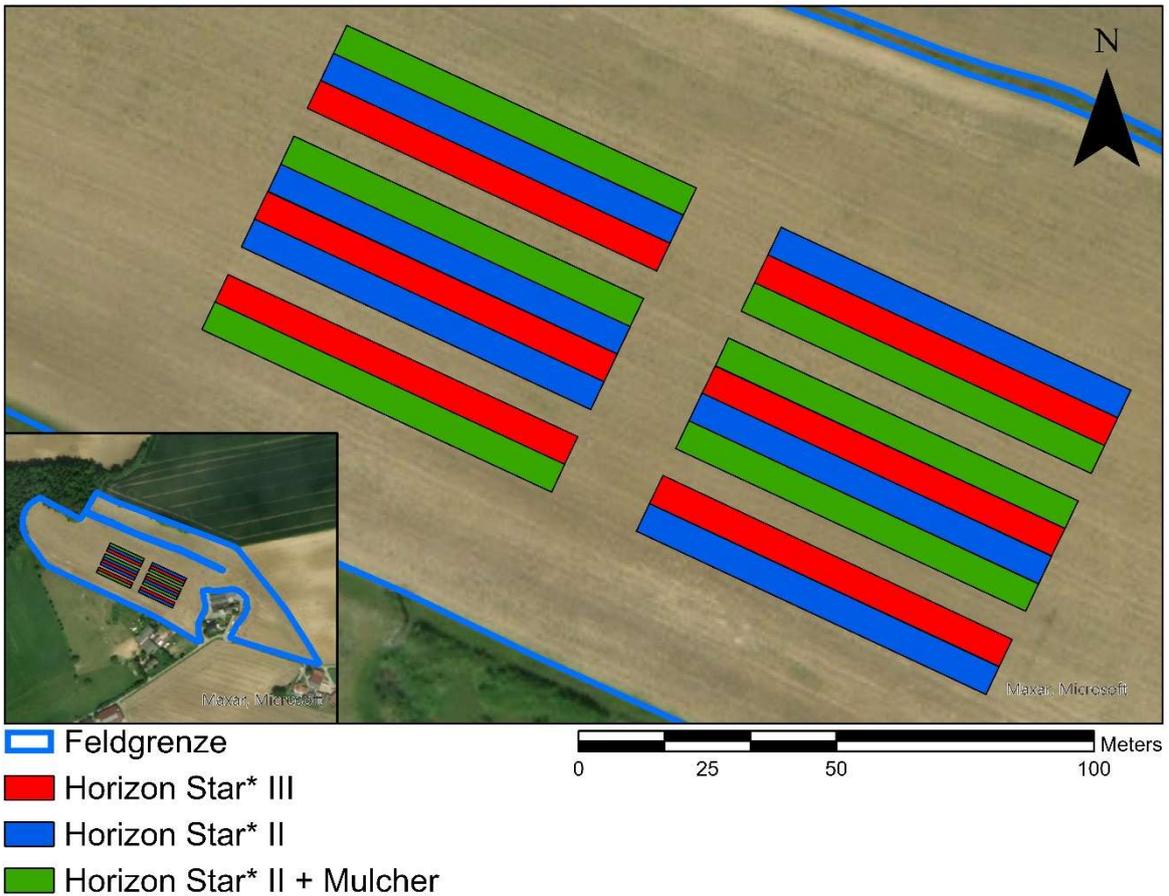


Abbildung 38: Versuchsplan Kraichtal, Körnermais 2020

Zur Ernte am 7. Oktober präsentierte sich der Bestand gleichmäßig. Wie bereits im Vorjahr stand ein Claas Lexion 760TT mit Bandlaufwerk zur Verfügung. Die zu mulchenden Parzellen wurden mit Schlegelmulchern der Firma Sauerburger als Front-Heck-Kombination bearbeitet. Sowohl Front- als auch Heck-Mulcher waren mit Y-Schlegeln ausgerüstet. Die effektive Arbeitsbreite betrug 9,35 m. Zum Mulchen wurde ein Fendt 828 Vario eingesetzt. Da die Arbeitsbreite des Mulchers die des Erntevorsatzes überstieg, wurden die angrenzenden Parzellen ebenfalls mittels HS2 geerntet.

Am Versuchsstandort Timmaspe, gelegen in der holsteinischen Geest, wurden die Parzellen der Variante HS2 doppelt genutzt. Im Anschluss an die Ernte erfolgten die Probenahmen und Bonituren in den Parzellen. Anschließend wurden die Parzellen der Variante HS2 gemulcht, erneut bonitiert und beprobt.

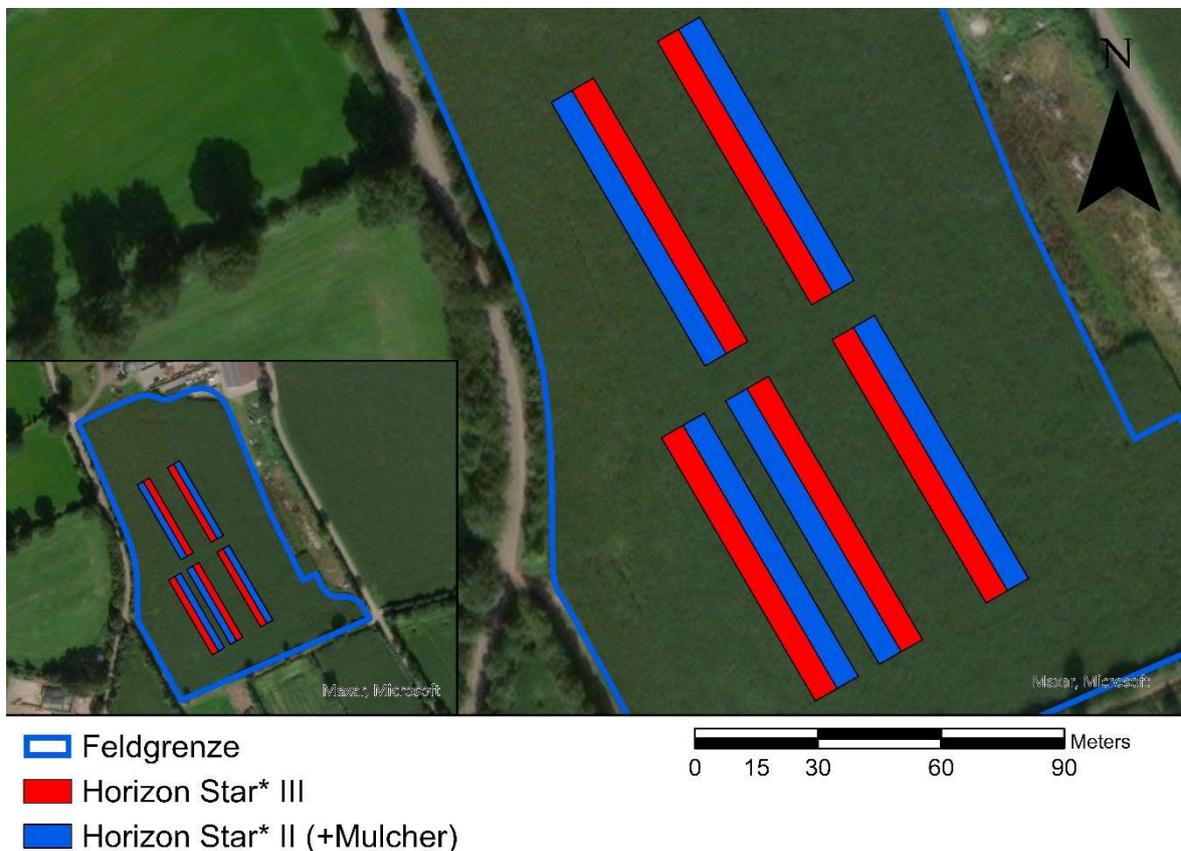


Abbildung 39: Versuchsplan Timmaspe, Körnermais 2020

Der Versuch wurde als vollständige Blockanlage in Langparzellen mit je fünf Wiederholungen der Prüfglieder HS3 und HS2 angelegt. Die Breite der Versuchspartikeln entsprach der Arbeitsbreite des Erntevorsatzes von acht Reihen, bei einem Reihenabstand von 75 cm (6 m). Die Länge der Partikeln betrug 75 m. In Abbildung 39 ist der Versuchsplan vom Standort Timmaspe dargestellt.

Die Ernte erfolgte am 20. Oktober bei einer Kornfeuchte von ca. 30 %. Die unterschiedlichen Erntevorsätze wurden mit einem Mähdrescher des Typs MF AGCO IDEAL 8T eingesetzt. Nach kleineren Regenschauern wurden die Parzellen der Versuchsvariante HS2 am 22. Oktober gemulcht. Zum Einsatz kam hierbei ein Fendt 936 Vario mit einem Schlegelmulcher der Firma Sauerburger als Front-Heck-Kombination. Sowohl Front- als auch Heck-Mulcher waren mit Hammerschlegeln ausgerüstet. Die effektive Arbeitsbreite betrug 9,35 m.

Tabelle 6 gibt einen Überblick zu den erhobenen Daten und den jeweiligen Stichprobenumfängen.

Tabelle 6: Übersicht zur Datenerhebung an den Versuchsstandorten Kraichtal und Timmaspe 2020

		Stichprobenumfang je Parzelle (außerhalb der Fahrspuren / innerhalb der Fahrspuren)					
		Standort: Kraichtal			Timmaspe		
		Anzahl der Wiederholungen: 6			5		
		Versuchsvarianten:		HS3	HS2	HS2+ M	HS3
Vorerntebonitur	Abstand des ersten Knotens von der Bodenoberfläche	40	40	40	40	40	40
	Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Messung)	40	40	40	40	40	40
Bonitur vor dem Mulchen	Habitus der Maisstoppeln	-	-	40/40	-	-	40/40
Bewertung des Stoppelbildes	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20
	Gesamthöhe der Maisstoppeln	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20
	Höhe des massiven Stoppelsegments	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20
	Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Messung)	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20	20/20
	Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Bonitur)	-	-	-	-	-	-
Aufbereitungsqualität des Maisstrohs	Siebanalyse	3/0	3/0	3/0	3/0	3/0	3/0
	Strukturbonitur	3/0	3/0	3/0	3/0	3/0	3/0

6.1.1.3.4 Wöbs 2021: Versuchsplan, eingesetzte Maschinen und Rahmenbedingungen

Im letzten Versuchsjahr 2021 wurde die Intensität der Stoppelzerkleinerung am Versuchsstandort Wöbs, gelegen im schleswig-holsteinischen Landkreis Ostholstein, untersucht. Eine späte Abreife und schwierige Witterungsbedingungen sorgten für eine späte Ernte. Der Versuch konnte erst am 30. November 2021 durchgeführt werden.

Der Versuch wurde als randomisierte vollständige Blockanlage mit sechs Wiederholungen angelegt. Die Länge der Parzellen betrug 75 m bei einer Breite von 6 m. Abbildung 40 zeigt den Versuchsplan am Standort Wöbs. Aufgrund eines Wildschadens im westlichen Teil des Feldes musste ein Block in den östlichen Teil des Feldes verlegt werden (siehe rechter Kartenausschnitt).

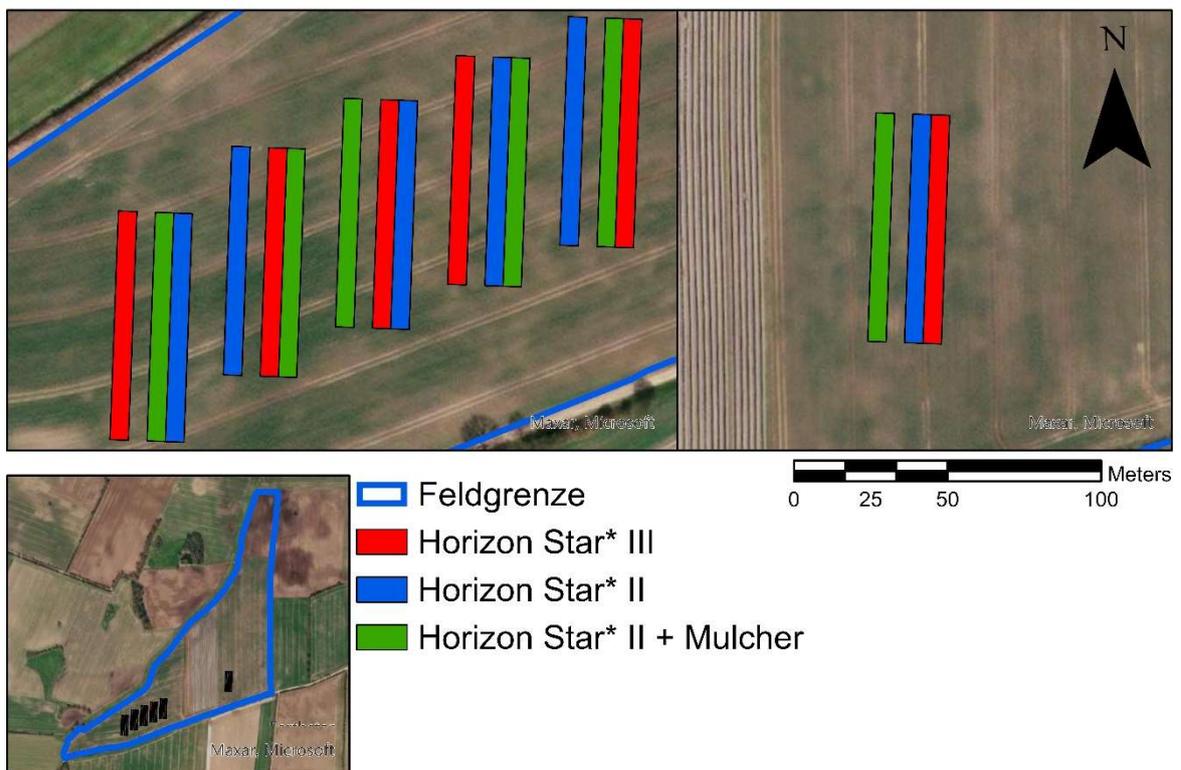


Abbildung 40: Versuchsplan Wöbs, Körnermais 2021

Unmittelbar nach der Ernte einsetzender Schneefall machte das Mulchen der Versuchspartellen unmöglich, sodass für die Variante Horizon Star* II + Mulcher keine Daten aus der Stoppelbonitur vorliegen. Beim eingesetzten Mähdrescher handelte es sich um einen MF AGCO IDEAL 9T.

Tabelle 7 gibt einen Überblick zu den erhobenen Daten am Versuchsstandort Wöbs.

Tabelle 7: Übersicht zur Datenerhebung am Versuchsstandort Wöbs 2021

		Stichprobenumfang je Parzelle (außerhalb der Fahrspuren / innerhalb der Fahrspuren)		
		Standort: Wöbs		
		Anzahl der Wiederholungen: 6		
		Versuchsvarianten: HS3 HS2 HS2+M		
Vorerntebonitur	Abstand des ersten Knotens von der Bodenoberfläche	40	40	40
	Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Messung)	40	40	40
Bonitur vor dem Mulchen	Habitus der Maisstoppeln	-	-	20/20
Bewertung des Stoppelbildes	Zerstörungsgrad der Maisstoppeln	20/20	20/20	-
	Gesamthöhe der Maisstoppeln	20/20	20/20	-
	Höhe des massiven Stoppelsegments	20/20	20/20	-
	Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Messung)	20/20	20/20	-
	Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Bonitur)	-	-	-
Aufbereitungsqualität des Maisstrohs	Siebanalyse	-	-	-
	Strukturbonitur	-	-	-

6.1.2 Ergebnisse

6.1.2.1 Ergebnisse zur Bewertung des Stoppelbildes

Die Bewertung des Stoppelbildes erfolgte über die Projektlaufzeit an insgesamt sieben Versuchsstandorten. In Folge verschiedener Einflüsse zeigen sich sehr heterogene Ergebnisse über die Versuchsstandorte, daher wird in den folgenden Kapiteln auf erzielte Ergebnisse an den einzelnen Versuchsstandorten eingegangen.

6.1.2.1.1 Steinheim und Zeutern 2018

Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der Bonitur zur Beschaffenheit der Bodenoberfläche in der Variante Mulcher an den Versuchsstandorten Zeutern und Steinheim. Insgesamt war die Beschaffenheit der Ackeroberfläche am Versuchsstandort Zeutern, mit 71,7% Anteil der Boniturstufen 1 (Stoppeln auf leichten Dämmen) und 2 (Stoppeln auf ebener Oberfläche) positiv zu bewerten. Nur 28,3% der Maisstoppeln standen entsprechend der Boniturstufe 3 in Mulden.

Tabelle 8: Beschaffenheit der Bodenoberfläche außerhalb der Fahrspuren in den Parzellen der Mulcher-Variante an den Versuchsstandorten Zeutern und Steinheim

Standort	Block	Boniturstufe [%]			Mittlere Boniturnote
		1	2	3	
Zeutern	A	27.5	47.5	25.0	2.0
	B	22.5	35.0	42.5	2.2
	C	10.0	72.5	17.5	2.1
	Mittelwert	20.0	51.7	28.3	2.1
Steinheim	A	8.3	12.5	79.2	2.7
	B	0.0	16.7	83.3	2.8
	C	0.0	0.0	100.0	3.0
	Mittelwert	2.8	9.7	87.5	2.8

Am Versuchsstandort Steinheim mussten die Verfahren der Stoppelbearbeitungen mit ungünstigeren Randbedingungen umgehen als am Versuchsstandort Zeutern. In den Parzellen der Variante Mulcher standen 87,5% aller Stoppeln in Mulden, im Block C sogar 100%. Erschwerend kam hinzu, dass der untere Stängelabschnitt der Maispflanzen zwischen Wurzelansatz und erstem Nodium sehr kurz war. Abbildung 41 macht die Problematik deutlich.



Abbildung 41: In Mulden stehende Stoppeln mit sehr kurzem unterem Stängelsegment am Standort Steinheim

Stehen Stoppeln mit sehr kurzem unterem Stängelsegment in Mulden, so wird die Stoppel bei der Bearbeitung bis zum Nodium zerstört und zerfasert. Darunter bleibt ein intakter Stängelabschnitt zurück. Diese Umstände schlugen sich in den Ergebnissen zum Zerstörungsgrad der Maisstoppel nieder (siehe Tabelle 11).

Der Habitus der Maisstoppel vor einer Stoppelbearbeitung im Nachernteverfahren kann erheblichen Einfluss auf die Arbeitsqualität haben. In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Bonitur in der Mulcher-Variante an den Versuchsstandorten Zeutern und Steinheim dargestellt. Aufgrund der Fahrwerkskonfiguration des am Standort Zeutern eingesetzten Mähdreschers, wurden während der Ernte innerhalb der Versuchspartzen keine Maisstoppeln überfahren, entsprechend liegen keine Boniturergebnisse aus Fahrspurbereichen vor.

Tabelle 9: Boniturergebnis zum Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen der Versuchspartellen an den Versuchsstandorten Zeutern und Steinheim

Standort	Fahrspur	Block	Boniturstufe [%]			Mittlere Boniturnote
			1	2	3	
Zeutern	außerhalb	A	96.0	4.0	0.0	1.0
		B	98.0	2.0	0.0	1.0
		C	96.0	4.0	0.0	1.0
		Mittelwert	96.7	3.3	0.0	1.0
Steinheim	außerhalb	A	93.3	6.7	0.0	1.1
		B	73.3	26.7	0.0	1.3
		C	100.0	0.0	0.0	1.0
		Mittelwert	88.9	11.1	0.0	1.1
Steinheim	innerhalb	A	0.0	55.2	44.8	2.4
		B	0.0	75.9	24.1	2.2
		C	0.0	82.8	17.2	2.2
		Mittelwert	0.0	71.3	28.7	2.3

Mit einem durchschnittlichen Anteil von 96,7% feststehender Maisstoppeln entsprechend der Boniturstufe 1 (ohne Fahrspureinfluss) am Standort Zeutern, boten sich gute Bedingungen für das Mulchen. Mit einem Anteil von durchschnittlich 88,9% fest stehender Maisstoppeln außerhalb der Fahrspuren, war das Bild am Standort Steinheim ähnlich. Im Fahrspurbereich, waren hingegen keine fest stehenden Maisstoppeln vorzufinden. Mit durchschnittlich 71,3% war der Großteil der Maisstoppeln geknickt (Boniturstufe 2), 28,7% der Maisstoppeln lagen am Boden.

In Tabelle 10 sind die Ergebnisse der Bonituren des Zerstörungsgrades der Maisstoppeln (ohne Fahrspureinfluss) am Versuchsstandort Zeutern dargestellt. Mit 87,3% und 86,7% vollständig zerstörter Maisstoppeln (Boniturstufe 1) in den Varianten HS2+M und HS3 liegen diese, den Zielen entsprechend, gleich auf. Werden die Boniturstufen 2 und 3, als höchstwahrscheinlich „nichtzünslerfähiges“ Material, zusammen betrachtet, so erzielte die Variante HS3 mit 93,4%, gegenüber 89,3% in der Variante HS2+M, ein geringfügig besseres Ergebnis. Entsprechend wenige vollständig intakte Stoppeln mit abgeschlossenen Internodien (Boniturstufe 5) blieben auf dem Feld zurück. Mit durchschnittlich 4,0% Anteil erreichte die Variante HS3 gegenüber der Variante HS2+M mit 8,7% ein etwas besseres Ergebnis. Es ergaben sich jedoch erhebliche Schwankungen zwischen den Wiederholungen innerhalb der Varianten. In der Variante HS2, ohne Stoppelbearbeitung, waren mit durchschnittlich 86,0% erwartungsgemäß die meisten Maisstoppeln der Boniturstufe 5 zuzuordnen. Durch die Trockenheit im Versuchsjahr 2018 waren die Maisstoppeln sehr mürbe und platzten leicht auf.

Tabelle 10: Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Zeutern 2018, relative Häufigkeiten je Boniturstufe

Variante	Block	Boniturstufe [%]					Mittlere Boniturnote
		1	2	3	4	5	
HS3	A	78.0	12.0	2.0	2.0	6.0	1.5
	B	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
	C	82.0	8.0	0.0	4.0	6.0	1.4
	Mittelwert	86.7	6.7	0.7	2.0	4.0	1.3
HS2+M	A	86.0	2.0	2.0	0.0	10.0	1.5
	B	98.0	0.0	0.0	2.0	0.0	1.1
	C	78.0	4.0	2.0	0.0	16.0	1.7
	Mittelwert	87.3	2.0	1.3	0.7	8.7	1.4
HS2	A	0.0	4.0	0.0	2.0	94.0	4.9
	B	0.0	6.0	0.0	0.0	94.0	4.8
	C	2.0	14.0	2.0	12.0	70.0	4.3
	Mittelwert	0.7	8.0	0.7	4.7	86.0	4.7

Abbildung 42 gibt Auskunft über die durchschnittlich gemessenen Höhen der Reststoppeln nach Versuchsvarianten. Gemessen wurde der massive Anteil der Reststoppel bis zur Bodenoberfläche (in Zentimeter, gerundet ohne Nachkommastelle). Aus der Abbildung geht hervor, dass in der Variante HS3 mit durchschnittlich 2,9 cm etwas kürzere Stoppeln erreicht wurden als in der Variante HS2+M mit 5,1 cm. Allerdings traten in der Variante HS2+M vermehrt Ausreißer auf. Beide Varianten unterscheiden sich im Median von 3,0 cm nicht. In der Variante HS2 wurden durchschnittlich 17,0 cm hohe Stoppeln hinterlassen.

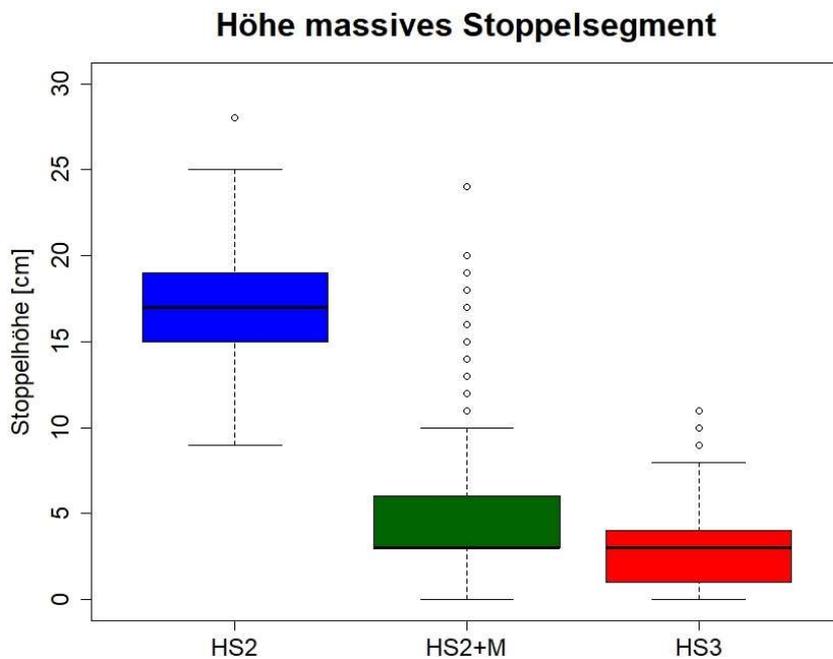


Abbildung 42: Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Zeutern

In Tabelle 11 sind die Ergebnisse der Bonituren des Zerstörungsgrades der Maisstoppeln außerhalb der Fahrspuren am Versuchsstandort Steinheim dargestellt.

Mit einem Anteil vollständig zerstörter Stoppeln (Boniturstufe 1) von 42,2% in der Variante HS2+M und 54,4% in der Variante HS3 wurden deutlich schlechtere Arbeitsergebnisse als am Versuchsstandort Zeutern erzielt. Außerhalb der Fahrspuren verblieben in der Variante HS2+M 47,8% der Maisstoppeln intakt, in der Variante HS3 belief sich der Anteil auf 35,6%. Die Ergebnisse streuten über die Wiederholungen beider Varianten sehr stark und spiegelten die schwierigen Erntebedingungen mit in Mulden stehenden Maisstoppeln wieder. In der Versuchsparzelle der Variante Mulcher im Block B wurden deutlich schlechtere Ergebnisse als in Block A und C erzielt. In dieser Parzelle wurden 73,3 % der bonitierten Maisstoppeln in die Boniturstufe 5 eingeordnet. Grundsätzlich wurde entgegen der Fahrtrichtung des Mähdreschers gemulcht um abgeknickte Maisstoppeln besser erfassen zu können. Irrtümlicherweise fuhr der Mulcher in dieser Parzelle nicht entgegen der Fahrtrichtung des Mähdreschers. Gleichzeitig zeigte die Bonitur des Habitus für diese Parzelle einen erhöhten Anteil geknickter Maisstoppeln (siehe Tabelle 9). Die Kombination dieser beiden Faktoren wird vermutlich für die geringere Arbeitsqualität ursächlich sein. Bleibt diese Wiederholung außeracht, erzielte der Mulcher mit einem durchschnittlichen Anteil vollständig zerstörter Maisstoppeln von 51,7% und einem Anteil intakter Maisstoppeln von durchschnittlich 35,0% nahezu identische Ergebnisse wie der HS3. In der Variante Standardpflücker blieben alle bonitierten Stoppeln unverletzt.

Tabelle 11: Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Steinheim 2018, relative Häufigkeiten je Boniturstufe

Variante	Block	Boniturstufe [%]					Mittlere Boniturnote
		1	2	3	4	5	
HS3	A	36.7	10.0	6.7	0.0	46.7	3.1
	B	76.7	0.0	0.0	3.3	20.0	1.9
	C	50.0	3.3	0.0	6.7	40.0	2.8
	Mittelwert	54.4	4.4	2.2	3.3	35.6	2.6
HS2+M	A	63.3	13.3	3.3	0.0	20.0	2.0
	B*	23.3	0.0	0.0	3.3	73.3	4.0
	C	40.0	3.3	0.0	6.7	50.0	3.2
	Mittelwert	42.2	5.6	1.1	3.3	47.8	3.1
HS2	A	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	B	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	Mittelwert	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0

*) Der Mulcher fuhr nicht entgegen der Fahrtrichtung des Mähdreschers

Die geringe Arbeitsqualität in der Wiederholung B der Variante HS2+M als auch in der Wiederholung A der Variante HS3 zeigen sich durch höhere Reststoppeln (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Höhe der massiven Stoppelsegmente in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Steinheim 2018

Variante	Block	Höhe massives Stoppelsegment [cm]	
		Mittelwert	Standardabweichung
HS3	A	7.3	7.6
	B	2.0	1.7
	C	5.6	1.9
	Mittelwert	4.9	3.7
HS2+M	A	3.9	3.1
	B*	13.1	3.3
	C	5.2	8.1
	Mittelwert	7.4	4.8
HS2	A	21.3	1.9
	B	23.5	2.9
	C	21.8	1.5
	Mittelwert	22.2	2.1

*) Der Mulcher fuhr nicht entgegen der Fahrtrichtung des Mähdreschers

Ohne Berücksichtigung der Wiederholung B der Variante HS2+M käme die Mulcher-Variante auf eine vergleichbare Stoppelhöhe wie die Variante HS3, mit 4,9 cm bzw. 4,5 cm.

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der Stoppelbonitur innerhalb des Fahrspurbereichs des Mähdreschers vom Standort Steinheim wiedergegeben. Abermals unterlagen die Ergebnisse einer erheblichen Streuung über die Wiederholungen. Tendenziell zeigte sich eine leicht erhöhte Arbeitsqualität durch das Überfahren der eingekürzten Maisstoppeln in der Variante HS3. Angesichts der ohnehin schlechten Arbeitsqualität zeigte sich in der Mulcher-Variante kaum eine Beeinflussung durch das Überfahren in den Wiederholungen A und C. Die Wiederholung B unterschied sich abermals deutlich von den übrigen Mulcher-Parzellen. Die Abweichung ist auf den bereits diskutierten Einfluss der Fahrtrichtung beim Mulchen zurückzuführen.

Tabelle 13: Zerstörungsgrad der Maisstoppeln mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Steinheim 2018, relative Häufigkeiten je Boniturstufe

Variante	Block	Boniturstufe [%]					Mittlere Boniturnote
		1	2	3	4	5	
HS3	A	53.3	0.0	13.3	0.0	33.3	2.6
	B	86.7	0.0	0.0	0.0	13.3	1.5
	C	43.3	0.0	0.0	13.3	43.3	3.1
	Mittelwert	61.1	0.0	4.4	4.4	30.0	2.4
HS2+M	A	50.0	6.7	13.3	0.0	30.0	2.5
	B*	6.7	0.0	6.7	0.0	86.7	4.6
	C	46.7	0.0	0.0	3.3	50.0	3.1
	Mittelwert	34.4	2.2	6.7	1.1	55.6	3.4
HS2	A	26.7	13.3	33.3	0.0	26.7	2.9
	B	0.0	0.0	16.7	0.0	83.3	4.7
	C	3.3	10.0	13.3	0.0	73.3	4.3
	Mittelwert	10.0	7.8	21.1	0.0	61.1	3.9

*) Der Mulcher fuhr nicht entgegen der Fahrtrichtung des Mähdreschers

Das Zerquetschen der Maisstoppeln durch das Überfahren zeigt sich in der Variante HS2. Die bonitierten Maisstoppeln wurden mit einem Anteil von durchschnittlich 21,1 % der Boniturstufe 3, Stoppel seitlich geöffnet bzw. aufgeschlitzt, zugeordnet. Auch in dieser Variante zeigte sich eine starke Streuung, so wurden in der Wiederholung A 26,7% der Maisstoppeln durch das Überfahren völlig aufgefasert.

In Tabelle 14 sind die durchschnittlich in den Wiederholungen der Varianten gemessenen Stoppelhöhen unter Fahrspureinfluss am Standort Steinheim dargestellt. Erwartungsgemäß führt das Niederfahren der Stoppeln in der Variante Mulcher zu etwas höheren Reststoppeln. Der Ausreißer im Block B sticht erneut heraus. Die Variante HS3 unterliegt bauartbedingt keinem Fahrspureinfluss. Die Stoppelhöhe ist entsprechend kaum beeinflusst.

Tabelle 14: Höhe der massiven Stoppelsegmente in Bereichen mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Steinheim 2018

Variante	Block	Höhe massives Stoppelsegment [cm]	
		Mittelwert	Standardabweichung
HS3	A	5.8	7.1
	B	2.1	1.6
	C	5.4	1.6
	Mittelwert	4.4	3.4
HS2+M	A	6.1	4.9
	B*	21.1	26.6
	C	6.3	3.7
	Mittelwert	11.2	11.7
HS2	A	21.0	2.2
	B	24.6	2.9
	C	22.4	1.8
	Mittelwert	22.7	2.3

*) Der Mulcher fuhr nicht entgegen der Fahrtrichtung des Mähdreschers

Der überwiegende Anteil der im Praxiseinsatz befindlichen Mähdrescher, überfahren aufgrund der Fahrwerkskonfiguration während der Ernte kontinuierlich zwei Reihen der Maisstoppeln. Dies trifft auch auf den am Standort Steinheim eingesetzten Mähdrescher zu. Bei einem 8-reihigen Maispflückvorsatz werden somit permanent 25% der Maisstoppeln niedergefahren. Entsprechend erfolgte in Tabelle 15 die Gewichtung der durchschnittlichen Boniturnoten der Stoppelzerstörung aus Bereichen mit und ohne Fahrspureinfluss.

Tabelle 15: Nach Fahrspuranteil gewichtete Boniturnoten am Standort Steinheim 2018

Variante	Block	Mittlere Boniturnote		
		außerhalb Fahrspur	innerhalb Fahrspur	gewichtet (25% innerhalb, 75% außerhalb)
HS3	A	3.1	2.6	3.0
	B	1.9	1.5	1.8
	C	2.8	3.1	2.9
	Mittelwert	2.6	2.4	2.6
HS2+M	A	2	2.5	2.1
	B*	4	4.6	4.2
	C	3.2	3.1	3.2
	Mittelwert	3.1	3.4	3.2
HS2	A	5	2.9	4.5
	B	5	4.7	4.9
	C	5	4.3	4.8
	Mittelwert	5.0	4.0	4.7

*) Der Mulcher fuhr nicht entgegen der Fahrtrichtung des Mähdreschers

Unter Praxisbedingungen liegt der Anteil überfahrener Stoppeln jedoch noch höher. Durch Wendemanöver am Vorgewende und zusätzlich eingesetzte Fahrzeuge der Erntelogistik werden weitere Maisstoppeln niedergefahren, sodass anzunehmen ist, dass der Anteil niedergefahrener Stoppeln unter Praxisbedingungen >30% betragen wird. In Tabelle 15 wurde somit die Minimalannahme getroffen und der Effekt der Fahrspuren tendenziell unterschätzt.

In Folge der ohnehin schwierigen Bedingungen, führten die Fahrspureffekte in der Betrachtung der Gesamtfläche in der Variante HS3, zu einer Verbesserung und in der Variante HS2+M zu einer wesentlichen Verschlechterung der mittleren gewichteten Boniturnoten.

6.1.2.1.2 Bückeberg und Stettfeld 2019

Die Boxplots in Abbildung 43 stellen die Abstände des ersten Knotens der Maisstängel von der Bodenoberfläche an den Versuchsstandorten Bückeberg und Stettfeld dar. Am Versuchsstandort Bückeberg betrug die Höhe des untersten Knotens über der Bodenoberfläche ca. 10 cm und war damit ca. doppelt so hoch, wie am Versuchsstandort Stettfeld. Um eine gute Arbeitsqualität in der Stoppelbearbeitung zu erreichen, ist es hilfreich, wenn die Werkzeuge der Stoppelbearbeitungstechnik unterhalb des ersten Knotens ansetzen, um ein Auffasern der Maisstoppeln bis zum Wurzelansatz zu erreichen. Dafür boten sich am Standort Bückeberg bessere Bedingungen.

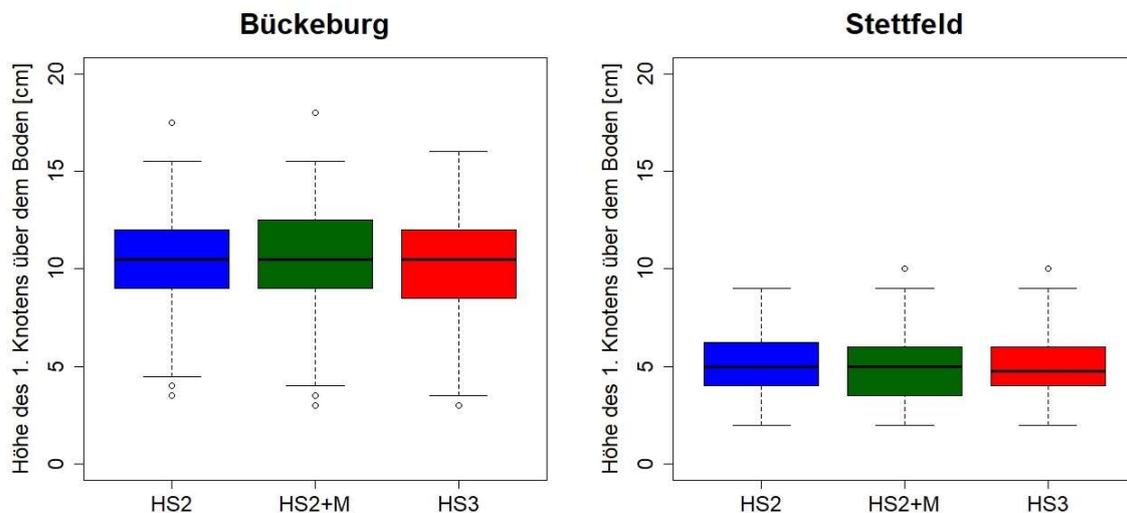


Abbildung 43: Ergebnis der Messungen des Abstandes der ersten Knoten der Maisstängel von der Bodenoberfläche an den Versuchsstandorten Bückeberg und Stettfeld 2019

Zusätzlich zu der geringen Höhe der untersten Knoten am Versuchsstandort Stettfeld kam erschwerend hinzu, dass die Maispflanzen überwiegend in Mulden standen. Die Messungen im Anschluss an die Erntearbeiten ergaben im Bereich ohne Fahrspureinfluss in den Parzellen der Variante HS2 eine durchschnittliche Tiefe der Mulden von 3,88 cm und von 4,00 cm in der Variante HS3 (siehe Abbildung 44). Damit befanden sich die untersten Knoten an diesem Standort sehr dicht über der Bodenoberfläche.

Die Variante HS2+M weicht mit geringeren gemessenen Tiefen der Mulden im Bereich ohne Fahrspureinfluss von den übrigen Prüfgliedern ab. Vermutlich ist diese Abweichung auf einen systematischen Fehler in der Methode zurückzuführen. Die Messungen zur Beschreibung der Beschaffenheit der Bodenoberfläche erfolgten nach abgeschlossener Stoppelbearbeitung. Vermutlich sorgte die Stützwalze des eingesetzten Mulchgerätes für eine Einebnung der Bodenoberfläche, die sich in den niedrigeren Messwerten äußerte. Entsprechend wurden die Methoden zum Versuchsjahr 2020 nochmals angepasst und eine zusätzliche Bewertung der Bodenoberfläche in die Vorerntebonitur integriert (siehe Kapitel

6.1.1.1.1). Es ist anzunehmen, dass die Bedingungen in den gemulchten Parzellen vergleichbar waren, zu denen in den Parzellen der übrigen Prüfglieder.

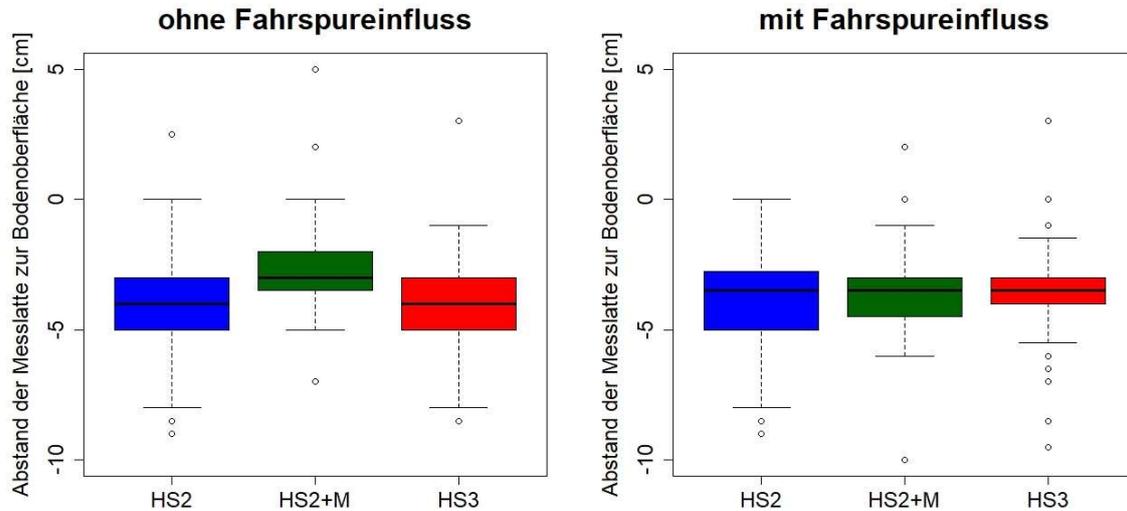


Abbildung 44: Beschaffenheit der Bodenoberfläche/ Spurtiefe am Versuchsstandort Stettfeld 2019

Im Vergleich der Bereiche mit und ohne Fahrspureinfluss zeigten sich kaum Unterschiede in den durchschnittlichen Messergebnissen. Die Bandlaufwerke und Hinterräder des Mähreschers sind kaum in den Boden eingedrückt.

Tabelle 16 gibt das Boniturergebnis zum Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen der Parzellen der Versuchsvariante HS2+M am Standort Stettfeld wieder.

Tabelle 16: Boniturergebnis zum Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen der Versuchspartellen am Standort Stettfeld

Fahrspur	Block	Boniturstufe [%]			Mittlere Boniturnote
		1	2	3	
außerhalb	A	97.5	2.5	0.0	1.0
	B	100.0	0.0	0.0	1.0
	C	100.0	0.0	0.0	1.0
	D	100.0	0.0	0.0	1.0
	E	100.0	0.0	0.0	1.0
	F	97.5	2.5	0.0	1.0
	Mittelwert	99.2	0.8	0.0	1.0
innerhalb	A	2.5	25.0	72.5	2.7
	B	2.5	35.0	62.5	2.6
	C	0.0	22.5	77.5	2.8
	D	2.5	45.0	52.5	2.5
	E	0.0	12.5	87.5	2.9
	F	2.5	45.0	52.5	2.5
	Mittelwert	1.7	30.8	67.5	2.7

Das Ergebnis zeigt, dass der Standarderntevorsatz HS2 in Bereichen ohne Fahrspureinfluss fast ausschließlich intakte, fest stehende Maisstoppeln hinterließ. Damit waren gute Bedingungen für ein qualitativ hochwertiges Arbeitsresultat des Mulchers gegeben. Durch den Mährescher überfahrene Maisstoppeln sind mit einem Anteil von 67,5% flach am Boden liegenden Maisstoppeln im Fahrspurbereich nur schwer durch den Mulcher zu erreichen. Auch die Bearbeitbarkeit der schräg stehenden Maisstoppeln, mit einem Anteil von ca. 30,8% im Fahrspurbereich, war eingeschränkt.

Die Ergebnisse aus der Bewertung der Bodenoberfläche am Versuchsstandort Bückeberg sind in Abbildung 45 dargestellt. Die Messergebnisse für Teilbereiche ohne Fahrspureinfluss zeigen, dass die Maisstoppeln überwiegend in leichten Mulden mit einer Tiefe von durchschnittlich weniger als 2 cm standen.

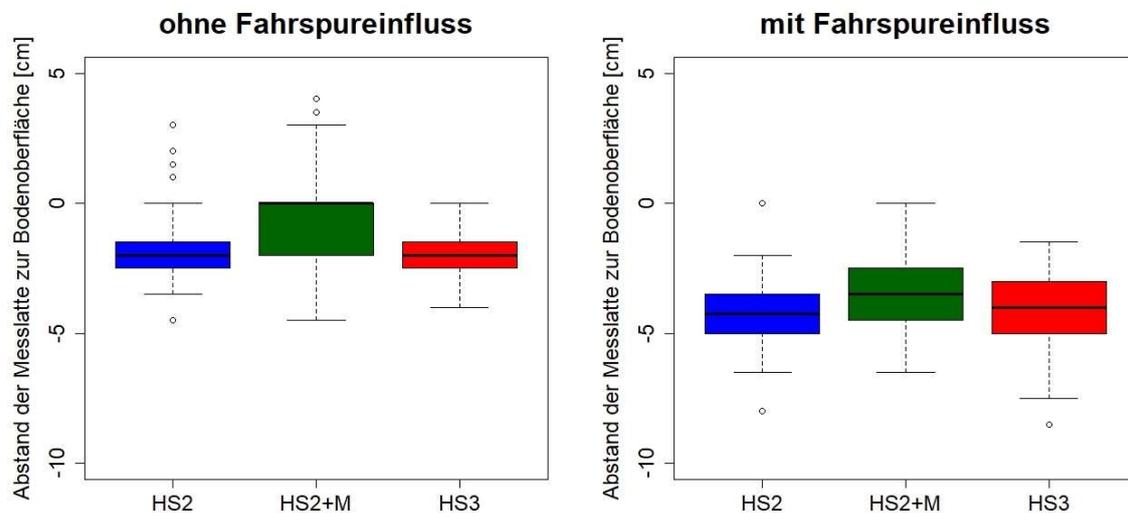


Abbildung 45: Beschaffenheit der Bodenoberfläche/ Spurtiefe am Versuchsstandort Bückeberg 2019

In Verbindung mit den vergleichsweise großen Abständen der ersten Knoten des Maisstängels von der Bodenoberfläche, herrschten gute Bedingungen für eine optimale Stoppelzerkleinerung. Die Messergebnisse unter Fahrspureinfluss geben die von den Bandlaufwerken und Hinterrädern des Mähreschers herbeigeführten durchschnittlichen Spurtiefen wieder. Durch das Niederdrücken der Maisstoppeln in den Fahrspuren um durchschnittlich ca. 3,6 cm bis 4,4 cm, waren diese im Nachernteverfahren entsprechend schwierig zu erfassen. Auch an diesem Standort zeigte sich in der Mulcher-Variante die einebnende Wirkung der Stützwalzen der Mulchgeräte.

Tabelle 17 stellt die Ergebnisse der Bonitur des Stoppelzerstörungsgrades in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Bückeberg 2019 dar. Wiedergegeben sind die relativen Häufigkeiten je Boniturstufe für die jeweils sechs Parzellen je Versuchsvariante. In der Wiederholung E der Versuchsvariante HS2+M wurde ein stark vom Trend

abweichendes Boniturergebnis ermittelt. Dieses wurde von der Berechnung der Mittelwerte und der durchschnittlichen Boniturnote ausgeschlossen.

Tabelle 17: Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Bückeberg 2019, relative Häufigkeiten je Boniturstufe

Variante	Block	Boniturstufe [%]					Mittlere Boniturnote
		1	2	3	4	5	
HS3	A	95.0	5.0	0.0	0.0	0.0	1.1
	B	82.5	2.5	0.0	0.0	15.0	1.6
	C	85.0	5.0	0.0	10.0	0.0	1.4
	D	90.0	0.0	0.0	0.0	10.0	1.4
	E	90.0	0.0	0.0	0.0	10.0	1.4
	F	90.0	0.0	0.0	0.0	10.0	1.4
	Mittelwert	88.8	2.1	0.0	1.7	7.5	1.4
HS2+M	A	90.0	5.0	0.0	5.0	0.0	1.2
	B	87.5	0.0	0.0	2.5	10.0	1.5
	C	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
	D	75.0	10.0	0.0	0.0	15.0	1.7
	E*	35.0	5.0	0.0	15.0	45.0	3.3
	F	70.0	0.0	0.0	0.0	30.0	2.2
	Mittelwert	84.5	3.0	0.0	1.5	11.0	1.5
HS2	A	0.0	0.0	5.0	27.5	67.5	4.6
	B	0.0	0.0	0.0	10.0	90.0	4.9
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	D	0.0	0.0	0.0	5.0	95.0	5.0
	E	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	F	0.0	0.0	0.0	20.0	80.0	4.8
	Mittelwert	0.0	0.0	0.8	10.4	88.8	4.9

*) als Ausreißer nicht berücksichtigt

Aufgrund des einsetzenden Regens waren die Bedingungen für das Mulchen schwierig und begrenzten die Vorfahrtsgeschwindigkeit beim Mulchen auf ca. 3,5 km/h. Aufgrund des im weiteren Verlauf anhaltenden Regens hatte eine Reduktion des geplanten Stichprobenumfangs zu erfolgen. In den Blocks A und B konnte der geplante Stichprobenumfang von je 40 Maisstoppeln mit und ohne Fahrspureinfluss pro Versuchsparzelle beibehalten werden, in den übrigen vier Wiederholungen wurde die Anzahl bonitierter Stoppeln hingegen halbiert.

Trotz der schwierigen Bedingungen konnte der eingesetzte Schlegelmulcher in Bereichen ohne Fahrspureinfluss vergleichbare Ergebnisse wie im Vorjahr erzielen. Der Schlegelmulcher erreichte einen Anteil von 84,5% vollständig zerstörter Maisstoppeln der Boniturstufe 1. Der Maispflückvorsatz HS3, mit integrierter Stoppelbearbeitung, schnitt mit einem Anteil von ca. 88,8% vollständig zerstörter Maisstoppeln geringfügig besser ab. Wie

bereits in den vorangegangenen Versuchen zeigte sich, dass nur wenige Maisstoppeln der mittleren Boniturstufen 2 bis 4 zuzuordnen waren. In diesen Boniturstufen finden sich demzufolge nur geringe Unterschiede zwischen den Stoppelbearbeitungsvarianten. Mit einem Anteil von 11% hinterließ der Mulcher ca. 3,5% mehr intakte Maisstoppeln, entsprechend der Boniturstufe 5, auf dem Feld, als der neu entwickelte Erntevorsatz HS3. Anhand der mittleren Boniturnoten ist zu erkennen, dass die Ergebnisse des Mulchers unter den erschwerten Bedingungen stärker streuten als die des HS3. Im Gesamtergebnis liegen HS3 und HS2+M mit mittleren Boniturnoten von 1,4 und 1,5 nahe beieinander.

Die Variante HS2 ohne Stoppelbearbeitung, hinterließ erwartungsgemäß überwiegend intakte Maisstoppeln. Dies zeigt sich durch einen Anteil von durchschnittlich 88,8 % intakter Maisstoppeln, entsprechend der Boniturstufe 5. Im Vergleich zum Vorjahr und zum Versuchsstandort Stettfeld ist dieser Wert jedoch vergleichsweise niedrig, vor allem bedingt durch die Wiederholungen A und F. Der überwiegende Anteil der verbleibenden Maisstoppeln befand sich in der Boniturstufe 4. Diese Boniturstufe umfasst Maisstoppeln, deren Stirnseite geöffnet ist und deren Seitenwände intakt geblieben sind. Das bedeutet, der unterste Knoten des Maisstängels wurde abgetrennt. Angesichts der vergleichsweise großen durchschnittlichen Abstände des ersten Knotens des Maisstängels von der Bodenoberfläche von ca. 10 cm und einer durchschnittlichen Länge der Reststoppeln von 14,8 cm in der Variante HS2, ist dieses Boniturergebnis plausibel (vgl. Abbildung 45, Abbildung 46).

Die Boxplots in Abbildung 46 stellt die Gesamthöhen der Reststoppeln sowie die Höhen der massiven Stoppelsegmente der Versuchsvarianten für Bereiche ohne Fahrspureinfluss dar.

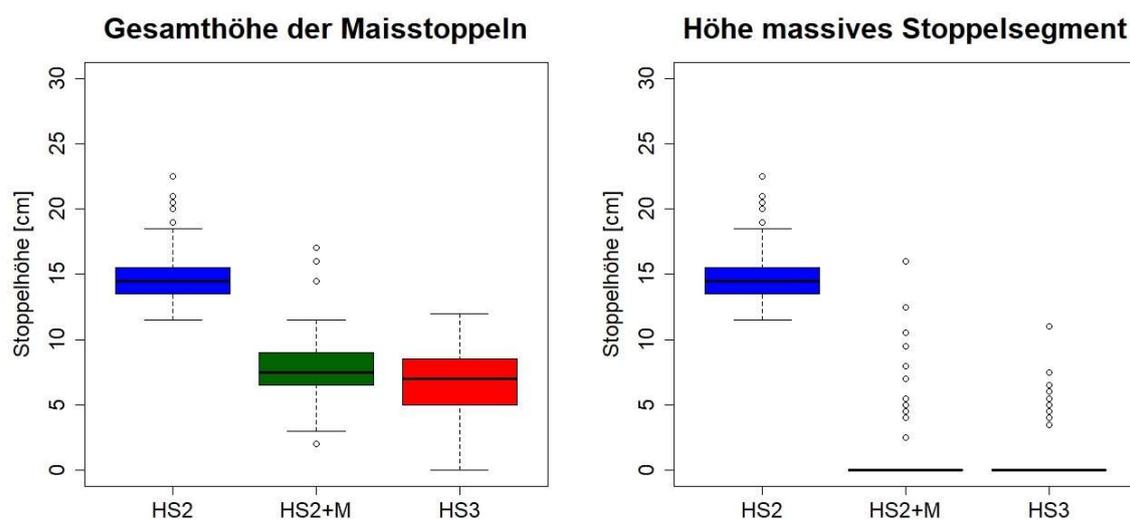


Abbildung 46: Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Bückeburg 2019

Wie bereits anhand der Stoppelbearbeitungsqualität festgestellt, lag in der Wiederholung E der Variante HS2+M ein Ausreißer vor. Dies zeigte sich auch durch 3-4 cm höhere Reststoppeln. Die Wiederholung der Variante HS2+M im Block E wurde in Abbildung 46 daher nicht berücksichtigt.

Mit einer durchschnittlichen Reststoppellänge von 6,7 cm hinterließ der neu entwickelte Erntevorsatz HS3 etwas kürzere Reststoppeln als der im Nachernteverfahren eingesetzte Schlegelmulcher. Dies zeigt sich ebenfalls in den Längen der zurückgebliebenen massiven Stoppelsegmente. In der Variante HS2, ohne weitere Stoppelbearbeitung, wurde eine durchschnittliche Reststoppellänge von ca. 14,8 cm ermittelt. Der glatte Schnitt der Messer der Horizontalhäcksler führte zu keinem Auffasern der Maisstoppeln. Entsprechend bleibt die gesamte Maisstoppel als massives Segment zurück.

Die Tabelle 17 zeigt die Ergebnisse der Bonitur des Stoppelzerstörungsgrades in Bereichen mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Bückeberg.

Tabelle 18: Zerstörungsgrad der Maisstoppeln mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Bückeberg 2019, relative Häufigkeiten je Boniturstufe

Variante	Block	Boniturstufe [%]					Mittlere Boniturnote
		1	2	3	4	5	
HS3	A	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
	B	97.5	0.0	0.0	0.0	2.5	1.1
	C	90.0	0.0	0.0	10.0	0.0	1.3
	D	90.0	0.0	0.0	0.0	10.0	1.4
	E	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
	F	95.0	0.0	0.0	0.0	5.0	1.2
	Mittelwert	95.4	0.0	0.0	1.7	2.9	1.2
HS2+M	A	2.5	2.5	32.5	0.0	62.5	4.2
	B	30.0	5.0	25.0	0.0	40.0	3.2
	C	10.0	0.0	20.0	5.0	65.0	4.2
	D	5.0	5.0	30.0	0.0	60.0	4.1
	E	15.0	0.0	25.0	0.0	60.0	3.9
	F	10.0	5.0	30.0	0.0	55.0	3.9
	Mittelwert	12.1	2.9	27.1	0.8	57.1	3.9
HS2	A	17.5	2.5	7.5	10.0	62.5	4.0
	B	2.5	5.0	25.0	0.0	67.5	4.3
	C	0.0	5.0	20.0	0.0	75.0	4.5
	D	0.0	0.0	30.0	0.0	70.0	4.4
	E	0.0	0.0	70.0	0.0	30.0	3.6
	F	5.0	0.0	35.0	0.0	60.0	4.1
	Mittelwert	4.2	2.1	31.3	1.7	60.8	4.1

Diese Boniturergebnisse zeigen den starken Einfluss des Überfahrens von Maisstoppeln auf die Qualität der Stoppelbearbeitung mittels Schlegelmulcher im Nachernteverfahren. Durch die Werkzeuge des HS3 werden die Maisstoppeln dicht an der Bodenoberfläche abgeschlagen. In dessen Folge werden die Maisstoppeln beim Überfahren in der Regel nicht umgeknickt, sondern beim Auftreffen des Bandlaufwerks des Mähreschers weiter aufgeschlossen. Dies äußert sich in der Variante HS3 durch einen Anteil vollständig zerstörter Maisstoppeln in Höhe von durchschnittlich 95,4%, in Teilflächen mit Fahrspureinfluss. Dieses Ergebnis ist um ca. 6,6% höher, als in Teilflächen ohne Fahrspureinfluss. Der Anteil von Maisstoppeln mit intakten Stängelsegmenten, entsprechend der Boniturstufe 5, lag bei nur 2,9%.

In Bereichen mit Fahrspureinfluss war der Arbeitserfolg des im Nachernteverfahren eingesetzten Mulchers hingegen stark reduziert. Mit einem sehr geringen Anteil vollständig zerstörter Maisstoppeln in Höhe von durchschnittlich 12,1%, liegt dieses Ergebnis 72,4% unter dem Boniturergebnis aus Teilflächen ohne Fahrspureinfluss. Wie eingangs erläutert, herrschten zum Erntezeitpunkt vergleichsweise feuchte Bodenbedingungen vor. Die von den Bandlaufwerken und Rädern des Mähreschers erfassten und umgeknickten Maisstoppeln wurden stark in den Boden gedrückt und waren für den nachfolgend eingesetzten Schlegelmulcher kaum noch zu erreichen. Die im Vergleich deutlich erhöhten Anteile von Maisstoppeln der Boniturstufe 3 in der Variante HS2+M unter Fahrspureinfluss ist in direktem Zusammenhang zum Einwirken des Fahrwerks zu betrachten. Entsprechend der getroffenen Definition, sind die Maisstoppeln der Boniturstufe 3 seitlich nur leicht geöffnet. Dieser Zustand kommt im Zuge des Quetschens der Stoppeln durch das Überfahren zustande. Dieser Effekt ist entsprechend in der Variante HS2 ohne weitere Stoppelbearbeitung zu beobachten. Der Anteil intakter Maisstoppeln, entsprechend der Boniturstufe 5, liegt in Bereichen mit Fahrspureinfluss bei durchschnittlich 60,8% und damit deutlich niedriger als in Teilflächen ohne Fahrspureinfluss. Der Anteil von Maisstoppeln der Boniturstufe 3 liegt hingegen mit durchschnittlich 31,3% bei erheblicher Streuung deutlich höher. Gegenüber der Variante HS2 ohne Stoppelbearbeitung konnte das Mulchen die mittlere Boniturnote im Fahrspurbereich um nur 0,2 auf durchschnittlich 3,9 verbessern. Der HS3 erreichte hingegen eine mittlere Boniturnote von 1,2.

Die Boxplots in Abbildung 47 stellt die Gesamthöhen der Reststoppeln sowie die Höhen der massiven Stoppelsegmente der Versuchsvarianten für Bereiche mit Fahrspureinfluss dar.

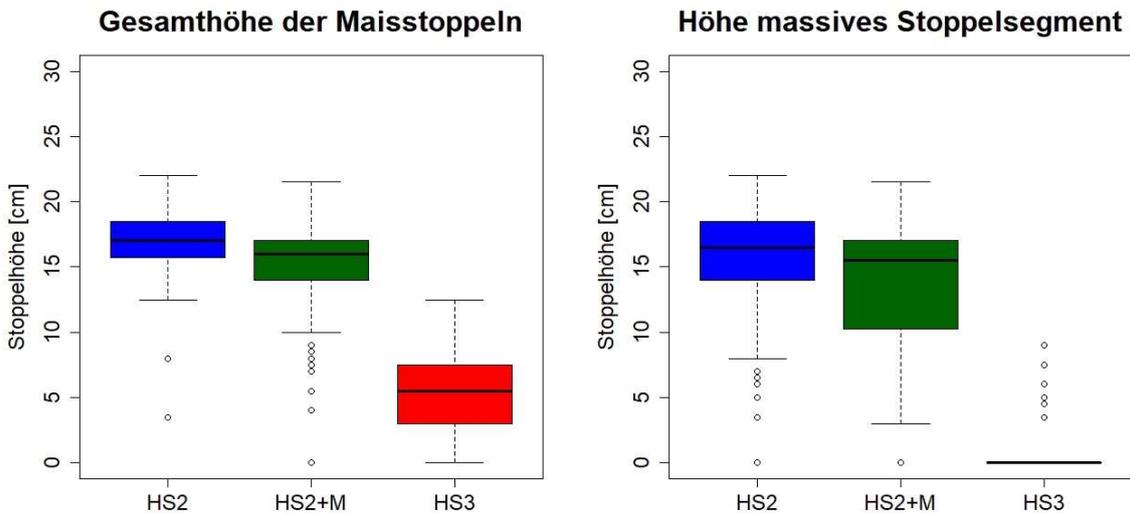


Abbildung 47: Gesamthöhe der Reststopplern und Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Bückebug 2019

In der Variante HS3 führte das Überfahren der bereits bearbeiteten Maisstopplern zu einem weiteren Auffasern der Reststopplern. Dies zeigte sich bereits durch eine niedrigere mittlere Boniturnote unter Fahrspureinfluss (vgl. Tabelle 18) und äußert sich zudem in einer weiter reduzierten Reststopplernlänge von ca. 5,2 cm sowie kürzeren massiven Stoppelsegmenten. Auch in den Messergebnissen der Variante HS2+M spiegelt sich der Trend aus der Bonitur des Stoppelzerstörungsgrades wieder. Gegenüber der Variante HS2 konnte der im Nachernteverfahren eingesetzte Schlegelmulcher die durchschnittliche Reststopplernlänge nur geringfügig verringern. Mit einer durchschnittlichen Gesamtlänge der Reststopplern von ca. 15,2 cm zeigt sich, dass der Mulcher einen Großteil der niedergefahrenen Maisstopplern nicht erreichen konnte. In der Variante HS2 zeigt sich in Folge des Einwirkens des Fahrwerkes des Mähdreschers eine leicht reduzierte Länge des massiven Stoppelsegments gegenüber der Gesamtlänge. Gleichzeitig ist festzustellen, dass die durchschnittliche Gesamtlänge unter Fahrspureinfluss länger zu sein scheint, als in Bereichen ohne Fahrspureinfluss. Dies ist vermutlich auf Messungenauigkeiten zurück zu führen. Um die Länge der niedergefahrenen Reststopplern messen zu können, müssen diese aufgerichtet werden. Es ist denkbar, dass die Stoppel samt Wurzelansatz hierbei etwas aus dem Boden gelöst wird und somit eine größere Länge gemessen wird.

Der Boxplot in Abbildung 48 stellt die nach Flächenanteilen gewichteten durchschnittlichen Boniturnoten der Versuchsvarianten am Versuchsstandort Bückebug dar. Die Gewichtung basiert auf der Minimalannahme eines Fahrspuranteils von 25% und soll einen Eindruck zu der zu erwartenden Arbeitsqualität über die Gesamtfläche geben.

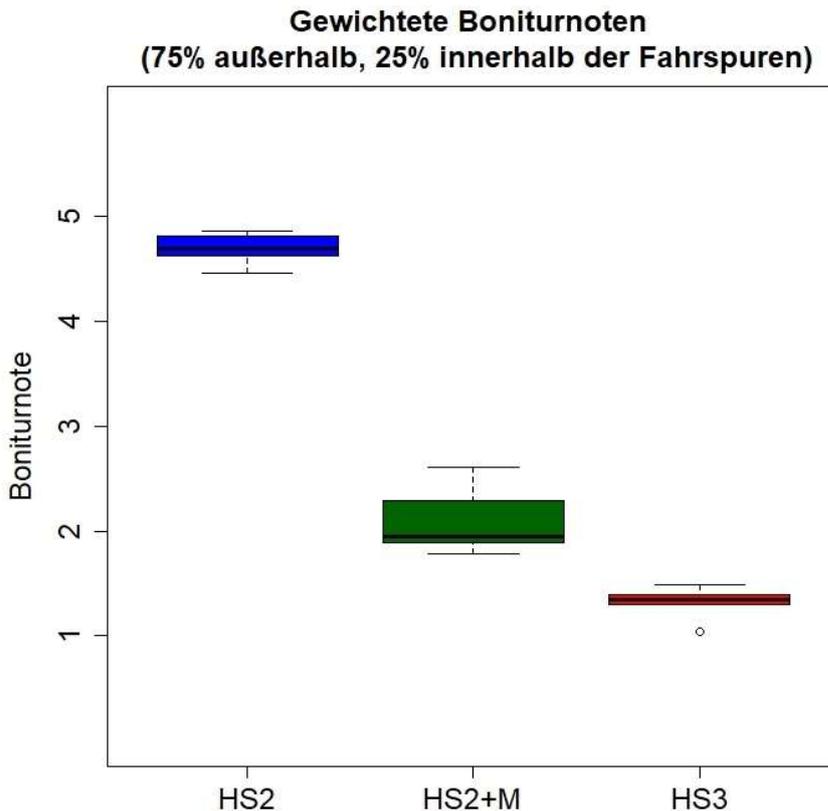


Abbildung 48: Nach Fahrspuranteil gewichtete Boniturnoten am Standort Bückeburg 2019

Aus dieser Darstellung geht der Vorteil der Unabhängigkeit der Stoppelbearbeitung vom Fahrspureffekt im Verfahren HS3 klar hervor. Am Versuchsstandort Bückeburg erzielte der HS3 eine gewichtete durchschnittliche Boniturnote von 1,3, wo hingegen die Mulcher-Variante eine durchschnittliche Boniturnote von nur 2,1 erreichte. Die gewichtete Boniturnote des HS2 betrug 4,7.

Tabelle 19 stellt die Ergebnisse der Bonitur des Stoppelzerstörungsgrades in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Stettfeld dar. Die softwareseitigen Probleme des zum Versuchsjahr 2019 neu eingeführten Höhenführungssystems schlugen sich in den Boniturergebnissen des HS3 nieder. Der Vorsatz konnte nicht in einer optimalen Arbeitshöhe gefahren werden. Zur Ernte am Versuchsstandort Bückeburg war das Problem behoben. Nur durchschnittlich 12,1% der Maisstoppeln konnten entsprechend der Boniturstufe 1 vollständig zerstört werden. Der größte Anteil der bonitierten Stoppeln war intakt. Dies zeigt sich durch einen Anteil in Höhe von durchschnittlich 76% entsprechend der Boniturstufe 5. Dieses Ergebnis ist eindeutig auf die technischen Schwierigkeiten zurückzuführen und spiegelt nicht das Potential des neu entwickelten Erntevorsatzes wieder.

Tabelle 19: Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Stettfeld 2019, relative Häufigkeiten je Boniturstufe

Variante	Block	Boniturstufe [%]					Mittlere Boniturnote
		1	2	3	4	5	
HS3*	A	35.0	2.5	10.0	2.5	50.0	3.3
	B	5.0	0.0	5.0	0.0	90.0	4.7
	C	15.0	2.5	2.5	0.0	80.0	4.3
	D	5.0	7.5	22.5	0.0	65.0	4.1
	E	0.0	0.0	5.0	2.5	92.5	4.9
	F	12.5	0.0	10.0	0.0	77.5	4.3
	Mittelwert	12.1	2.1	9.2	0.8	75.8	4.3
HS2+M	A	62.5	15.0	7.5	5.0	10.0	1.9
	B	47.5	10.0	5.0	5.0	32.5	2.7
	C	60.0	20.0	10.0	0.0	10.0	1.8
	D	17.5	40.0	22.5	7.5	12.5	2.6
	E	37.5	57.5	0.0	2.5	2.5	1.8
	F	45.0	30.0	7.5	7.5	10.0	2.1
	Mittelwert	46.5	23.0	10.5	5.0	15.0	2.2
HS2	A	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	B	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	C	0.0	2.5	2.5	0.0	95.0	4.9
	D	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	E	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	F	2.5	0.0	2.5	0.0	95.0	4.9
	Mittelwert	0.4	0.4	0.8	0.0	98.3	5.0

*) Durch technische Probleme nicht repräsentativ

Durch das Mulchen konnte der Anteil vollständig intakter Maisstoppeln entsprechend der Boniturstufe 5 gegenüber der Variante HS2 ohne Stoppelbearbeitung deutlich reduziert werden. Der Mulcher hinterließ in Bereichen ohne Fahrspureinfluss durchschnittlich 15% vollständig intakte Maisstoppeln gegenüber 98,3% in der Variante ohne Stoppelbearbeitung, bei erheblicher Streuweite der Ergebnisse. Dennoch spiegelt das Boniturergebnis die schwierigen Bedingungen in Form eines geringen Abstandes des ersten Nodiums von der Bodenoberfläche bei gleichzeitig in Mulden stehenden Maisstoppeln wieder. Der Mulcher konnte durchschnittlich nur ca. 46,5% der Maisstoppeln entsprechend der Boniturstufe 1 vollständig zerstören. Der Anteil an Maisstoppeln, die der Boniturstufe 2 zuzuordnen waren, ist mit durchschnittlich 23% vergleichsweise hoch. In der Variante HS2 ohne weitere Stoppelbearbeitung verblieben entsprechend der Erwartungen nahezu alle Maisstoppeln intakt auf dem Feld zurück.

Die Boxplots in Abbildung 49 stellen die Gesamthöhen der Reststoppeln sowie die Höhen der massiven Stoppelsegmente der Versuchsvarianten für Bereiche ohne Fahrspureinfluss am Standort Stettfeld dar.

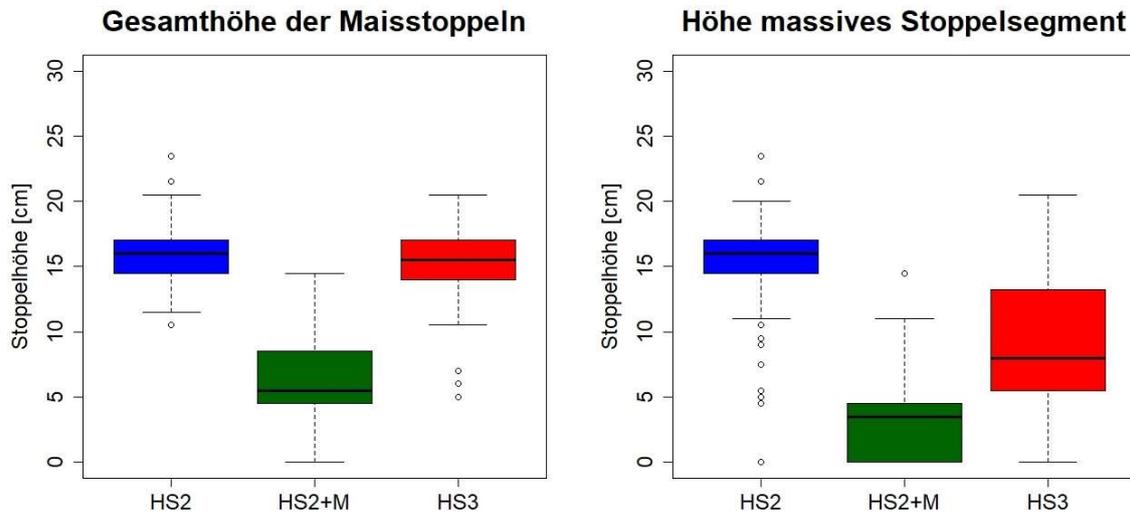


Abbildung 49: Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Stettfeld 2019

Aus der Darstellung geht hervor, dass der HS3 aufgrund der fehlerhaften Höhenführung ähnliche durchschnittliche Stoppelhöhen von 15,3 cm hinterließ, wie der Standard-Erntevorsatz HS2 mit 16,0 cm. Dieser Umstand führte zu den schlechten Stoppelboniturergebnissen des HS3. Im Vergleich der durchschnittlichen Höhe der massiven Stoppelsegmente zwischen diesen Varianten, ist die Wirkung des neu entwickelten Messers zur Stoppelbearbeitung dennoch ersichtlich. Das Einwirken der schlagenden Kante der Spezialmesser sorgte dafür, dass die Maisstoppeln in ihrer Höhe ca. bis zur Hälfte aufgefasert wurden. Der Mulcher hinterließ im Bereich ohne Fahrspureinfluss im Durchschnitt ca. 6,5 cm hohe Stoppeln mit einem massiven Anteil von ca. 2,8 cm.

Tabelle 20 gibt die Stoppelboniturergebnisse unter Fahrspureinfluss am Standort Stettfeld wieder. Auch in diesen Ergebnissen spiegeln sich die technischen Probleme des Höhenführungssystems in der Variante HS3 wieder. In den übrigen Varianten kommt der Effekt des Fahrspureinflusses zur Geltung. Es zeigt sich die deutlich reduzierte Arbeitsqualität des Mulchers unter Fahrspureinfluss.

Tabelle 20: Zerstörungsgrad der Maisstoppeln mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Stettfeld 2019, relative Häufigkeiten je Boniturstufe

Variante	Block	Boniturstufe [%]					Mittlere Boniturnote
		1	2	3	4	5	
HS3	A	25.0	12.5	5.0	0.0	57.5	3.5
	B	32.5	0.0	5.0	0.0	62.5	3.6
	C	20.0	0.0	5.0	0.0	75.0	4.1
	D	22.5	2.5	15.0	2.5	57.5	3.7
	E	5.0	0.0	5.0	7.5	82.5	4.6
	F	20.0	2.5	7.5	0.0	70.0	4.0
	Mittelwert	20.8	2.9	7.1	1.7	67.5	3.9
HS2+M	A	15.0	2.5	2.5	7.5	72.5	4.2
	B	15.0	2.5	5.0	0.0	77.5	4.2
	C	20.0	0.0	25.0	2.5	52.5	3.7
	D	7.5	2.5	5.0	2.5	82.5	4.5
	E	5.0	2.5	0.0	7.5	85.0	4.7
	F	5.0	10.0	5.0	2.5	77.5	4.4
	Mittelwert	12.5	3.5	8.5	3.0	72.5	4.2
HS2	A	22.5	2.5	0.0	0.0	75.0	4.0
	B	32.5	0.0	5.0	0.0	62.5	3.6
	C	12.5	0.0	10.0	0.0	77.5	4.3
	D	12.5	5.0	12.5	0.0	70.0	4.1
	E	12.5	2.5	10.0	0.0	75.0	4.2
	F	12.5	0.0	2.5	0.0	85.0	4.5
	Mittelwert	17.5	1.7	6.7	0.0	74.2	4.1

Die Boxplots in Abbildung 50 stellt die Gesamthöhen der Reststoppeln sowie die Höhen der massiven Stoppelsegmente der Versuchsvarianten für Bereiche unter Fahrspureinfluss am Standort Stettfeld dar.

Der Einfluss des Überfahrens der Maisstoppeln kommt durch die Messergebnisse in der Variante HS2+M zum Ausdruck. Dem Mulcher gelang es nicht die überfahrenen Stoppeln nennenswert zu erfassen und einzukürzen. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen der Bonitur des Stoppelzerstörungsgrades. In der Variante HS2 führt die Einwirkung des Fahrwerks zu einem Auffasern der obersten 4 cm der Maisstoppeln, vergleichbar mit der Mulcher-Variante. Dies äußert sich in der reduzierten Länge des massiven Stoppelsegments. In der Variante HS3 trat dieser Effekt deutlich stärker auf. Er hinterließ im Fahrspurbereich durchschnittlich nur ca. 4,9 cm der Maisstoppel als massives Segment. Die bereits durch die Hybridmesser aufgefaserten Stoppeln platzen beim Auftreten der Bandlaufwerke des Mähdreschers weiter auf.

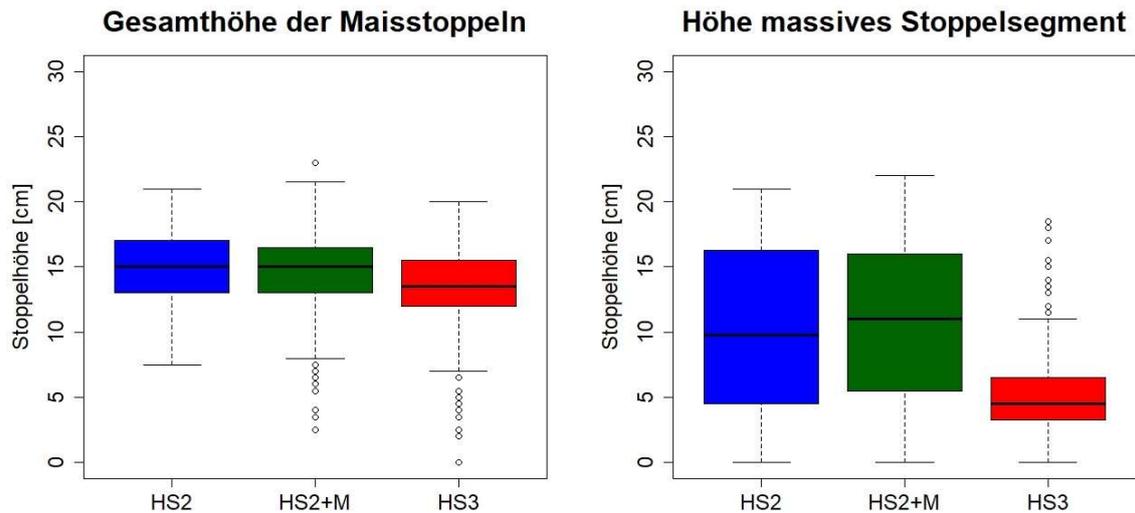


Abbildung 50: Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Stettfeld 2019

Der Boxplot in Abbildung 51 stellt die nach Flächenanteilen gewichteten durchschnittlichen Boniturnoten der Versuchsvarianten am Versuchsstandort Stettfeld dar. Die Gewichtung basiert auf der Minimalannahme eines Fahrspuranteils von 25%. Das Ergebnis des HS3 ist abermals aufgrund der Probleme mit dem Höhenführungssystem nicht repräsentativ. Der Mulcher erreichte eine gewichtete durchschnittliche Boniturnote von 2,66, der HS2 von 4,74.

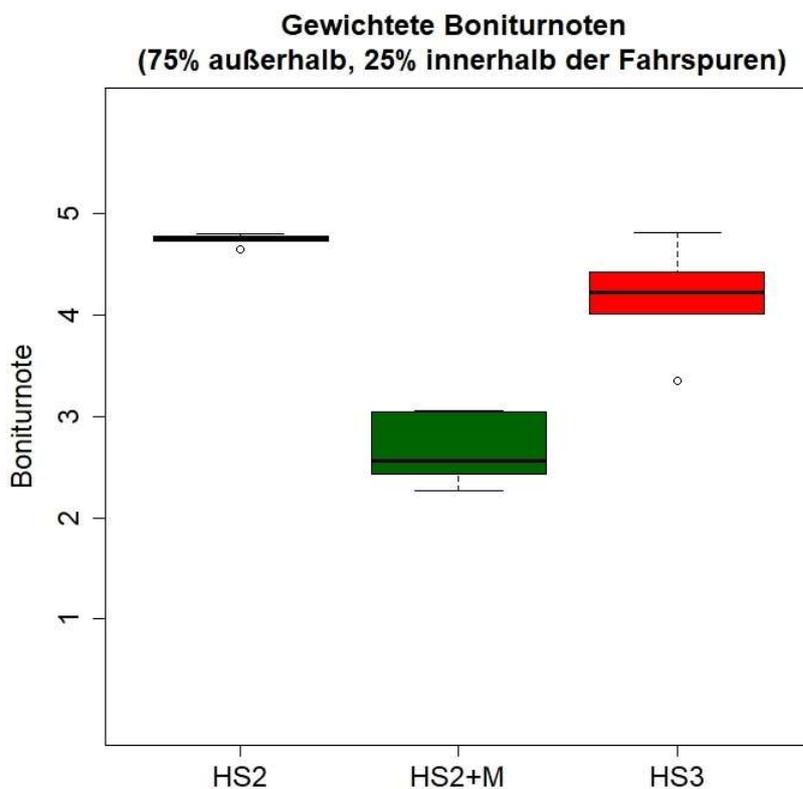


Abbildung 51: Nach Fahrspuranteil gewichtete Boniturnoten am Standort Stettfeld 2019

6.1.2.1.3 Kraichtal und Timmaspe 2020

Im Versuchsjahr 2020 erfolgte erstmals bereits während der Vorerntebonitur eine Bewertung der Beschaffenheit der Bodenoberfläche im Bereich der Saatreihen. In Abbildung 52 sind die Ergebnisse von den Versuchsstandorten Kraichtal und Timmaspe dargestellt.

Die Bestellung des Maises im Strip-Till-Verfahren am Standort Kraichtal hinterließ eine sehr ebene Bodenoberfläche. Über alle Versuchsglieder standen die Maispflanzen in leichten Mulden, die durchschnittlich weniger als 1 cm tief waren. Dies bot optimale Bedingungen, um die Maisstoppeln bodennah zu bearbeiten. Es zeigten sich leichte Unterschiede zwischen den Parzellen der Versuchsglieder, die angesichts des insgesamt niedrigen Niveaus praktisch nicht von Bedeutung gewesen sein dürften.

Am Versuchsstandort Timmaspe erfolgten die Bonituren schrittweise, sodass zunächst die Parzellen mit den zwei unterschiedlichen Erntevorsätzen bearbeitet und bonitiert wurden. Anschließend erfolgte das Mulchen der Parzellen der Varianten HS2 mit erneuter Bonitur im Anschluss (vgl. Kapitel 6.1.1.3.3). Entsprechend gelten die Ergebnisse der Vorerntebonitur in den Parzellen HS2 auch für die Mulcher-Varianten.

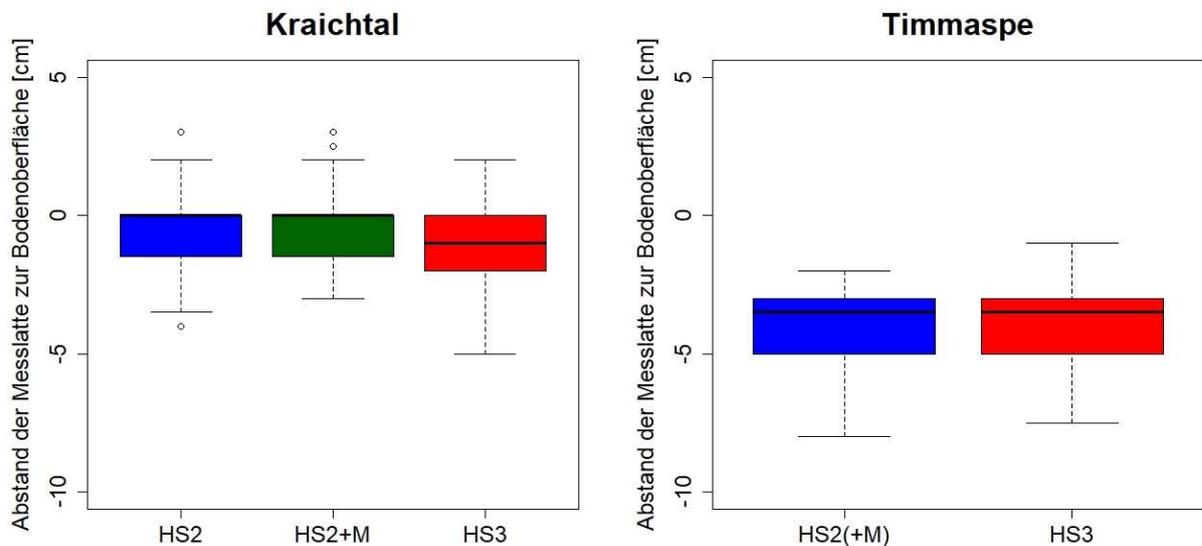


Abbildung 52: Beschaffenheit der Bodenoberfläche (Vorerntebonitur) an den Versuchsstandorten Kraichtal und Timmaspe 2020

Die Ausgangsbedingungen für die Stoppelbearbeitungsverfahren waren am Versuchsstandort Timmaspe schwierig. Die Vorerntebonitur ergab, dass die Maispflanzen in Mulden mit durchschnittlich -4,0 cm Tiefe standen. Die Spannweite der Messergebnisse war groß und reicht von -1 cm bis -8 cm Tiefe. Das bedeutet, selbst bei Führung der Stoppelbearbeitungswerkzeuge direkt an der Bodenoberfläche, konnten im Durchschnitt die untersten 4 cm der Maisstoppeln nicht erreicht werden. Die Bedingungen waren für alle Varianten und über die Wiederholungen vergleichbar.

Abbildung 53 gibt die Ergebnisse der Messungen der Abstände der untersten Knoten der Maisstängel von der Bodenoberfläche wieder. Am Versuchsstandort Kraichtal wurden vergleichsweise geringe Abstände der unteren Knoten von der Bodenoberfläche gemessen. Dies erschwert die Stoppelzerkleinerung. Mit einem durchschnittlichen Abstand von 6,3 cm befanden sich die Knoten vergleichsweise dicht über der Bodenoberfläche. Bei ca. 20% der Maispflanzen war der niedrigste Knoten weniger als 3 cm von der Bodenoberfläche entfernt, sodass der nächst höhere Knoten für die Bewertungen heranzuziehen war (vgl. Kapitel 6.1.1.1.1).

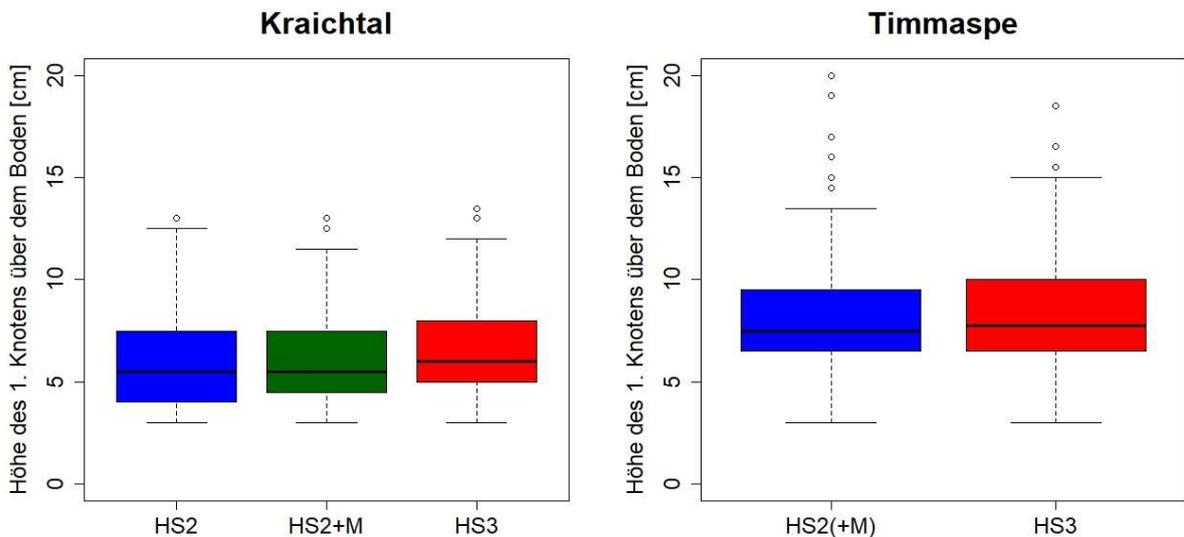


Abbildung 53: Ergebnis der Messungen des Abstandes der ersten Knoten der Maisstängel von der Bodenoberfläche an den Versuchsstandorten Kraichtal und Timmaspe 2020

Die Abstände der untersten Knoten der Maispflanzen von der Bodenoberfläche waren am Versuchsstandort Timmaspe hingegen größer. Mit durchschnittlich 8,3 cm in der Variante HS3 und 8,0 cm in der Variante HS2(+M) waren die Bedingungen vergleichbar.

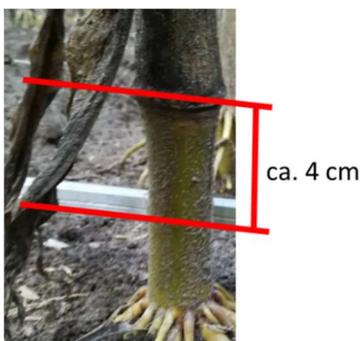


Abbildung 54: Durchschnittliche Höhe des untersten Knotens der Maispflanzen oberhalb des tiefsten Arbeitshorizonts der Stoppelbearbeitungswerkzeuge, Versuchsstandort Timmaspe

Dennoch, in der Kombination mit den tiefen Saatrinnen waren die Bedingungen schwierig. Bei einer durchschnittlichen Tiefe der Saattrinne von ca. -4 cm, befanden sich die untersten Knoten der Maispflanzen durchschnittlich nur ca. 4 cm oberhalb des tiefst möglichen Arbeitshorizonts der Stoppelbearbeitungswerkzeuge (siehe Abbildung 54).

Tabelle 21 stellt die Ergebnisse der Bonitur des Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen am Versuchsstandort Timmaspe dar. In den Bereichen ohne Fahrspureinfluss hinterließen die Maispflücker stabil stehende Maisstoppeln. Im Bereich der Fahrspuren des Mähreschers wurden durchschnittlich 53,5% der Maisstoppeln entsprechend der Boniturstufe 3 zu Boden gedrückt. Mit durchschnittlich 41,5% war der Großteil der übrigen Maisstoppeln entsprechend der Boniturstufe 2 deutlich geknickt.

Tabelle 21: Boniturergebnis zum Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen der Versuchspartellen am Standort Timmaspe

Variante	Fahrspur	Block	Boniturstufe [%]			Mittlere Boniturnote
			1	2	3	
HS2+M	außerhalb	A	97.5	2.5	0.0	1.0
		B	100.0	0.0	0.0	1.0
		C	100.0	0.0	0.0	1.0
		D	100.0	0.0	0.0	1.0
		E	100.0	0.0	0.0	1.0
		Mittelwert	99.5	0.5	0.0	1.0
	innerhalb	A	7.5	27.5	65.0	2.6
		B	5.0	40.0	55.0	2.5
		C	7.5	37.5	55.0	2.5
		D	5.0	55.0	40.0	2.4
E		0.0	47.5	52.5	2.5	
	Mittelwert	5.0	41.5	53.5	2.5	

Die Bonitur des Habitus der Maisstoppeln am Standort Kraichtal zeigte ebenfalls das erwartete Bild. In Bereichen ohne Fahrspureinfluss hinterließ der Maispflücker HS2 fest stehende Maisstoppeln entsprechend der Boniturstufe 1. Im Fahrspurbereich waren hingegen durchschnittlich 41,7% der Maisstoppeln zu Boden gedrückt (Boniturstufe 3) und 53,8% der Maisstoppeln abgeknickt (Boniturstufe 2).

Tabelle 22: Boniturergebnis zum Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen der Versuchspartellen am Standort Kraichtal

Fahrspur	Block	Boniturstufe [%]			Mittlere Boniturnote
		1	2	3	
außerhalb	A	100.0	0.0	0.0	1.0
	B	97.5	2.5	0.0	1.0
	C	100.0	0.0	0.0	1.0
	D	100.0	0.0	0.0	1.0
	E	100.0	0.0	0.0	1.0
	F	97.5	2.5	0.0	1.0
	Mittelwert	99.2	0.8	0.0	1.0
innerhalb	A	0.0	62.5	37.5	2.4
	B	5.0	57.5	37.5	2.3
	C	7.5	42.5	50.0	2.4
	D	2.5	62.5	35.0	2.3
	E	7.5	37.5	55.0	2.5
	F	5.0	60.0	35.0	2.3
	Mittelwert	4.6	53.8	41.7	2.4

In Tabelle 23 sind die Boniturergebnisse des Zerstörungsgrades der Maisstoppeln in Bereichen ohne Fahrspureinfluss für die Versuchsvarianten und deren Wiederholungen am Versuchsstandort Kraichtal wiedergegeben. Wie in den vorangegangenen Versuchen haben die Boniturstufe 1 – vollständig zerstörte Maisstoppeln – und die Boniturstufe 5 – intakte Maisstoppeln – die größte Bedeutung und machen gemeinsam in allen Wiederholungen einen Anteil von mindestens 85% aus. Die mittleren Boniturstufen 2 bis 4 haben nur geringe Anteile. Sofern die Werkzeuge der Stoppelbearbeitungsgeräte die Maisstoppeln ausreichend flach über dem Boden erfassen können, d.h. dicht am oder unterhalb des niedrigsten Knotens, so werden die Maisstoppeln vollständig zerfasert. Im umgekehrten Fall reißen die Stoppeln nur bis zum nächst tiefer gelegenen Knoten auf. Darunter bleibt ein intaktes Stoppelsegment zurück.

Die Variante HS2 ohne Stoppelbearbeitung hinterließ mit durchschnittlich 94,2% erwartungsgemäß den Großteil der Maisstoppeln in Bereichen ohne Fahrspureinfluss intakt. Der im Nachernteverfahren eingesetzte Schlegelmulcher konnte zwischen 85% und 90% der Maisstoppeln entsprechend der Boniturstufe 1 vollständig auffasern. In der Variante HS3 zeigten sich starke Unterschiede zwischen den einzelnen Wiederholungen. Während der HS3 in den Blöcken C und D, mit einem Anteil vollständig zerstörter Maisstoppeln in Höhe von 80%, passable Resultate erzielen konnte, wurden in den Blöcken B, E und F mit 45% bis 60% deutlich schlechtere Ergebnisse erreicht. Im Block A hinterließ der HS3 95% der Maisstoppeln intakt, entsprechend der Boniturstufe 5.

Tabelle 23: Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Kraichtal 2020, relative Häufigkeiten je Boniturstufe

Variante	Block	Boniturstufe [%]					Mittlere Boniturnote
		1	2	3	4	5	
HS3	A	0.0	5.0	0.0	0.0	95.0	4.9
	B	55.0	10.0	0.0	5.0	30.0	2.5
	C	80.0	0.0	0.0	0.0	20.0	1.8
	D	80.0	5.0	5.0	0.0	10.0	1.6
	E	60.0	10.0	0.0	15.0	15.0	2.2
	F	45.0	5.0	5.0	5.0	40.0	2.9
	Mittelwert	53.3	5.8	1.7	4.2	35.0	2.6
HS2+M	A	90.0	0.0	0.0	0.0	10.0	1.4
	B	90.0	0.0	0.0	0.0	10.0	1.4
	C	90.0	0.0	5.0	0.0	5.0	1.3
	D	85.0	0.0	0.0	0.0	15.0	1.6
	E	85.0	0.0	0.0	0.0	15.0	1.6
	F	85.0	0.0	0.0	0.0	15.0	1.6
	Mittelwert	88.0	0.0	1.0	0.0	11.0	1.5
HS2	A	0.0	5.0	5.0	0.0	90.0	4.8
	B	0.0	0.0	0.0	10.0	90.0	4.9
	C	5.0	0.0	5.0	0.0	90.0	4.7
	D	0.0	0.0	5.0	0.0	95.0	4.9
	E	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	F	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	Mittelwert	0.8	0.8	2.5	1.7	94.2	4.9

In Tabelle 24 sind die Ergebnisse der Stoppelbonitur aus den Fahrspurbereichen des Mähreschers am Versuchsstandort Kraichtal wiedergegeben. In den Varianten ohne zusätzliche Stoppelbearbeitung im Nachernteverfahren sorgte das Überfahren der Maisstoppeln für höhere Anteile vollständig zerstörter und beschädigter Maisstoppeln. Mit einem Anteil von durchschnittlich 35% vollständig zerstörter Maisstoppeln in der Variante HS2 liegt dieser deutlich höher als in Bereichen ohne Fahrspureinfluss. Der Anteil intakter Stoppeln reduzierte sich auf durchschnittlich 52,5%. Besonders starke Fahrspureffekte zeigten sich abermals in der Variante HS3. Die sehr kurzen Reststoppeln zerplatzen beim Auftreffen der Bandlaufwerke des Mähreschers. Im Durchschnitt über alle Wiederholungen waren unter Fahrspureinfluss 80,8% aller Maisstoppeln vollständig zerstört. Durchschnittlich 17,5% der Stoppeln waren intakt. Damit erzielte der HS3 unter Fahrspureinfluss deutlich bessere Ergebnisse als in Bereichen ohne Fahrspureinfluss. In der Variante HS2+M kam unter Fahrspureinfluss das Hauptproblem der Stoppelbearbeitung mittels Schlegelmulcher im Nachernteverfahren zum Ausdruck. Der Mulcher konnte die zu Boden gedrückten Maisstoppeln im Fahrspurbereich anteilig nicht

erreichen. Gegenüber der Boniturergebnisse aus Teilflächen ohne Fahrspureinfluss konnten mit durchschnittlich 43% nur circa halb so viele Maisstoppeln vollständig, entsprechend der Boniturstufe 1, zerstört werden. Mit einem Anteil von 47% blieben viele Maisstoppeln im Fahrspurbereich intakt.

Tabelle 24: Zerstörungsgrad der Maisstoppeln mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Kraichtal 2020, relative Häufigkeiten je Boniturstufe

Variante	Block	Boniturstufe [%]					Mittlere Boniturnote
		1	2	3	4	5	
HS3	A	50.0	0.0	0.0	0.0	50.0	3.0
	B	85.0	0.0	0.0	0.0	15.0	1.6
	C	85.0	0.0	5.0	0.0	10.0	1.5
	D	95.0	0.0	0.0	0.0	5.0	1.2
	E	75.0	0.0	0.0	5.0	20.0	2.0
	F	95.0	0.0	0.0	0.0	5.0	1.2
	Mittelwert	80.8	0.0	0.8	0.8	17.5	1.7
HS2+M	A	75.0	5.0	15.0	0.0	5.0	1.6
	B	45.0	5.0	5.0	0.0	45.0	3.0
	C	35.0	0.0	0.0	0.0	65.0	3.6
	D	20.0	10.0	5.0	5.0	60.0	3.8
	E	50.0	10.0	5.0	0.0	35.0	2.6
	F	40.0	0.0	0.0	0.0	60.0	3.4
	Mittelwert	43.0	4.0	5.0	1.0	47.0	3.1
HS2	A	15.0	0.0	30.0	0.0	55.0	3.8
	B	55.0	0.0	10.0	0.0	35.0	2.6
	C	40.0	0.0	5.0	0.0	55.0	3.3
	D	30.0	0.0	20.0	0.0	50.0	3.4
	E	35.0	5.0	0.0	0.0	60.0	3.5
	F	35.0	0.0	5.0	0.0	60.0	3.5
	Mittelwert	35.0	0.8	11.7	0.0	52.5	3.3

Deutliche Abweichungen vom Trend zeigten sich in allen Versuchsvarianten im Block A. Sowohl in der Variante HS2 als auch in der Variante HS3 wurden im Block A deutlich weniger Maisstoppeln vollständig zerstört, als in den übrigen Wiederholungen. Der Mulcher erzielte im Block A hingegen ein überdurchschnittliches Ergebnis und zerstörte 75% der Maisstoppeln vollständig. Als möglicherweise ursächlich für die abweichenden Ergebnisse unter Fahrspureinfluss der Varianten HS2 und HS3 im Block A ist die Hangneigung der Parzellen anzuführen. Vermutlich sorgte die Notwendigkeit des Gegenlenkens, um den Erntevorsatz des Mähdreschers am Hang auf Höhe der Maisreihen halten zu können, dafür, dass die Hinterachse des Mähdreschers nicht exakt in der gleichen Spur wie die Bandlaufwerke der Vorderachse liefen. Möglicherweise war die Ausrichtung des Fahrwerks zu den Maisreihen insgesamt beeinflusst, sodass die Maisstoppeln weniger stark dem

Fahrspureinfluss unterlagen. Ein exaktes Geländemodell der Versuchsfläche liegt nicht vor. Als Anhaltspunkt für die Hangneigung der Versuchsparzellen wurden die Höhenangaben der RTK-korrigierten GPS-Koordinaten der Eckpunkte der Versuchsparzellen herangezogen. In Abbildung 55 sind die daraus berechneten Hangneigungen dargestellt. Zusätzlich ist die Richtung der Hangneigung, die Fahrtrichtung des Mähreschers sowie des Mulchers eingezeichnet.

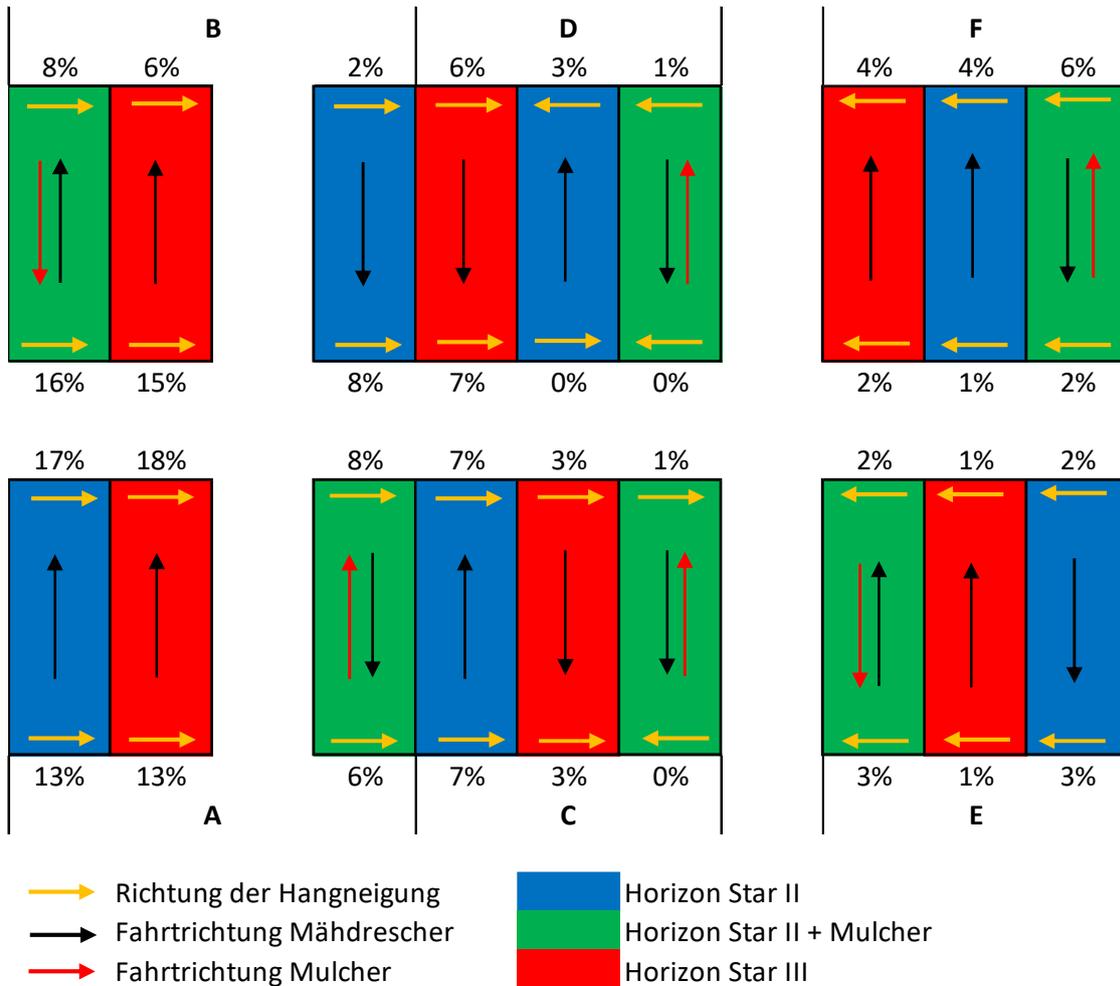


Abbildung 55: Hangneigungen und Fahrtrichtungen in den Parzellen am Versuchsstandort Kraichtal

Aus Abbildung 55 geht hervor, dass die Parzellen der Varianten HS2 und HS3 im Block A die stärksten Hangneigungen aufweisen.

Durch die schräge Fahrt am Seitenhang verschieben sich nicht nur die Fahrspuren sondern verändert sich zusätzlich der Winkel des Erntevorsatzes zu den Maisreihen. Diese werden nicht, wie in der Ebene, gerade in den Erntevorsatz eingezogen. Somit ändert sich die Ausrichtung der Hybridmesser des HS3 zur Stoppelreihe. Die Hybridmesser rotieren auf einer leicht schräg zur Bodenoberfläche angestellten Kreisbahn und arbeiten seitlich in die Maisreihe hinein. Durch den veränderten Winkel des Erntevorsatzes zur Maisreihe, trifft das Messer die Maisstoppel nicht am tiefsten Punkt der Kreisbahn. Die Folge sind längere

Reststoppeln und schlechtere Zerstörungsgrade. Die Horizontalhäcksler sind in Fahrtrichtung rechts von den Pflückaggregaten angeordnet, sodass ein Versatz des Erntevorsatzes von der Maisreihe in Fahrtrichtung nach rechts zu besonders starken Auswirkungen führt (siehe Abbildung 56). Wie der Abbildung 55 zu entnehmen ist, war dies in der Versuchsparzelle der Variante HS3 im Block A der Fall. Hierin wird die Ursache für die schlechte Zerkleinerungswirkung auch in Bereichen ohne Fahrspureinfluss vermutet (vgl. Tabelle 23). Untermuert wird dies durch die Ergebnisse der Messung der Reststoppellängen, die in dieser Parzelle etwas länger waren, als in den übrigen (siehe Tabelle 25).

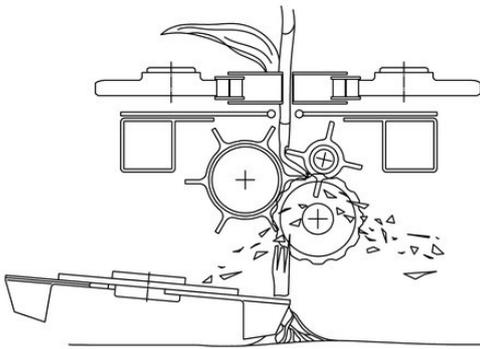


Abbildung 56: Aufbau der Reihenaggregate des Horizon Star* III

Der überdurchschnittliche Anteil vollständig zerstörter Maisstoppeln im Fahrspurbereich der Parzelle A der Variante HS2+M lässt sich hingegen nicht auf Basis der Hangneigung erklären. Auch die Fahrtrichtung, entgegengesetzt der Fahrtrichtung des Mähdreschers, wurde in allen Parzellen der Variante eingehalten (siehe Abbildung 55). Gleichermäßen zeigte die Vorerntebonitur keine Besonderheiten in dieser Parzelle. Die in Tabelle 22 wiedergegebenen Resultate der Bonitur des Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen lassen ebenfalls keine Rückschlüsse zu. Mit 62,5% geknickter Maisstoppeln und 37,5% am Boden liegender Maisstoppeln, unterscheidet sich die Parzelle im Block A nicht wesentlich von den übrigen Parzellen der Variante HS2+M.

In Tabelle 25 sind die Höhen der Reststoppeln aus Bereichen ohne Fahrspureinfluss nach Varianten und Wiederholungen für den Versuchsstandort Kraichtal wiedergegeben.

Tabelle 25: Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe der massiven Stoppelsegmente in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Kraichtal 2020

Variante	Block	Gesamthöhe [cm]		Höhe massives Stoppelsegment [cm]	
		Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
HS3	A	10.6	1.9	7.8	1.4
	B	10.0	1.7	5.2	2.9
	C	7.0	2.0	5.1	1.5
	D	8.1	2.2	3.6	2.2
	E	7.2	1.7	3.5	2.5
	F	7.7	2.3	4.1	2.0
	Mittelwert	8.4	1.5	4.9	1.6
HS2+M	A	7.7	1.5	4.6	1.9
	B	6.6	3.1	2.5	3.0
	C	7.1	1.8	3.1	1.3
	D	8.3	1.2	2.5	2.4
	E	8.4	2.0	2.7	2.2
	F	7.1	2.2	3.4	2.4
	Mittelwert	7.5	0.7	3.1	0.8
HS2	A	13.2	0.8	13.1	0.8
	B	12.9	0.6	12.9	0.6
	C	12.7	1.5	12.1	2.7
	D	13.0	1.0	13.0	1.0
	E	11.8	1.1	11.8	1.1
	F	12.2	1.3	11.4	1.9
	Mittelwert	12.6	0.6	12.4	0.7

Der Schlegelmulcher hinterließ durchschnittliche 7,5 cm lange Reststoppeln mit einem massiven Anteil von 3,1 cm. In den Wiederholungen C bis F betrug die durchschnittliche Reststoppellänge in der Variante HS3 ebenfalls 7,5 cm. Die durchschnittliche Länge des massiven Stoppelsegments von 4,1 cm ist hingegen 1 cm länger als in der Variante HS2+M und dürfte ausschlaggebend sein für die Unterschiede im Grad der Stoppelzerstörung. Die durchschnittliche Gesamtlänge der Reststoppeln der Variante HS3 in den Böcken A und B sind mit 10,6 cm und 10,0 cm hingegen länger und stehen vermutlich im Zusammenhang mit dem bereits diskutierten Einfluss der Hangneigung (vgl. Abbildung 55). Speziell im Block A waren längere massive Stoppelsegmente mit durchschnittlich 7,8 cm festzustellen. Dies spiegelte sich in der Bonitur des Stoppelzerstörungsgrades mit 95 % intakter Maisstoppeln wieder (siehe Tabelle 23). Mit mittleren Reststoppellängen von 12,6 cm in der Variante HS2, wurde der Erntevorsatz vergleichsweise flach über dem Boden gefahren. Mit durchschnittlich 12,4 cm massiven Anteil, wurden die Stoppeln durch den Horizon Star II erwartungsgemäß nicht aufgefasert.

Mit 8,6 cm und 6,6 cm waren auch im Fahrspurbereich der HS3-Parzellen in den Blöcken A und B die längsten Reststoppeln vorzufinden. Speziell im Block A zeigten sich zudem mit

durchschnittlich 5,3 cm massiven Anteil die höchsten Werte, passend zu den Resultaten der Bonitur des Stoppelzerstörungsgrades. In den übrigen Parzellen belief sich die Länge des massiven Stoppelsegments auf durchschnittlich 2,0 cm, was die guten Resultate im Stoppelzerstörungsgrad unter Fahrspureinfluss erklärt (vgl. Tabelle 24).

Tabelle 26: Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe der massiven Stoppelsegmente in Bereichen mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Kraichtal 2020

Variante	Block	Gesamthöhe [cm]		Höhe massives Stoppelsegment [cm]	
		Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
HS3	A	8.6	3.3	5.3	2.7
	B	6.6	3.0	1.2	2.1
	C	6.4	2.3	3.6	1.5
	D	5.0	2.6	1.1	1.4
	E	6.5	1.3	2.7	2.0
	F	5.8	2.3	1.4	1.9
	Mittelwert	6.5	1.2	2.5	1.7
HS2+M	A	8.8	2.7	4.8	4.1
	B	9.8	4.4	4.9	4.5
	C	10.0	2.8	6.6	3.9
	D	10.8	2.4	7.7	4.8
	E	9.3	2.7	4.3	3.9
	F	10.5	4.1	7.1	4.1
	Mittelwert	9.9	0.7	5.9	1.4
HS2	A	12.8	2.5	6.7	3.7
	B	11.7	2.9	5.4	5.5
	C	11.2	3.1	8.1	4.6
	D	11.2	2.6	6.9	4.8
	E	10.8	2.4	7.2	5.4
	F	11.7	1.2	6.0	4.7
	Mittelwert	11.5	0.7	6.7	0.9

Der Mulcher hinterließ im Fahrspurbereich mit 9,9 cm durchschnittlicher Gesamtlänge erwartungsgemäß deutlich längere Reststoppeln als in Bereichen ohne Fahrspureinfluss. Die Länge des massiven Stoppelsegments betrug im Mittel 5,9 cm, passend zur reduzierten Arbeitsqualität im Fahrspurbereich. Die überdurchschnittlich guten Ergebnisse in der Stoppelzerstörung im Block A, lassen sich hingegen nur bedingt über die Stoppellängen erklären. Mit 8,8 cm Gesamtlänge im Block A der Mulcher-Variante, waren die Maisstoppeln am kürzesten, allerdings zeigten sich keine sehr starken Unterschiede in der Länge des massiven Stoppelsegments im Vergleich zu den übrigen Parzellen, als dass sich die Resultate der Stoppelbonitur erklären ließen. In der Kontrollvariante waren die Reststoppeln unter Fahrspureinfluss ca. 1 cm kürzer als in Bereichen ohne Fahrspureinfluss. Der massive Anteil der Reststoppel war mit 6,7 cm im Durchschnitt hingegen deutlich geringer.

Abbildung 57 gibt die Ergebnisse der Messungen der Bodenunebenheiten im Bereich der Saatzeilen bzw. der Fahrspuren, erhoben während der Stoppelbonitur im Anschluss an die Stoppelbearbeitung am Versuchsstandort Kraichtal, wieder.

Im Vergleich von Teilflächen ohne und mit Fahrspureinfluss, zeigte sich, dass das Fahrwerk des Mähreschers nicht nennenswert in den Boden einsank und kaum Spuren hinterließ. Tendenziell sorgte das Überfahren eher für eine weitere Einebnung der Bodenoberfläche. Wie bereits während der Vorerntebonitur festgestellt, befand sich die Bodenoberfläche in einem optimal ebenen Zustand. Angesichts der hohen Tragfähigkeit und des ebenen Zustands des Bodens führten die Stützwalzen des Mulchers ebenfalls zu keiner nennenswerten Einebnung.

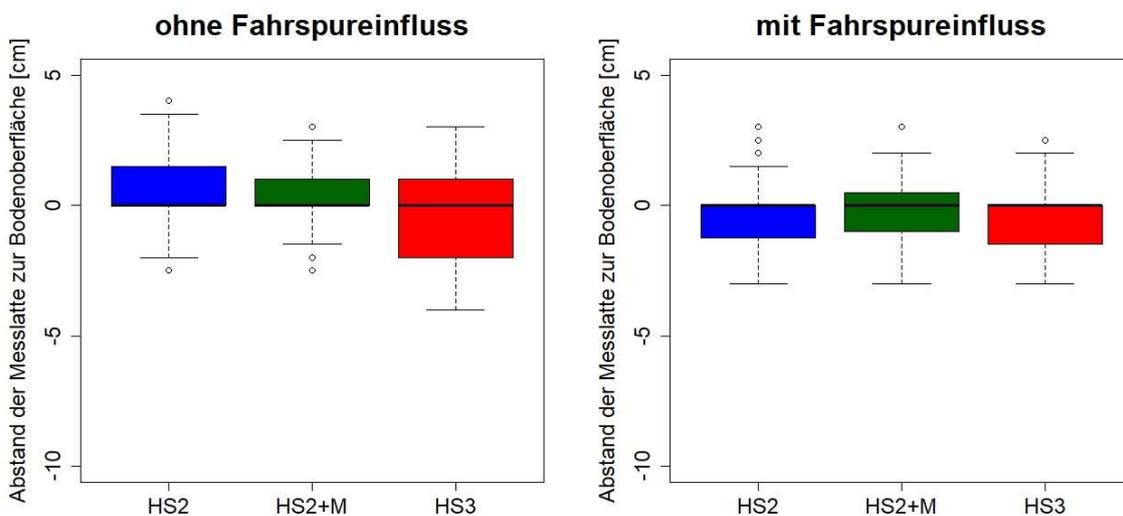


Abbildung 57: Beschaffenheit der Bodenoberfläche/ Spurtiefe am Versuchsstandort Kraichtal 2020

Der Boxplot in Abbildung 58 stellt die nach Flächenanteilen gewichteten durchschnittlichen Boniturnoten der Stoppelzerstörung der Versuchsvarianten am Versuchsstandort Kraichtal dar. Die Gewichtung basiert auf der Minimalannahme eines Fahrspuranteils von 25%.

In Folge der unzureichenden Arbeitsqualität des HS3 in Bereichen ohne Fahrspureinfluss, ergibt sich eine mittlere Boniturnote über die Gesamtfläche von 2,4. Damit erreichte die Variante HS2+M mit durchschnittlich 1,9 ein besseres Gesamtergebnis bei geringerer Streuung.

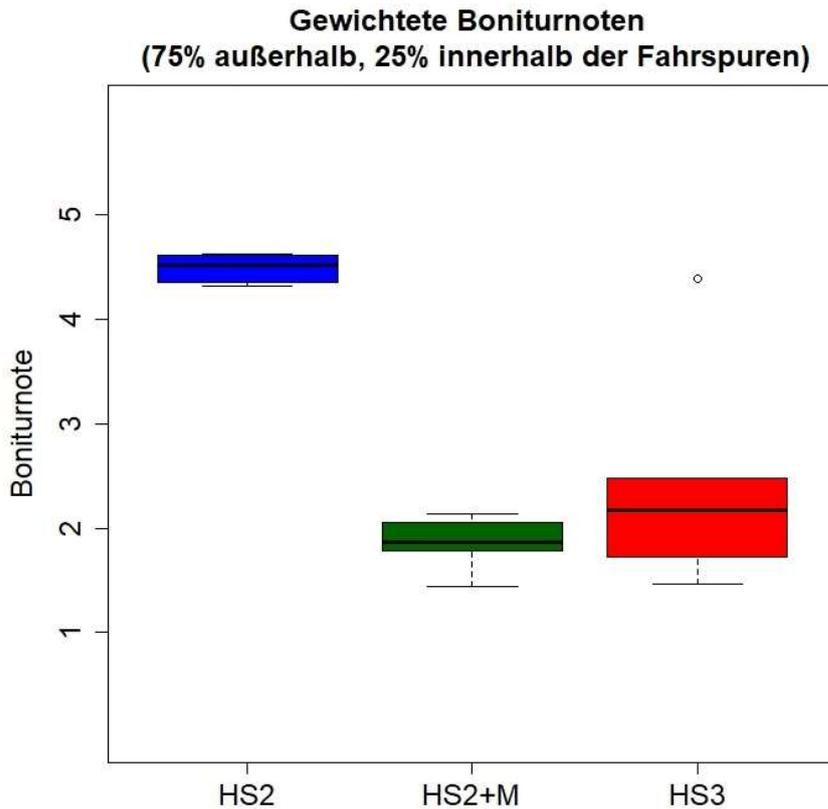


Abbildung 58: Nach Fahrspuranteil gewichtete Boniturnoten am Standort Kraichtal 2020

In Tabelle 27 sind die Boniturergebnisse des Zerstörungsgrades der Maisstoppeln in Bereichen ohne Fahrspureinfluss für die Versuchsvarianten und deren Wiederholungen am Versuchsstandort Timmaspe als relative Häufigkeiten je Boniturstufe wiedergegeben. Aus der Tabelle geht hervor, dass in der Variante HS3 über alle Wiederholungen geringe Anteile vollständig zerstörte Maisstoppeln, entsprechend der Boniturstufe 1, im Bereich von 30% bis 40%, festgestellt wurden. Zwischen 45% und 50% der Maisstoppeln blieben mit einem intakten Internodium zurück. Im Vergleich dazu hinterließ die Mulcher-Variante mit durchschnittlich 22% deutlich weniger intakte Maisstoppeln außerhalb der Fahrspuren. Mit 65% bis 85% konnte der Mulcher im Nachernteverfahren doppelt so viele Maisstoppeln vollständig zerstören. Die schwierigen Bedingungen durch tiefe Mulden im Bereich der Saatreihen äußerten sich durch eine erhebliche Streuung. Mit durchschnittlich 97% hinterließ der Maispflücker HS2 erwartungsgemäß nahezu alle Maisstoppeln intakt.

Tabelle 27: Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Timmaspe 2020, relative Häufigkeiten je Boniturstufe

Variante	Block	Boniturstufe [%]					Mittlere Boniturnote
		1	2	3	4	5	
HS3	A	35.0	10.0	10.0	0.0	45.0	3.1
	B	40.0	0.0	10.0	5.0	45.0	3.2
	C	40.0	5.0	10.0	0.0	45.0	3.1
	D	30.0	15.0	5.0	0.0	50.0	3.3
	E	40.0	10.0	5.0	0.0	45.0	3.0
	Mittelwert		37.0	8.0	8.0	1.0	46.0
HS2+M	A	65.0	0.0	0.0	5.0	30.0	2.4
	B	85.0	0.0	0.0	0.0	15.0	1.6
	C	70.0	5.0	0.0	0.0	25.0	2.1
	D	75.0	0.0	0.0	0.0	25.0	2.0
	E	85.0	0.0	0.0	0.0	15.0	1.6
	Mittelwert		76.0	1.0	0.0	1.0	22.0
HS2	A	0.0	0.0	0.0	0.0	100	5.0
	B	0.0	0.0	0.0	0.0	100	5.0
	C	0.0	0.0	0.0	10.0	90.0	4.9
	D	0.0	0.0	5.0	0.0	95.0	4.9
	E	0.0	0.0	0.0	0.0	100	5.0
	Mittelwert		0.0	0.0	1.0	2.0	97.0

Trotz des geringeren Bearbeitungserfolges des HS3 zeigten sich keine großen Unterschiede in der Gesamthöhe der Reststoppeln zu der Mulcher-Variante (siehe Abbildung 59). Mit einer durchschnittlichen Reststoppelhöhe von 10,5 cm lag das Ergebnis des HS3 nahe der Mulcher-Varianten mit durchschnittlich 10,0 cm. Entscheidend für die Unterschiede in der Aufbereitungsqualität ist die Länge des massiven Anteils der Reststoppel. Mit durchschnittlich 6,6 cm in der Variante HS3 gegenüber 3,4 cm in der Mulcher-Variante, hinterließ der HS3 deutlich längere massive Stoppelsegmente.

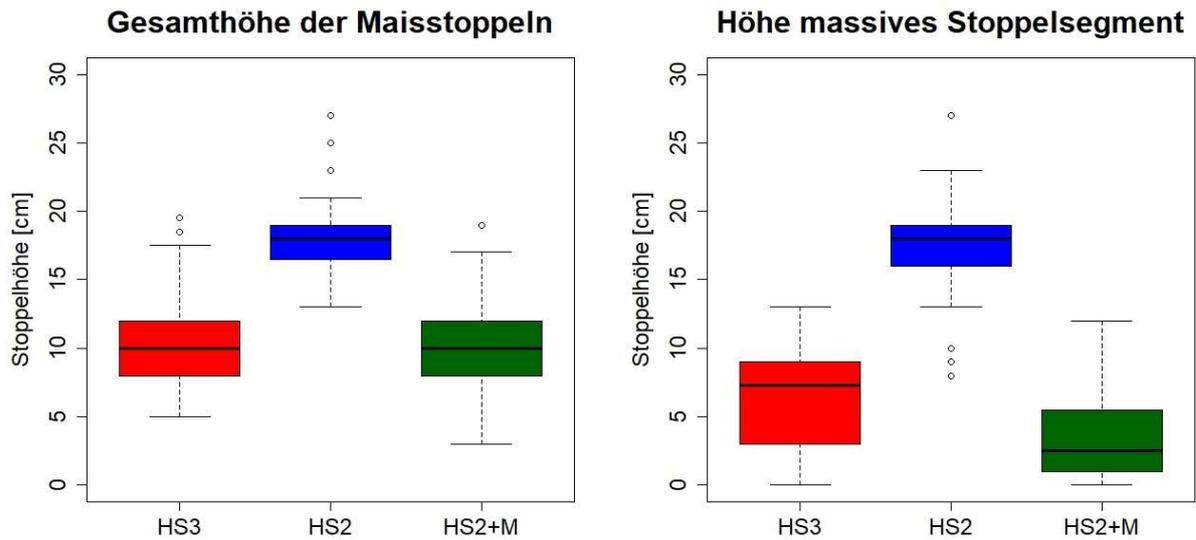


Abbildung 59: Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Timmaspe

Die Ursache für die geringere Arbeitsqualität des HS3 im Vergleich zu der Mulcher-Variante in Bereichen ohne Fahrspureinfluss konnte nicht abschließend ermittelt werden. Mehrere Ursachen sind denkbar, deren Einfluss noch weitergehend zu prüfen ist:

Aufgrund fehlender Reihentaster war keine automatische Spurführung des Mähdreschers möglich, sodass der Fahrer den Mähdrescher selbst lenken musste. Die Auswirkungen der nicht korrekten Ausrichtung des Erntevorsatzes zur Maisreihe stellen eine mögliche Ursache dar, die auch im Zusammenhang mit den Ergebnissen am Standort Kraichtal diskutiert wurden.

Weiterhin ist die von den Werkzeugen des Schlegelmulchers abweichende Wirkungsweise der speziellen Hybridmesser des HS3 als mögliche Ursache zu erörtern.

Eine nicht sachgerechte Einstellung der Maschinenkombination, mit einem zu großen Abstand des Erntevorsatzes von der Bodenoberfläche, ist aufgrund der zu den Mulcher-Varianten vergleichbaren durchschnittlichen Gesamthöhen der Reststoppeln, als Ursache für die reduzierte Arbeitsqualität unwahrscheinlich. Auch auf eine ungleichmäßige Höhenführung des Erntevorsatzes kann nicht unmittelbar geschlossen werden, da die Streuung der Messwerte der Gesamthöhe der Reststoppeln im Vergleich zu den Versuchen der Vorjahre in einem akzeptablen Bereich lag.

Im Bereich der Fahrspuren des Mähdreschers konnte der eingesetzte Schlegelmulcher die Arbeitsqualität nicht weiter erhöhen (siehe Tabelle 28). In diesen Bereichen zeigten sich keine nennenswerten Unterschiede in den Boniturergebnissen vor und nach dem Mulchen, 48% der Maisstoppeln blieben intakt in der Fahrspur zurück. Circa ein Drittel der

Maisstoppeln wurden durch das Überfahren aufgefasert. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den Bonituren des Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen (vgl. Tabelle 21).

In der Variante HS3 zeigte sich abermals, dass das Überfahren der kurzen Maisstoppeln zu einer Verbesserung der Arbeitsqualität führt. In den Fahrspuren waren durchschnittlich 67% der Maisstoppeln nach der Bearbeitung mittels HS3 entsprechend der Boniturstufe 1 vollständig zerstört, 28% blieben intakt zurück.

Tabelle 28: Zerstörungsgrad der Maisstoppeln mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Timmaspe 2020, relative Häufigkeiten je Boniturstufe

Variante	Block	Boniturstufe [%]					Mittlere Boniturnote
		1	2	3	4	5	
HS3	A	65.0	0.0	0.0	0.0	35.0	2.4
	B	70.0	10.0	0.0	0.0	20.0	1.9
	C	65.0	5.0	0.0	0.0	30.0	2.3
	D	55.0	0.0	5.0	50.	35.0	2.7
	E	80.0	0.0	0.0	0.0	20.0	1.8
	Mittelwert	67.0	3.0	1.0	1.0	28.0	2.2
HS2+M	A	40.0	0.0	10.0	5.0	40.0	3.0
	B	30.0	5.0	20.0	5.0	40.0	3.2
	C	20.0	5.0	15.0	0.0	60.0	3.8
	D	45.0	15.0	0.0	0.0	40.0	2.8
	E	40.0	5.0	15.0	0.0	40.0	3.0
	Mittelwert	36.0	6.0	12.0	2.0	44.0	3.1
HS2	A	55.0	0.0	0.0	0.0	45.0	2.8
	B	30.0	0.0	20.0	0.0	50.0	3.4
	C	10.0	0.0	0.0	10.0	80.0	4.5
	D	6.50	5.0	5.0	0.0	25.0	2.2
	E	35.0	5.0	15.0	0.0	45.0	3.2
	Mittelwert	39.0	2.0	8.0	2.0	49.0	3.2

Die nachstehende Abbildung 60 stellt die Höhen der Reststoppeln unter Fahrspureinfluss für die Versuchsvarianten am Standort Timmaspe dar. In der Variante HS3 betrug die durchschnittliche Gesamthöhe der Reststoppeln 11,1 cm und war somit geringfügig länger

als in Bereichen ohne Fahrspureinfluss. Mit durchschnittlich 3,9 cm war die Höhe des massiven Anteils hingegen geringer und unterlag im Vergleich der Varianten einer deutlich geringeren Streuung.

Der Schlegelmulcher konnte die von dem Erntevorsatz HS2 zurückgelassenen Maisstoppeln nur um wenige Zentimeter einkürzen. Selbiges gilt für den massiven Anteil der Maisstoppeln.

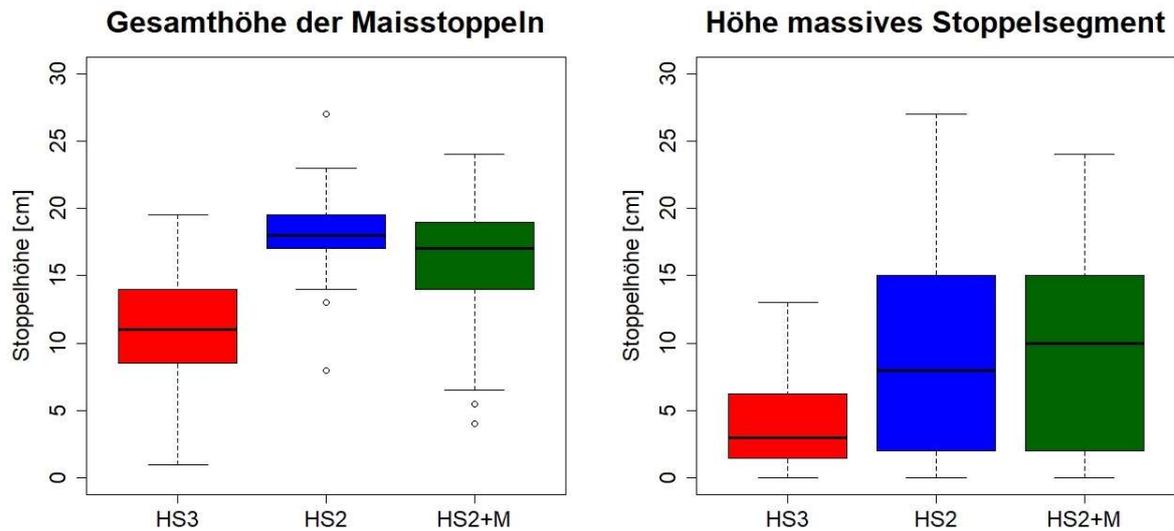


Abbildung 60: Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe des massiven Stoppelsegments in Bereichen mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Timmaspe

Der Boxplot in Abbildung 61 stellt die nach Flächenanteilen gewichteten durchschnittlichen Boniturnoten der Stoppelzerstörung der Versuchsvarianten am Versuchsstandort Timmaspe dar. Die Gewichtung basiert auf der Minimalannahme eines Fahrspuranteils von 25%.

Die durchschnittlichen Boniturnoten zeigen die über beide Stoppelbearbeitungsverfahren unzureichende Arbeitsqualität in Folge der schwierigen Ausgangsbedingungen. Die höhere Arbeitsqualität des HS3 im Fahrspurbereich kann die schlechtere Arbeitsqualität außerhalb der Fahrspuren nicht ausgleichen, sodass der HS3 mit einer mittleren Boniturnote von 2,9 ein schlechteres Gesamtergebnis erzielte als die Mulcher-Variante mit einer mittleren Boniturnote von 2,2. Ohne eine Stoppelbearbeitung ergab sich in den Varianten HS2 eine Durchschnittsnote von 4,5.

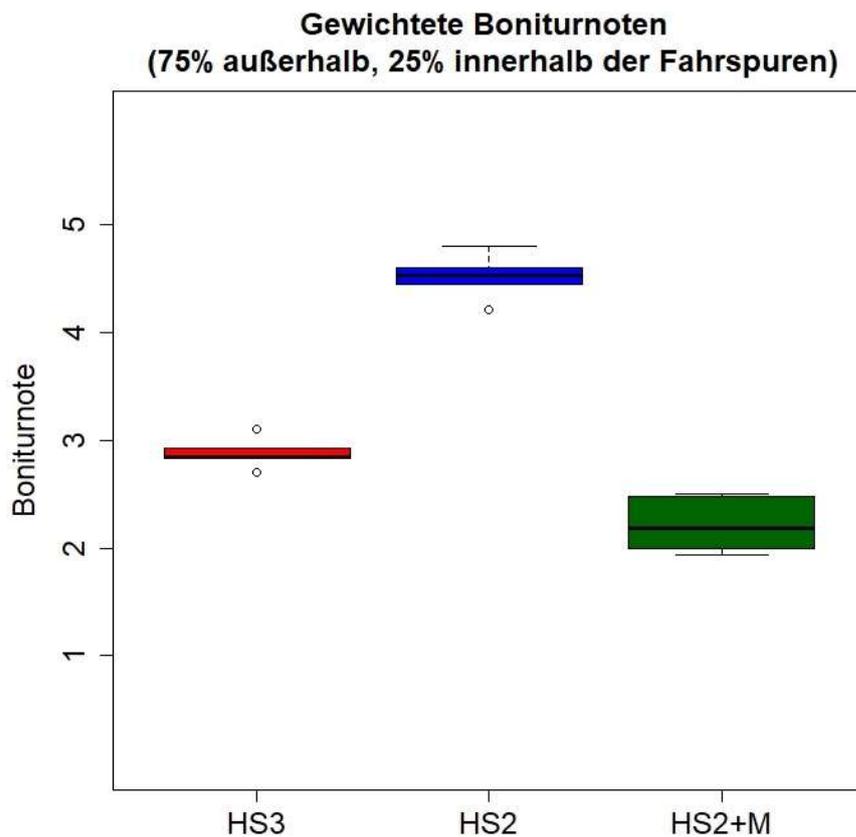


Abbildung 61: Nach Fahrspuranteil gewichtete Boniturnoten am Standort Timmaspe 2020

6.1.2.1.4 Wöbs 2021

In Abbildung 62 sind die Ergebnisse der Vorerntebonitur vom Versuchsstandort Wöbs wiedergegeben. Die Maispflanzen standen auf einer relativ ebenen Bodenoberfläche mit leichten Mulden von durchschnittlich -2,3 cm bis -2,5 cm Tiefe. Die Messergebnisse zeigten eine geringe Streuung und waren über alle Varianten homogen.

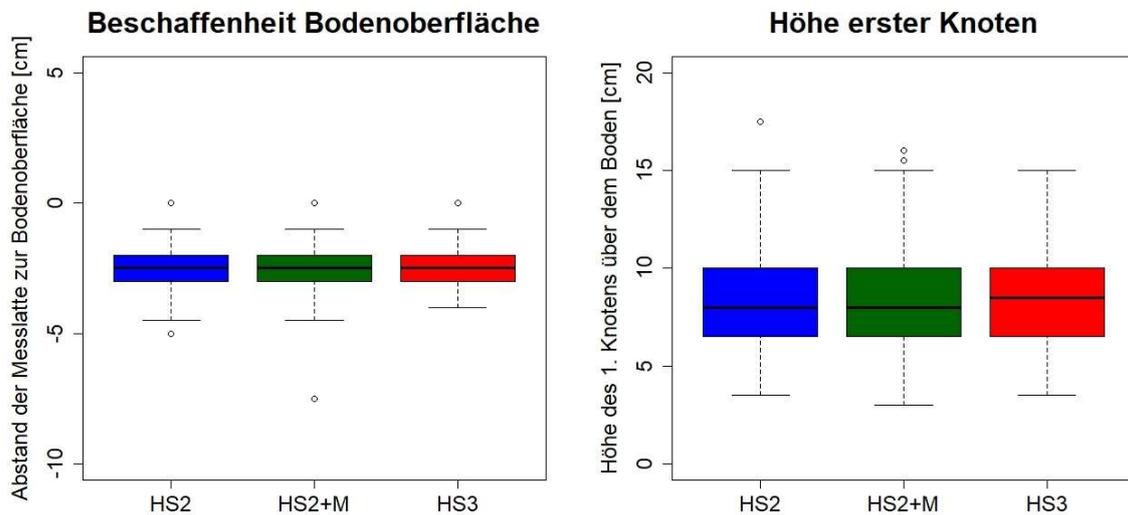


Abbildung 62: Ergebnisse der Vorerntebonitur am Versuchsstandort Wöbs 2021, Beschaffenheit der Bodenoberfläche und Abstand der ersten Knoten der Maisstängel von der Bodenoberfläche

Der durchschnittliche Abstand des ersten Knotens von der Bodenoberfläche betrug in allen Varianten 8,3 cm. Damit boten gute Ausgangsbedingungen für die Stoppelzerkleinerung.

Tabelle 29 stellt die Ergebnisse der Bonitur des Habitus der Maisstoppeln in den Parzellen der Versuchsvariante HS2+M am Versuchsstandort Wöbs dar. In den Bereichen ohne Fahrspureinfluss hinterließ der HS2 mit einem Anteil von durchschnittlich 89,2% überwiegend fest stehende Maisstoppeln. Zu Boden gedrückte Maisstoppeln wurden nicht festgestellt. Im Fahrsbereich wurden durch das Überfahren hingegen 88,3% der Maisstoppeln niedergedrückt, 10,8% blieben geknickt zurück. In den Fahrspuren befanden sich keine fest stehenden Maisstoppeln entsprechend der Boniturstufe 1. Somit zeigte sich das aus den vorangegangenen Versuchsjahren bekannte Bild.

Aufgrund des späten Erntetermins und des im Anschluss an die Ernte einsetzenden Schneefalls konnten die Versuchsparzellen der Variante Mulcher im Herbst 2021 nicht mehr gemulcht werden (vgl. Kapitel 6.1.1.3.4).

Tabelle 29: Boniturergebnis zum Habitus der Maisstoppeln vor dem Mulchen der Versuchspartzen am Standort Wöbs

Fahrspur	Block	Boniturstufe [%]			Mittlere Boniturnote
		1	2	3	
außerhalb	A	85.0	15.0	0.0	1.2
	B	90.0	10.0	0.0	1.1
	C	80.0	20.0	0.0	1.2
	D	100.0	0.0	0.0	1.0
	E	100.0	0.0	0.0	1.0
	F	80.0	20.0	0.0	1.2
	Mittelwert	89.2	10.8	0.0	1.1
innerhalb	A	0.0	5.0	95.0	3.0
	B	5.0	10.0	85.0	2.8
	C	0.0	10.0	90.0	2.9
	D	0.0	5.0	95.0	3.0
	E	0.0	15.0	85.0	2.9
	F	0.0	20.0	80.0	2.8
	Mittelwert	0.8	10.8	88.3	2.9

In Tabelle 30 sind die Boniturergebnisse des Zerstörungsgrades der Maisstoppeln außerhalb der Fahrspuren des Mähreschers wiedergegeben. Der HS3 lieferte sehr heterogene Ergebnisse. Besonders die Wiederholung C weicht von den übrigen Partzen ab und wurde nicht in die Berechnungen der Mittelwerte einbezogen. In den übrigen Wiederholungen schwankte der Anteil vollständig zerstörter Maisstoppeln zwischen 60 % und 95 %. Im Durchschnitt waren 73% der Maisstoppeln der Boniturstufe 1 zuzuordnen.

Tabelle 30: Zerstörungsgrad der Maisstoppeln ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Wöbs 2021, relative Häufigkeiten je Boniturstufe

Variante	Block	Boniturstufe [%]					Mittlere Boniturnote
		1	2	3	4	5	
HS3	A	95.0	0.0	0.0	0.0	5.0	1.2
	B	60.0	20.0	0.0	0.0	20.0	2.0
	C*	20.0	5.0	20.0	25.0	30.0	3.4
	D	70.0	10.0	5.0	0.0	15.0	1.8
	E	80.0	0.0	5.0	5.0	10.0	1.7
	F	60.0	25.0	0.0	10.0	5.0	1.8
	Mittelwert	73.0	11.0	2.0	3.0	11.0	1.7
HS2	A	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	B	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	C	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	D	5.0	0.0	0.0	0.0	95.0	4.8
	E	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	F	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	5.0
	Mittelwert	0.8	0.0	0.0	0.0	99.2	5.0

*) als Ausreißer nicht berücksichtigt

Nur durchschnittlich 11% der Maisstoppeln hinterließ der HS3 mit einem intakten Internodium. Der HS2 ohne Stoppelzerkleinerung hinterließ mit durchschnittlich 99,2% fast alle Maisstoppeln intakt.

In Tabelle 31 sind die Gesamthöhen der Reststoppeln sowie die Höhen der massiven Stoppelsegmente außerhalb der Fahrspuren des Mähreschers dargestellt. In der Variante HS3 zeigte sich deutlich der Effekt der Schnitthöhe auf die Arbeitsqualität des neuen Erntevorsatzes. In den Wiederholungen B, C und F, in denen eine geringere Arbeitsqualität festzustellen war, zeigten sich die höchsten Reststoppeln und speziell in C und F auch die höchsten massiven Stoppelsegmente. Bereits 2 cm bis 3 cm Differenz in der Schnitthöhe scheinen einen entscheidenden Effekt auf die Arbeitsqualität gehabt zu haben. Dies unterstreicht nochmals die Schlüsselfunktion des Höhenführungssystems.

Tabelle 31: Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe der massiven Stoppelsegmente in Bereichen ohne Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Wöbs 2021

Variante	Block	Gesamthöhe [cm]		Höhe massives Stoppelsegment [cm]	
		Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
HS3	A	4.5	2.0	2.9	1.4
	B	6.8	1.8	3.6	2.9
	C*	8.8	1.7	7.5	1.9
	D	5.2	1.5	3.4	1.4
	E	5.2	2.8	3.7	2.3
	F	7.6	1.5	5.0	2.3
	Mittelwert	5.8	1.9	3.7	2.1
HS2	A	20.5	1.4	20.5	1.4
	B	22.8	2.1	22.0	2.2
	C	22.9	3.4	22.4	3.3
	D	20.2	2.3	18.5	3.4
	E	20.1	1.8	20.1	1.8
	F	21.5	1.7	21.1	1.4
	Mittelwert	21.3	2.1	20.7	2.3

*) als Ausreißer nicht berücksichtigt

Der HS2 hinterließ die Maisstoppeln ohne wesentliche Auffaserung mit einer Höhe von durchschnittlich 21,3 cm.

In Tabelle 32 sind die Boniturergebnisse des Zerstörungsgrades der Maisstoppeln innerhalb der Fahrspuren des Mähreschers wiedergegeben. Auch an diesem Versuchsstandort ist der positive Effekt des Überfahrens der zuvor durch die Hybridmesser des HS3 bearbeiteten Stoppeln auf die Qualität der Stoppelzerstörung ersichtlich. Im Fahrspurbereich waren durchschnittlich 94% aller Maisstoppeln bis zum Wurzelansatz

aufgefaserter. Durchschnittlich nur 4% der Maisstoppeln im Fahrspurbereich blieben mit einem intakten Segment zurück.

Tabelle 32: Zerstörungsgrad der Maisstoppeln mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Wöbs 2021, relative Häufigkeiten je Boniturstufe

Variante	Block	Boniturstufe [%]					Mittlere Boniturnote
		1	2	3	4	5	
HS3	A	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
	B	95.0	0.0	0.0	0.0	5.0	1.2
	C	85.0	0.0	0.0	0.0	15.0	1.6
	D	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
	E	80.0	0.0	5.0	0.0	15.0	1.7
	F	95.0	0.0	0.0	5.0	0.0	1.2
	Mittelwert	94.0	0.0	1.0	1.0	4.0	1.2
HS2	A	35.0	0.0	10.0	0.0	55.0	3.4
	B	10.0	15.0	25.0	0.0	50.0	3.7
	C	20.0	0.0	15.0	0.0	65.0	3.9
	D	30.0	0.0	0.0	10.0	60.0	3.7
	E	10.0	0.0	0.0	15.0	75.0	4.5
	F	40.0	0.0	15.0	20.0	25.0	2.9
	Mittelwert	24.2	2.5	10.8	7.5	55.0	3.7

Auch in der Variante HS2 zeigte sich am Versuchsstandort Wöbs ein vergleichsweise stark ausgeprägter Effekt durch das Überfahren der Maisstoppeln. Durchschnittlich 24,2% der Maisstoppeln wurden vollständig zerfasert, 55% blieben intakt.

Tabelle 33: Gesamthöhe der Reststoppeln und Höhe der massiven Stoppelsegmente in Bereichen mit Fahrspureinfluss am Versuchsstandort Wöbs 2021

Variante	Block	Gesamthöhe [cm]		Höhe massives Stoppelsegment [cm]	
		Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
HS3	A	2.8	2.4	1.3	1.2
	B	5.7	2.3	1.9	1.0
	C	5.1	2.9	2.3	2.3
	D	5.0	1.7	2.0	0.8
	E	4.5	2.8	3.2	2.2
	F	6.6	1.9	2.2	1.2
	Mittelwert	4.9	2.2	2.1	1.3
HS2	A	20.6	1.4	11.9	8.1
	B	22.9	3.8	13.5	7.1
	C	23.1	3.1	15.2	8.6
	D	16.1	7.0	10.1	6.7
	E	20.5	2.2	14.2	6.7
	F	23.0	0.9	9.3	9.3
	Mittelwert	21.0	3.1	12.3	7.8

Dies spiegelt sich auch in der auf durchschnittlich 12,3 cm deutlich reduzierten Höhe der massiven Stoppelsegmente wieder (siehe Tabelle 33). Auch in der Variante HS3 war der massive Anteil im Fahrspurbereich nochmals kürzer.

Abbildung 63 gibt die Ergebnisse der Messungen der Bodenunebenheiten im Bereich der Saatzeilen bzw. der Fahrspuren, erhoben während der Stoppelbonitur im Anschluss an die Ernte, wieder. Im Vergleich der Bereiche mit und ohne Fahrspuren ergab sich eine Differenz von ca. 2 cm bis 3 cm. Die Bandlaufwerke und Hinterräder des Mähreschers hinterließen somit keine tiefen Spuren. Im Vergleich zur Vorerntebonitur, wurden die Mulden im Bereich der Saatzeile um ca. 1 cm bis 1,5 cm flacher gemessen. Möglicherweise ist diese Differenz, auf das zur Seite räumen der Erntereste zurück zu führen (bei der Messung nach der Ernte). Zudem lag zwischen den Boniturterminen ein Abstand von ca. 9 Wochen.

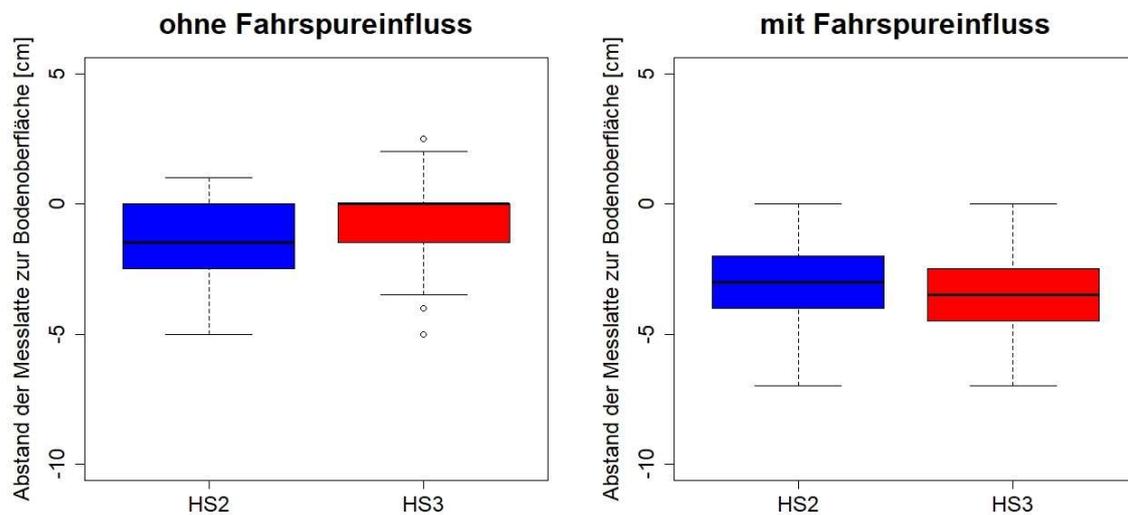


Abbildung 63: Beschaffenheit der Bodenoberfläche/ Spurtiefe am Versuchsstandort Wöbs 2021

Der Boxplot in Abbildung 64 stellt die nach Flächenanteilen gewichteten durchschnittlichen Boniturnoten der Stoppelzerstörung der Versuchsvarianten HS3 und HS2 dar. Die Gewichtung basiert auf der Minimalannahme eines Fahrspuranteils von 25%. Ohne Berücksichtigung des Ausreißers in Block C, erreichte der HS3 eine passable durchschnittliche Boniturnote von 1,6. Die mittlere Boniturnote des HS2 betrug 4,6.

Speziell in einer Situation wie am Versuchsstandort Wöbs, in der witterungsbedingt keine Stoppelbearbeitung mittels Mulcher erfolgen kann, hat die Kombination der Ernte und Stoppelzerkleinerung im System HS3 einen entsprechenden Vorteil. Die Stoppeln bleiben nicht über den Winter intakt und die Rotte kann einsetzen.

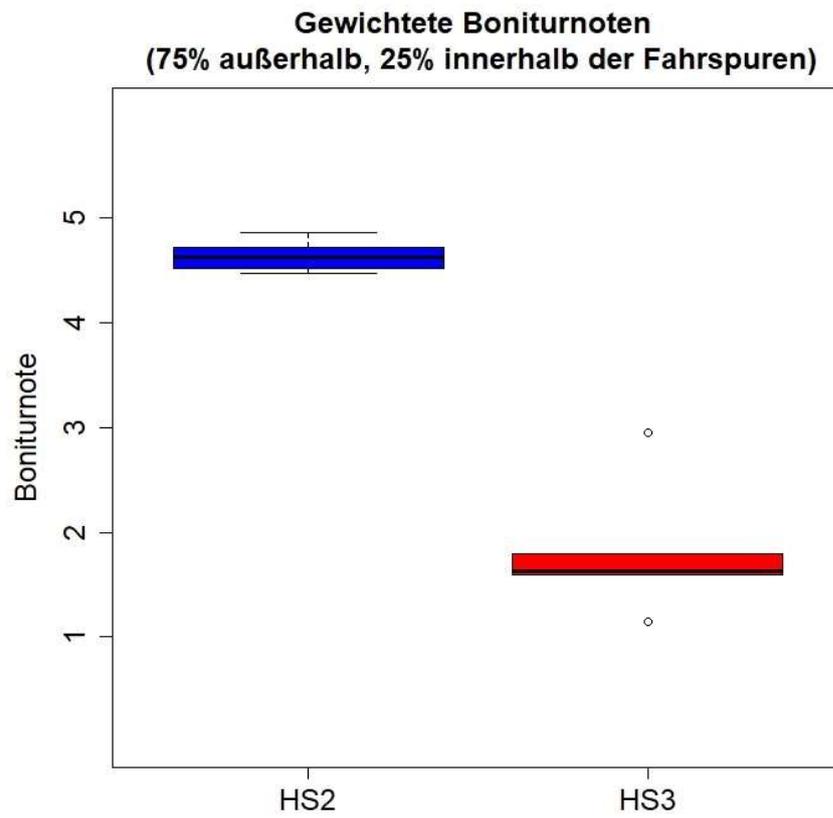


Abbildung 64: Nach Fahrspuranteil gewichtete Boniturnoten am Standort Wöbs 2021

6.1.2.2 Ergebnisse zur Bewertung der Aufbereitungsqualität des Maisstrohs

Über die Projektlaufzeit wurden insgesamt 345 Proben des Maisstrohs von sechs Versuchsstandorten aus drei Jahren gesiebt und hinsichtlich ihrer Struktur bewertet. In den folgenden Kapiteln wird zunächst auf die Einzelergebnisse der Standorte eingegangen, gefolgt von einer standortübergreifenden Betrachtung. Dabei ist zu beachten, dass die Ergebnisse der Mulcher-Varianten aufgrund unterschiedlicher Mulchgeräte an den Versuchsstandorten nicht unmittelbar miteinander zu vergleichen sind (vgl. Kapitel 6.1.1.3).

6.1.2.2.1 Steinheim und Zeutern 2018

In Abbildung 65 sind die Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände der Versuchsvarianten am Standort Zeutern dargestellt. In Kapitel 5 wurde die Funktionsweise der Maispflücker HS2 und HS3 beschrieben. Die Zerkleinerung des Maisstrohs erfolgt primär durch das 3-Walzen-Pflückssystem, bevor es in den Einwirkungsbereich der Horizontalhäcksler gelangt. Eine Differenzierung in der Zerkleinerungswirkung des HS3 gegenüber dem HS2 ist somit auf die Hybridmesser des HS3 mit einer stumpfen Abkantung am Ende des Messers und einen möglichen Effekt der geringeren Schnitthöhe zurückzuführen. Der Effekt des Mulchens im Nachernteverfahren ergibt sich aus der Differenz der Verteilungssummenkurven der Versuchsvarianten HS2 und HS2+M.

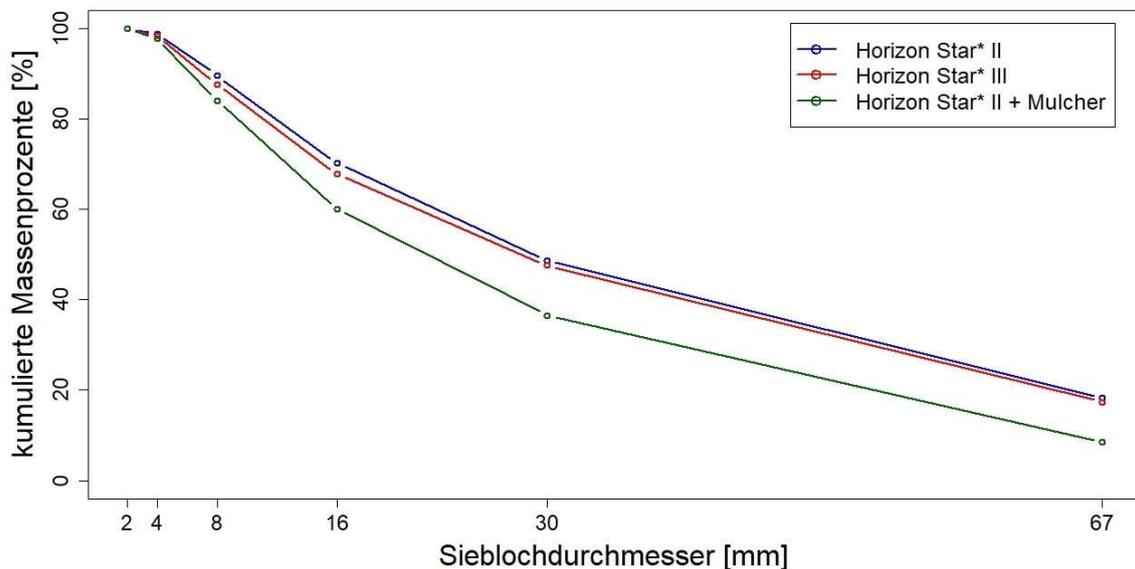


Abbildung 65: Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände, Zeutern 2018

Die Maispflücker HS2 und HS3 zeigten im Mittel jedoch kaum eine Differenz. Durchschnittlich 47,64% des Maisstrohs blieben in der Variante HS3 als Siebrückstand der groben Siebfraktionen >30 mm zurück. Mit 48,61% in der Variante HS2 lagen die Pflücker gleichauf. Der Effekt des Mulchens im Nachernteverfahren ist klar erkenntlich, die

Verteilungssummenkurve der Variante HS2+M setzt sich deutlich ab. Das Mulchen wirkte besonders auf das grobe Pflanzenmaterial >30 mm. Dies zeigt sich in einem deutlich geringeren Anteil groben Materials in Höhe von 36,59%. Die Proben der Mulcher-Variante enthielten weniger als halb so viel Pflanzenmaterial >67 mm wie die Proben der Varianten HS2 und HS3.

Am Versuchsstandort Steinheim (Abbildung 66) ergab sich hingegen eine stärkere Differenzierung zwischen HS2 und HS3. Mit durchschnittlich 44,78% in der Variante HS3 und 52,86% in der Variante HS2 beläuft sich die Differenz auf ca. 8%, die sich gleichmäßig auf die Siebfraktionen >67 mm und >30 mm aufteilte. Die Siebergebnisse des HS3 rangieren zwischen denen des HS2 und denen der Mulcher-Variante, die sich wiederum absetzen konnte. Auch am Standort Steinheim war der Anteil groben Materials >30 mm mit ca. 32,72% nach dem Mulchen deutlich geringer als in der Variante HS2. Vor allem in der Siebfraktion >67 mm zeigten sich mit einem Gewichtsanteil von durchschnittlich 6,76% in der Mulcher-Variante gegenüber 12,41% in der Variante HS3 und 16,64% in der Variante HS2 erneut erhebliche Unterschiede.

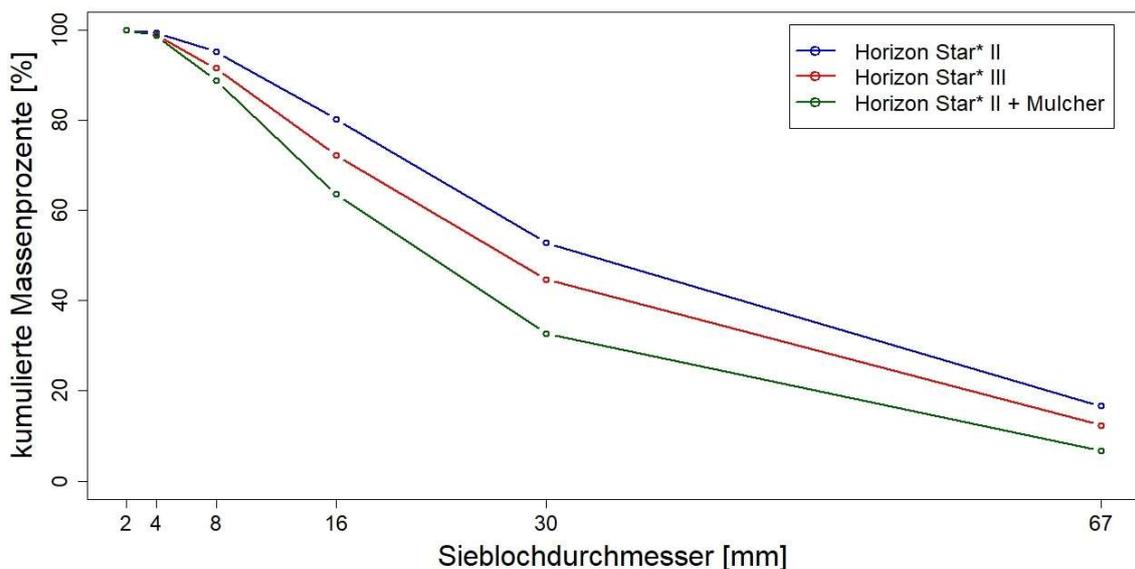


Abbildung 66: Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände, Steinheim 2018

Einen tabellarischen Überblick zu den mittleren relativen Siebrückständen gibt Anhang 1.

Neben der Zerkleinerungsintensität ist die Struktur des Pflanzenmaterials entscheidend für eine zügige Rotte sowie die präventive Bekämpfung des Maiszünslers. Das grobe Pflanzenmaterial >30 mm kann Stängelsegmente beinhalten, die sich für die Überwinterung der Larven eignen. Diese Stängelsegmente (Durchmesser >5 mm) hatten jedoch einen vergleichsweise geringen Anteil am Gesamtgewicht der Maisstrohproben (siehe Abbildung 67).

Der höchste Gewichtsanteil fand sich in den Proben der Variante HS2 mit durchschnittlich 10,60% am Standort Steinheim und 6,57% am Standort Zeutern. Mit 8,87% und 5,62% lag der Gewichtsanteil unvollständig zerstörter Stängelsegmente in der Variante HS3 etwas niedriger. Auch in dieser Betrachtung setzten sich die Mulcher-Varianten durch die niedrigsten Gewichtsanteile von 4,32% (Steinheim) bzw. 3,04% (Zeutern) bei gleichzeitig geringerer Streuung ab.

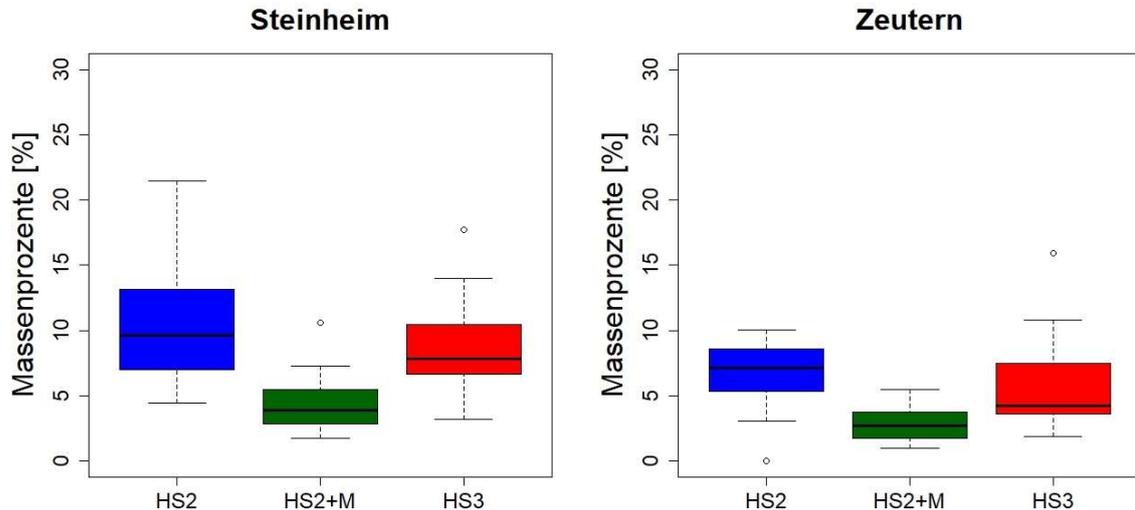


Abbildung 67: Anteil der unvollständig zerstörten Stängelsegmente innerhalb des Pflanzenmaterials >30 mm am Gesamtgewicht der Proben nach Varianten an den Standorten Steinheim und Zeutern

Trotz des geringen Gewichtanteils beinhalten diese Siebfraktionen eine relevante Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente (siehe Tabelle 34). Ein deutlicher Unterschied zeigt sich im Vergleich der Versuchsstandorte. Über alle Varianten war die Anzahl der unvollständig zerstörten Stängelsegmente am Standort Zeutern zwischen 30% und 45% niedriger als am Versuchsstandort Steinheim. Dies geht mit dem geringen Anteil von Pflanzenmaterial >30 mm an diesem Standort einher (vgl. Abbildung 67).

Der niedrigste Flächenbesatz zeigte sich in der Variante HS2+M am Standort Zeutern und belief sich auf 8,78 unvollständig zerstörte Stängelsegmente je Probe. Diese Anzahl erscheint zunächst gering, entspricht aber 117.066 unvollständig zerstörte Stängelsegmente je Hektar. Der höchste mittlere Besatz wurde in der Variante HS3 am Standort Steinheim mit durchschnittlich ca. 22,67 St./Probe bzw. 302.266 St./ha. festgestellt. Dabei unterliegen die Ergebnisse einer starken Streuung.

Das Mulchen im Nachernteverfahren reduzierte die Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente an beiden Versuchsstandorten gegenüber den Pflücker-Varianten ohne Nachbearbeitung der Erntereste. Am Versuchsstandort Zeutern zeigten sich beim neu entwickelten Erntevorsatz HS3 etwas geringere Anzahlen unvollständig zerstörter

Stängelsegmente als beim Vorgängermodell HS2. Am Versuchsstandort Steinheim war hingegen keine Differenzierung zugunsten des HS3 ersichtlich.

Tabelle 34: Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser und Variante an den Versuchsstandorten Steinheim und Zeutern

Standort	Variante	Stängelsegmente je Probe*			
		Stängeldurchmesser >10 mm		Stängeldurchmesser >5-10 mm	
		Mittelwert ±SD	Median	Mittelwert ±SD	Median
Steinheim	HS2	20.06 ±6.51	21	1.72 ±1.56	1.0
	HS2+M	13.11 ±5.00	12	0.94 ±1.83	0
	HS3	19.44 ±6.87	20	3.22 ±2.67	2.5
Zeutern	HS2	11.22 ±5.52	12.5	4.00 ±3.45	3
	HS2+M	7.00 ±4.52	5.5	1.78 ±1.96	1.5
	HS3	9.72 ±6.03	8.5	2.78 ±2.16	2.5

*) Eine Probe umfasst das Maisstroh von 0.75 m²

Die in Tabelle 5 dargestellten Ergebnisse umfassen alle nicht völlig zerstörten und aufgefaseren Stängelsegmente mit einer Länge >3 cm und einem Durchmesser >5 mm. Hinsichtlich ihres Zustandes bzw. Zerstörungsgrades können sie sich jedoch über einen weiten Bereich - vom intakten Internodium bis zum weitgehend zerstörten Segment - voneinander unterscheiden. Dies kann Effekte auf die Rottegeschwindigkeit und die Eignung als Winterquartier für die Larven des Maiszünslers haben. Vor diesem Hintergrund erfolgte die Eingruppierung der Stängelsegmente entsprechend der Boniturstufen des Zerstörungsgrades und des Stängeldurchmessers (siehe Kapitel 6.1.1.2.2). Aufgrund des geringen Platzangebots ist bei Stängelsegmenten mit Durchmessern <10 mm von einer verringerten Eignung als Winterquartier für die Larven des Maiszünslers auszugehen (vgl. Kapitel 3.1). Alle Stängelsegmente mit der Boniturstufe 3 und niedriger weisen erhebliche Beschädigungen der Stängelwand auf und stellen daher ebenfalls ein eher geringes Risiko dar. Von besonderer Relevanz sind Stängelsegmente mit einem intakten Internodium entsprechend der Boniturstufe 5.

Abbildung 68 gibt einen Überblick zum Zustand der unvollständig zerstörten Stängelsegmente innerhalb der Proben des Versuchsstandortes Steinheim. In Folge der ohnehin geringen Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Probe (vgl. Tabelle 5) sorgt die weitere Klassierung in vier Boniturstufen für sehr geringe Anzahlen je Klasse und lässt keine eindeutigen Trends für einzelne Varianten sicher erkennen. Dennoch bleibt festzuhalten, dass sowohl in der Variante HS2+M als auch in der Variante HS3 jeweils nur in einer aus 18 Proben ein Stängelsegment der Boniturstufe 5 enthalten war. In der Variante HS2 war eine etwas größere Anzahl dieser Segmente feststellbar. In 6 aus 18 Proben wurden insgesamt 13 intakte Stängelsegmente beobachtet. Der Median lag dennoch in allen Varianten bei 0 St./Probe.

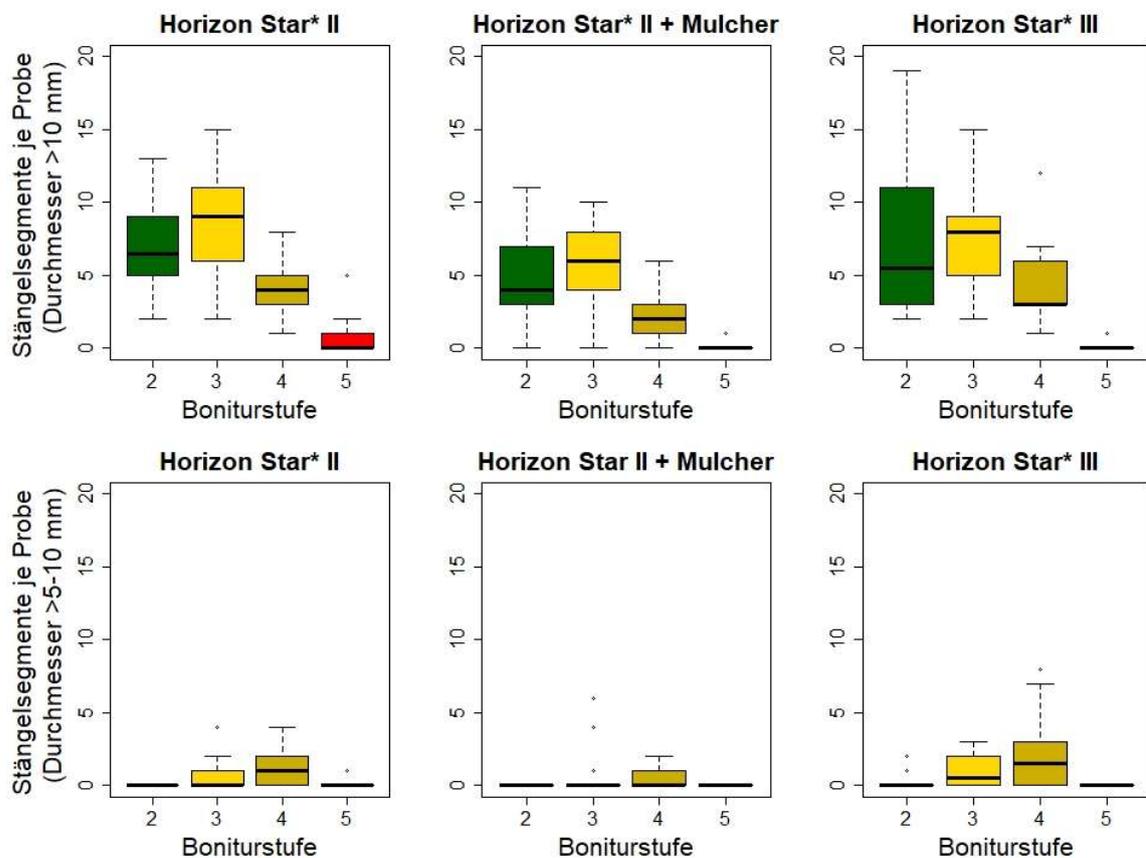


Abbildung 68: Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser, Variante und Boniturstufe am Versuchsstandort Steinheim

Stängelsegmente der Boniturstufe 4 weisen eine weitgehend intakte Stängelwand auf und kamen in den Varianten HS2 mit durchschnittlich 4,8 St./Probe (Median 5,0 St./Probe) und in der Variante HS3 mit durchschnittlich 6,4 St./Probe (Median 6,5 St./Probe) in größerer Anzahl vor als nach dem Einsatz des Schlegelmulchers mit durchschnittlich 2,7 St./Probe (Median 3,0 St./Probe).

Insgesamt führte das Mulchen nach der Ernte durch die Reduktion der Anzahl der Stängelsegmente der Boniturstufen 2 bis 4 nochmals zu einer Verbesserung der Struktur des Pflanzenmaterials, wobei die als besonders kritisch zu betrachtenden intakten Stängelsegmente der Boniturstufe 5 sowohl durch den Mulcher als auch durch den HS3 in ihrer Anzahl sicher kontrolliert wurden.

In Abbildung 69 sind die Ergebnisse der Strukturbonitur des Versuchsstandortes Zeutern dargestellt.

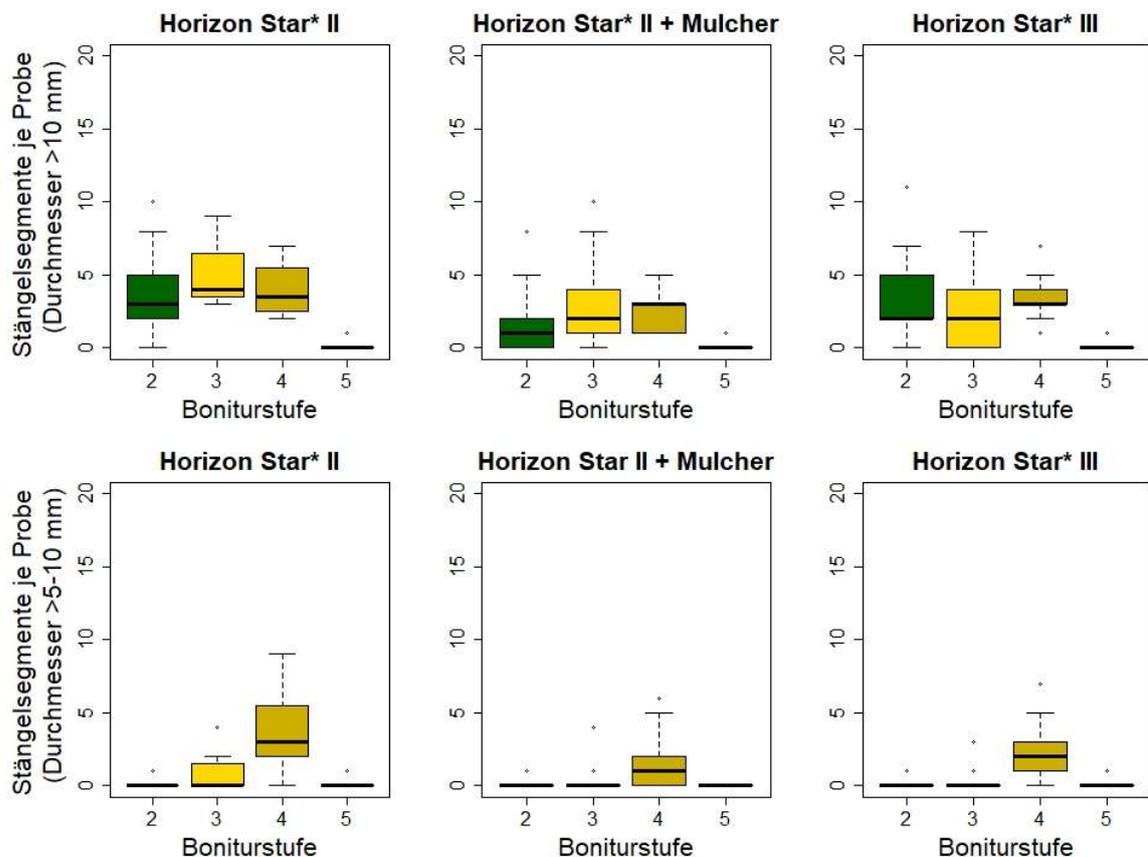


Abbildung 69: Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser, Variante und Boniturstufe am Versuchsstandort Zeutern

Auch an diesen Standort war in allen Varianten nur eine sehr geringe Anzahl intakter Stängelsegmente feststellbar. Von den jeweils 18 untersuchten Proben enthielten drei Proben der Variante HS3, zwei Proben der Variante HS2 und eine Probe der Mulcher-Variante je ein Stängelsegment der Boniturstufe 5 mit einem Durchmesser >10 mm. In der Variante HS3 kommen zwei weitere und in der Variante HS2 ein weiteres intaktes Stängelsegmente mit einem Durchmesser von <10 mm hinzu. Der Median betrug in allen Varianten 0 St./Probe. Stängelsegmente der Boniturstufe 4 kamen in den Varianten HS2 mit durchschnittlich 6,8 St./Probe und in der Variante HS3 mit durchschnittlich 5,7 St./Probe

wiederum in größerer Anzahl vor, als nach dem Einsatz des Schlegelmulchers mit durchschnittlich 3,8 St./Probe, wobei mehr als ein Drittel dieser Stängelsegmente einen Durchmesser <10 mm aufwiesen.

6.1.2.2.2 Bückeberg und Stettfeld 2019

In Abbildung 70 sind die Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände der Versuchsvarianten am nördlichen Versuchsstandort Bückeberg dargestellt. Wie bereits im Vorjahr am Standort Steinheim beobachtet, konnte der neue Maispflücker HS3 das Maisstroh etwas intensiver zerkleinern als das Vorgängermodell HS2. Die Siebrückstände des 67 mm Siebdecks hatten im Mittel der Variante HS3 im Vergleich zum HS2 einen um ca. 6,3% geringeren Anteil am Gesamtgewicht der Proben. Der Anteil der Siebrückstände des 30 mm Siebs lag in der Variante HS3 im Mittel 1,4% unter denen der Variante HS2.

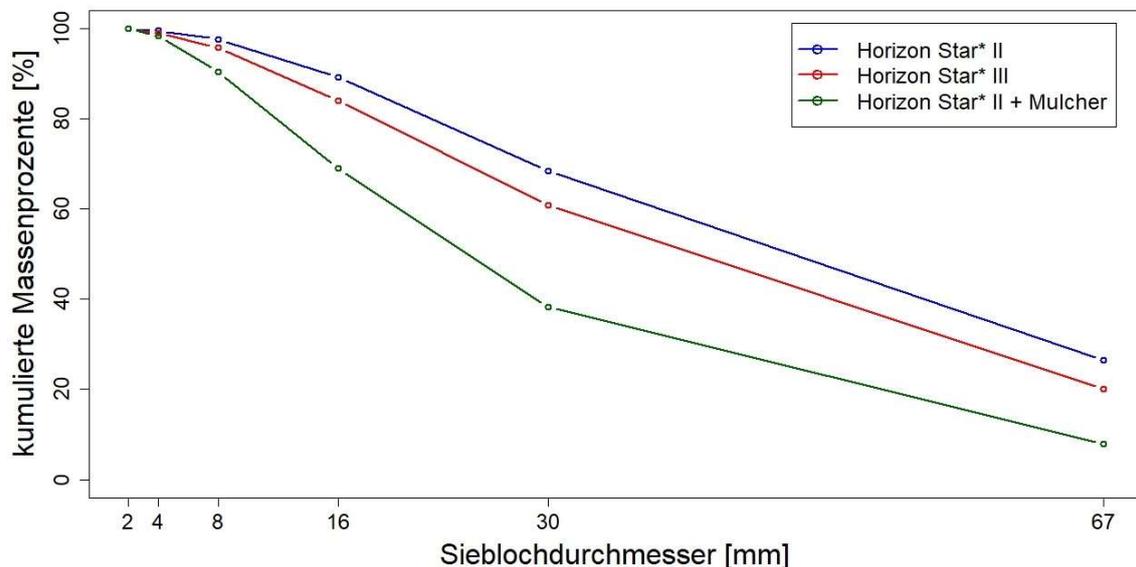


Abbildung 70: Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände, Bückeberg 2019

Das Mulchen im Nachernteverfahren konnte den Anteil groben Materials nochmals deutlich zugunsten der feineren Siebfraktionen <30 mm reduzieren. Mit durchschnittlich 38,34% Pflanzenmaterial >30 mm zeigte sich ein erheblicher Unterschied zu den Pflücker-Varianten mit 60,90% (HS3) bzw. 68,54% (HS2). Nur 7,76% des Maisstrohs hinterließ der Mulcher >67 mm. Dem gegenüber betrug dieser Anteil in den Pflücker-Varianten 26,35% beim HS2 und 20,08% beim HS3.

Die Ergebnisse der Siebanalysen vom südlichen Versuchsstandort Stettfeld sind in Abbildung 71 wiedergegeben. An diesem Standort zeigte sich nur eine kleine Differenz zwischen den Maispflückern HS2 und HS3. Der Anteil Maisstrohs >30 mm belief sich in der Variante HS2 im Durchschnitt auf 55,37% und in der Variante HS3 auf 58,39%. Der Mulcher konnte sich demgegenüber mit 32,47% deutlich absetzen. Besonders große Unterschiede

zeigten sich abermals beim Pflanzenmaterial >67 mm, dessen Anteil in der Mulcher-Variante bei lediglich 4,24% lag. Mit 14,03% in der Variante HS3 und 15,08% in der Variante HS2 lag der Gewichtsanteil in den Pflücker-Varianten um mehr als das Dreifache höher. Einen tabellarischen Überblick zu den mittleren Siebrückständen gibt Anhang 2.

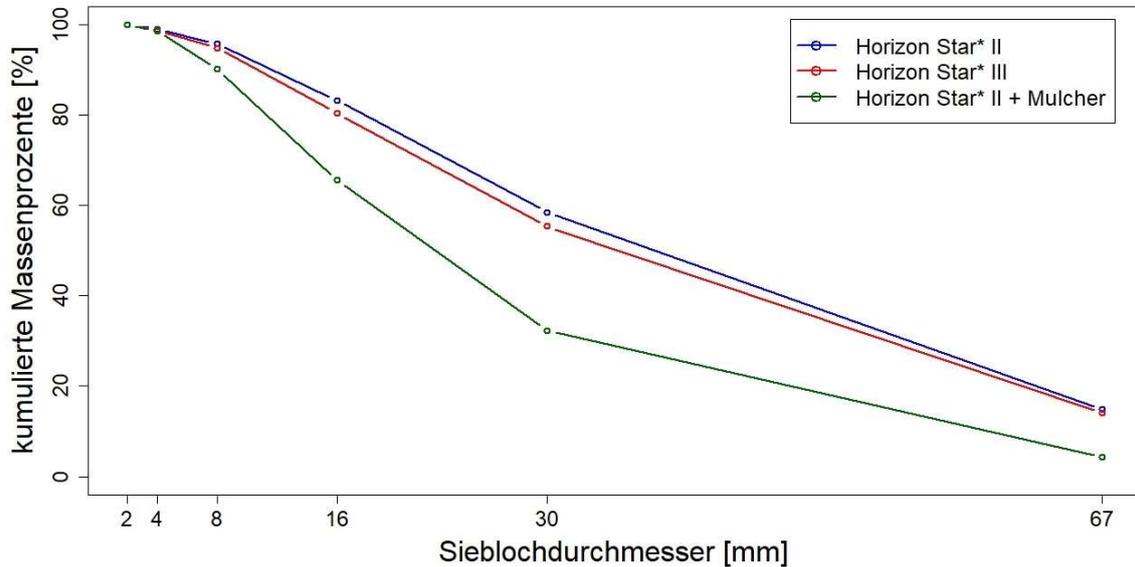


Abbildung 71: Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände, Stettfeld 2019

Die relativen Gewichtsanteile der unvollständig zerstörten Stängelsegmente mit Durchmessern >5 mm am Gesamtgewicht der Proben sind nach Versuchsstandort und Variante in Abbildung 72 dargestellt.

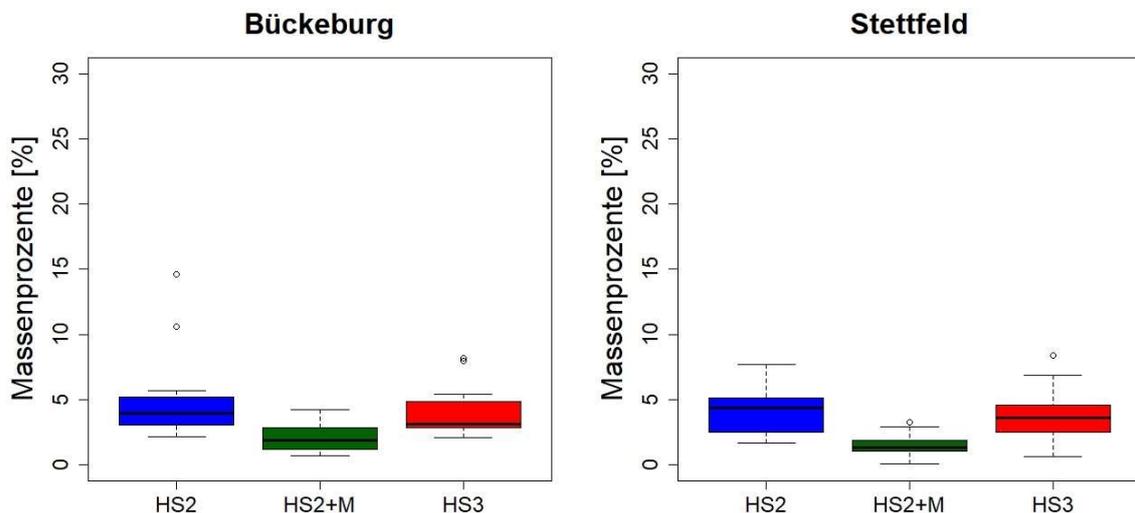


Abbildung 72: Anteil der unvollständig zerstörten Stängelsegmente innerhalb des Pflanzenmaterials >30 mm am Gesamtgewicht der Proben nach Varianten an den Standorten Bückeberg und Stettfeld

An beiden Versuchsstandorten und über alle Varianten lag der Gewichtsanteil unter 5%. In den Mulcher-Varianten belief sich der Anteil auf durchschnittlich nur 2,00% (Bückeberg) bzw. 1,55% (Stettfeld). Mit durchschnittlich 3,84% (Bückeberg) bzw. 3,85% (Stettfeld) in der

Variante HS3 und 4,69% (Bückeberg) bzw. 4,14% (Stettfeld) in der Variante HS2, lag der Gewichtsanteil unvollständig zerstörter Stängelsegmente in den Pflücker-Varianten erheblich höher. Auch in dieser Betrachtung konnte sich der neue Pflücker HS3 vom Vorgängermodell leicht absetzen.

Tabelle 35 gibt die Anzahl der unvollständig zerstörten Stängelsegmente nach Durchmesser und Versuchsvariante für die Standorte Bückeberg und Stettfeld wieder.

Tabelle 35: Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser und Variante an den Versuchsstandorten Bückeberg und Stettfeld

Standort	Variante	Stängelsegmente je Probe*			
		Stängeldurchmesser >10 mm		Stängeldurchmesser >5-10 mm	
		Mittelwert ±SD	Median	Mittelwert ±SD	Median
Bückeberg	HS2	12.00 ±5.95	10.0	8.11 ±3.71	7.5
	HS2+M	5.56 ±3.14	5.5	7.61 ±3.82	7.0
	HS3	10.44 ±4.58	9.5	7.61 ±4.10	7.0
Stettfeld	HS2	6.33 ±3.20	6.0	4.44 ±2.43	5.0
	HS2+M	2.56 ±1.69	2.0	3.00 ±1.78	3.0
	HS3	5.11 ±2.74	5.0	4.67 ±3.34	4.0

*) Eine Probe umfasst das Maisstroh von 0.75 m²

Unterschiede zeigen sich abermals im Vergleich der Standorte. Am nördlichen Versuchsstandort Bückeberg lag der Flächenbesatz deutlich höher als am südlichen Versuchsstandort Stettfeld. Dies betrifft beide Gruppen von Stängeldurchmessern.

Die Ergebnisse der Varianten HS2 und HS3 lagen an beiden Versuchsstandorten eng beieinander. Durch das Mulchen konnte vor allem die Anzahl der unvollständig zerstörten Stängelsegmente mit Durchmessern >10 mm reduziert werden. In der Gruppe der Stängeldurchmesser >5-10 mm zeigten sich am Standort Bückeberg keine relevanten Unterschiede zwischen den Varianten.

In Abbildung 73 sind die Boniturergebnisse des Versuchsstandortes Bückeberg differenziert nach Variante, Stängeldurchmesser und Boniturstufe dargestellt.

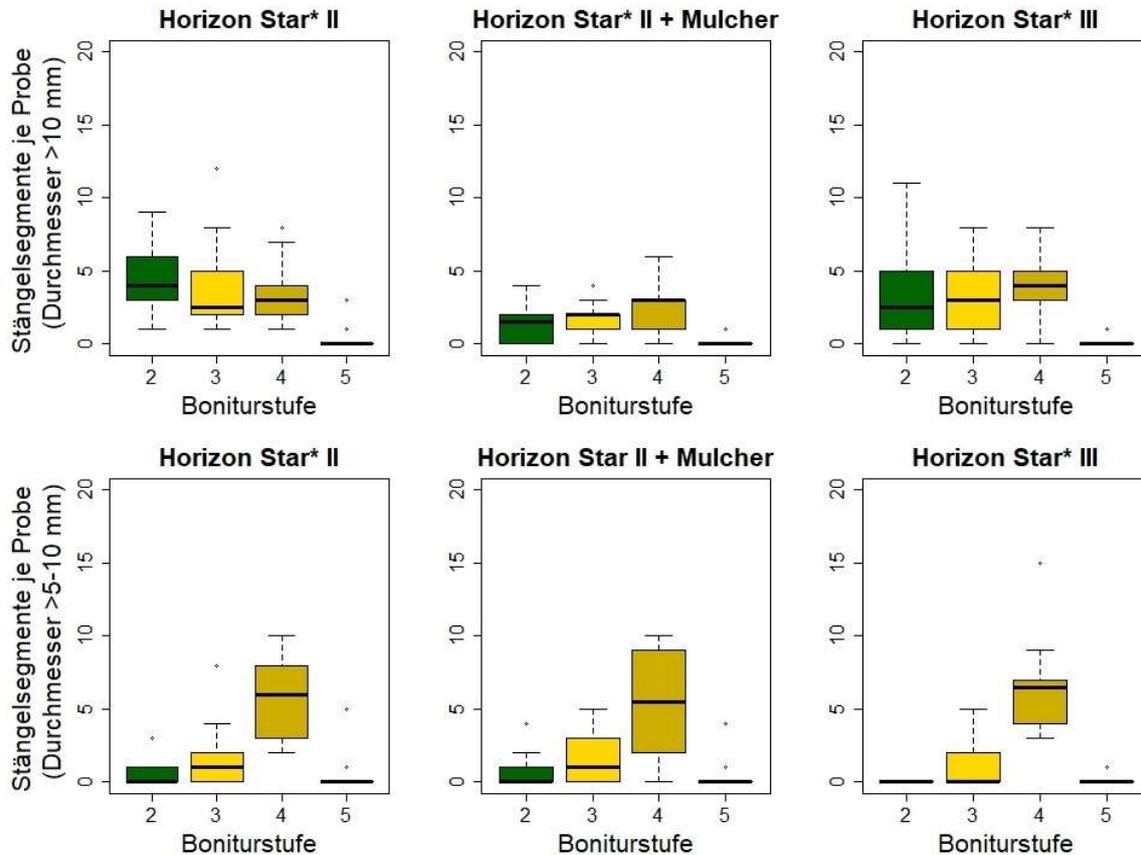


Abbildung 73: Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser, Variante und Boniturstufe am Versuchsstandort Bückeberg

Sowohl in der Variante HS3 als auch in der Mulcher-Variante wurde lediglich in je einer aus 18 Proben ein intaktes Stängelsegment der Boniturstufe 5 mit einem Durchmesser >10 mm festgestellt. Im Falle des Standarderntevorsatzes HS2 wurden in vier von 18 Proben insgesamt fünf intakte Stängelsegmente mit einem Durchmesser >10 mm gefunden. Dabei entfielen drei dieser Segmente auf eine einzelne Probe. Entsprechend sind diese Proben im Boxplot als Ausreißer markiert und der Median betrug in alle Varianten 0 St./Probe. Auch in der Gruppe der kleineren Stängeldurchmesser traten nur wenige Proben mit intakten Stängelsegmenten als Ausreißer auf. In der Gruppe der Stängeldurchmesser >5-10 mm nahm die Boniturstufe 4 mit Abstand den größten Anteil ein und unterlag einer erheblichen Streuung. Eine relevante Differenzierung der Versuchsvarianten zeigte sich nicht. Auch bei den Stängeldurchmessern >10 mm ist keine eindeutige Differenzierung der Varianten festzustellen. Der Median der Varianten HS2 und HS2+M betrug jeweils 3 Segmenten der Boniturstufe 4 je Probe und in der Variante HS3 4 Segmenten je Probe. Die Mulcher-Variante konnte sich vor allem durch etwas geringere Anzahlen in der Boniturstufe 2 und 3 absetzen.

In Abbildung 74 sind die Boniturergebnisse des Versuchsstandortes Stettfeld differenziert nach Variante, Stängeldurchmesser und Boniturstufe dargestellt.

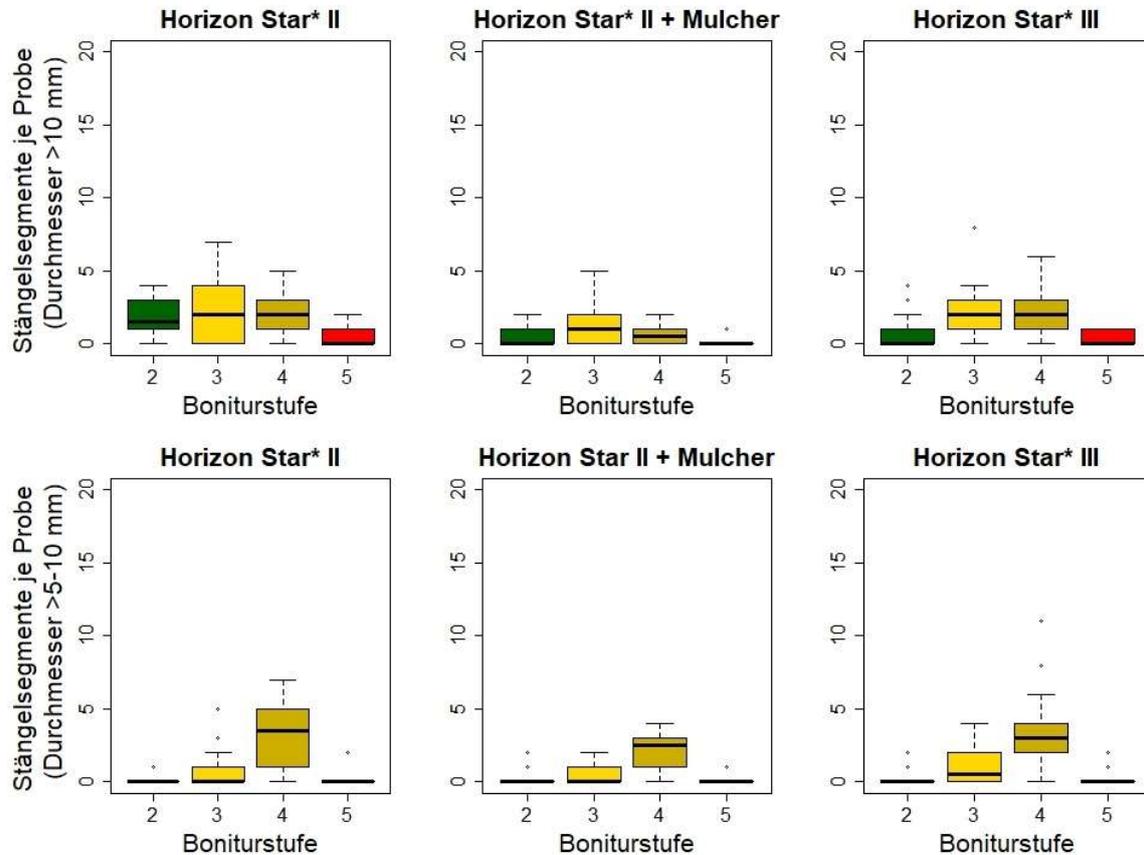


Abbildung 74: Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser, Variante und Boniturstufe am Versuchsstandort Stettfeld

Abermals lag der Median der Boniturstufe 5 in allen Varianten bei 0 St./Probe. Über die Klassen der Stängeldurchmesser hinweg befanden sich in den jeweils 18 Proben der Variante HS3 und HS2 insgesamt 9 bzw. 8 Stängelsegmente der Boniturstufe 5. In der Mulcher-Variante wurden 4 Segmente der Boniturstufe 5 gefunden. Die Proben der Mulcher-Variante enthielten über alle Boniturstufen hinweg eine etwas geringere Anzahl an Stängelsegmenten. Die Maispflücker HS2 und HS3 zeigten keine große Differenz.

6.1.2.2.3 Kraichtal und Timmaspe 2020

In Abbildung 75 sind die Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände der Versuchsvarianten am Versuchsstandort Kraichtal dargestellt. Es zeigt sich die aus den Vorjahren bekannte Rangierung der Versuchsvarianten. Der neue Maispflücker HS3 konnte das Maisstroh etwas intensiver zerkleinern als das Vorgängermodell HS2. Dies äußerte sich in einem geringeren Anteil groben Pflanzenmaterials >30 mm von 57,78% gegenüber 65,45% in der Variante HS2. Die Differenz zum Mulcher ist dennoch erheblich. Der Mulcher hinterließ 38,66% des Maisstrohs >30 mm. Besonders deutlich kam der Effekt des

Mulchens abermals anhand der Siebrückstände des 67 mm Siebdecks zum Ausdruck. Vor dem Mulchen enthielt das vom HS2 zurückgelassene Maisstroh mehr als dreimal so viel Material >67 mm als nach dem Einsatz des Mulchers. Aber auch in der Variante HS3 war der Anteil mehr als doppelt so hoch.

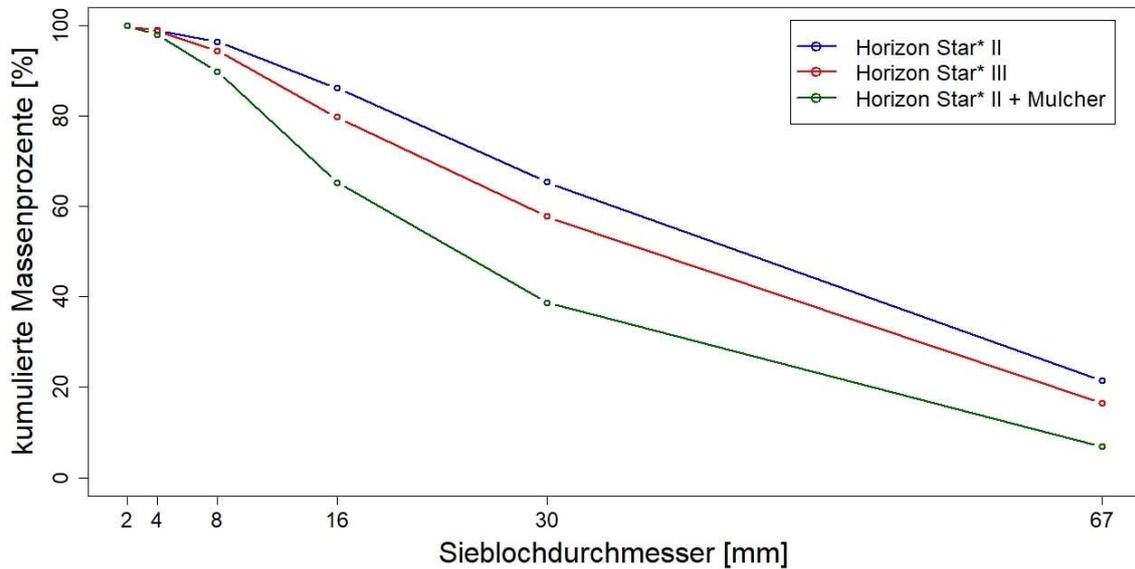


Abbildung 75: Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände, Kraichtal 2020

In Abbildung 76 sind die Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände der Versuchsvarianten vom Versuchsstandort Timmaspe dargestellt. Abermals zeigte der Erntevorsatz HS3 eine etwas intensivere Strohzerkleinerung als das Vorgängermodell HS2. Im Mittel hinterließ der HS3 61,56% des Pflanzenmaterials >30 mm. Dem gegenüber betrug der Anteil in den Proben des HS2 66,45%.

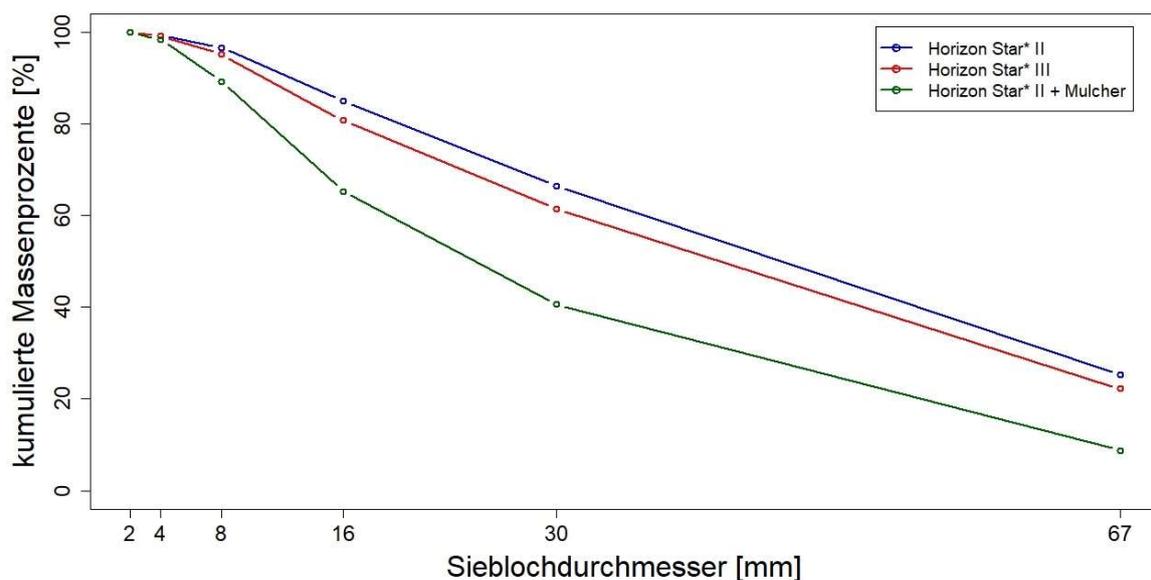


Abbildung 76: Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände, Timmaspe 2020

Der nach dem HS2 eingesetzte Schlegelmulcher konnte das Pflanzenmaterial nochmals deutlich nachzerkleinern. Nach dem Mulchen verblieben 40,69% des Pflanzenmaterials >30 mm

Einen tabellarischen Überblick zu den mittleren Siebrückständen gibt Anhang 3.

Die relativen Gewichtsanteile der unvollständig zerstörten Stängelsegmente mit Durchmessern >5 mm am Gesamtgewicht der Proben sind nach Versuchsstandort und Variante in Abbildung 77 dargestellt. An beiden Versuchsstandorten zeigte sich die bereits aus den Vorjahren bekannte Rangierung der Varianten HS3, HS2 und HS2+M.

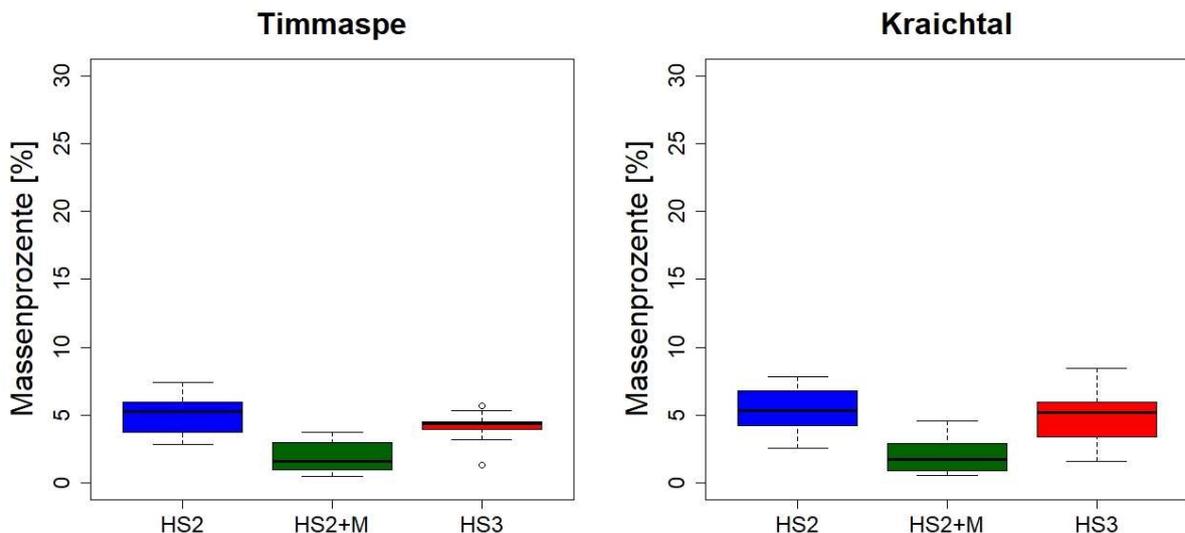


Abbildung 77: Anteil der unvollständig zerstörten Stängelsegmente innerhalb des Pflanzenmaterials >30 mm am Gesamtgewicht der Proben nach Varianten an den Standorten Timmaspe und Kraichtal

In der Variante HS2+M belief sich der Gewichtsanteil der unvollständig zerstörten Stängelsegmente auf 1,90% (Timmaspe) bzw. 2,07% (Kraichtal). Mit durchschnittlich 4,14% (Timmaspe) bzw. 4,87% (Kraichtal) in der Variante HS3 sowie 5,05% (Timmaspe) bzw. 5,54% (Kraichtal) in der Variante HS2, war der Anteil erheblich höher als nach dem Mulchen. Der HS3 zeigte abermals etwas geringere Gewichtsanteile unvollständig zerstörter Stängelsegmente als das Vorgängermodell HS2.

In Tabelle 36 sind die Anzahlen der unvollständig zerstörten Stängelsegmente nach Versuchsstandort und Variante wiedergegeben. Die Proben des HS2 enthielten am Versuchsstandort Timmaspe abermals die größte Anzahl mit durchschnittlich 23,07 St./Probe. Die Variante HS2+M konnte sich auch am Versuchsstandort Timmaspe gegenüber der anderen Varianten mit durchschnittlich 8,33 unvollständig zerstörte Stängelsegmenten je Probe deutlich absetzen.

Tabelle 36: Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser und Variante an den Versuchsstandorten Kraichtal und Timmaspe

Standort	Variante	Stängelsegmente je Probe*			
		Stängeldurchmesser >10 mm		Stängeldurchmesser >5-10 mm	
		Mittelwert ±SD	Median	Mittelwert ±SD	Median
Kraichtal	HS2	8.44 ±4.06	8.0	8.11 ±3.72	7.0
	HS2+M	3.00 ±2.38	3.0	5.83 ±2.96	6.5
	HS3	6.72 ±3.29	5.0	8.78 ±3.51	8.5
Timmaspe	HS2	15.60 ±6.32	16.0	7.47 ±4.50	7.0
	HS2+M	5.20 ±2.88	5.0	3.13 ±2.64	3.0
	HS3	10.86 ±3.91	11.0	5.07 ±2.76	5.0

*) Eine Probe umfasst das Maisstroh von 0.75 m²

Am Versuchsstandort Kraichtal lag das Niveau über alle Varianten niedriger. Die Mulcher-Variante HS2+M enthielt mit Abstand die wenigsten unvollständig zerstörten Stängelsegmente mit durchschnittlich 8,83 St./Probe, gefolgt vom HS3 mit 15,50 St./Probe und dem HS2 mit 16,55 St./Probe.

In Abbildung 78 sind die Boniturergebnisse vom Versuchsstandort Kraichtal differenziert nach Variante, Stängeldurchmesser und Boniturstufe dargestellt.

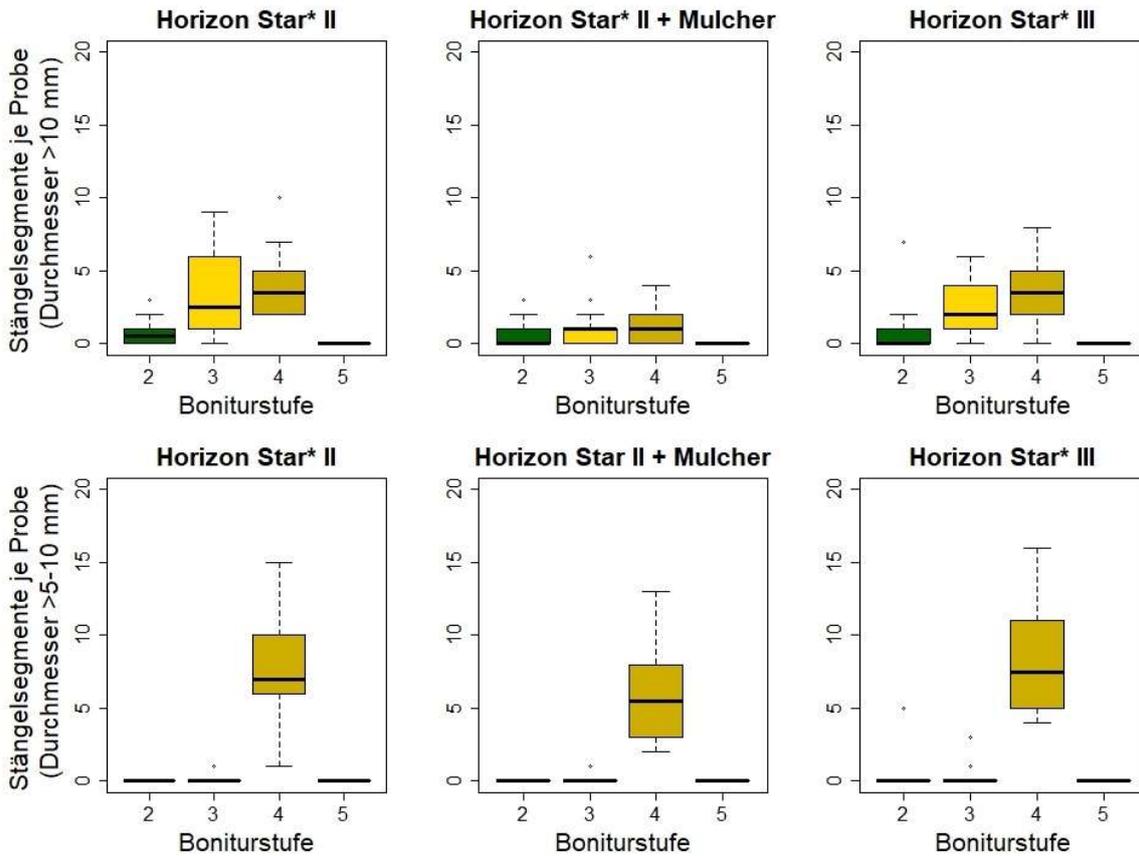


Abbildung 78: Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser, Variante und Boniturstufe am Versuchsstandort Kraichtal

Intakte Stängelsegmente entsprechend der Boniturstufe 5 traten in keiner Variante auf. Im Vergleich der Varianten hinterließ der Mulcher das Pflanzenmaterial homogener, mit geringeren Anzahlen und geringerer Streuung über alle Boniturstufen als die Pflücker-Varianten die sich wiederum nur geringfügig voneinander unterschieden.

Die Ergebnisse der Strukturbonitur vom Versuchsstandort Timmaspe sind in Abbildung 79 dargestellt. Auch an diesem Versuchsstandort trat in keiner Probe ein vollständig intaktes Internodium entsprechend der Boniturstufe 5 auf. In der Klasse der Stängeldurchmesser >5-10 mm waren ausschließlich Stängelsegmente der Boniturstufe 4 in relevantem Umfang vorhanden. In der Variante HS2 mit durchschnittlich 6,73 St./Probe war die Anzahl gegenüber der Variante HS3 mit 4,8 St./Probe etwas erhöht. Die geringste mittlere Anzahl fand sich in der Variante HS2+M mit 2,87 St./Probe.

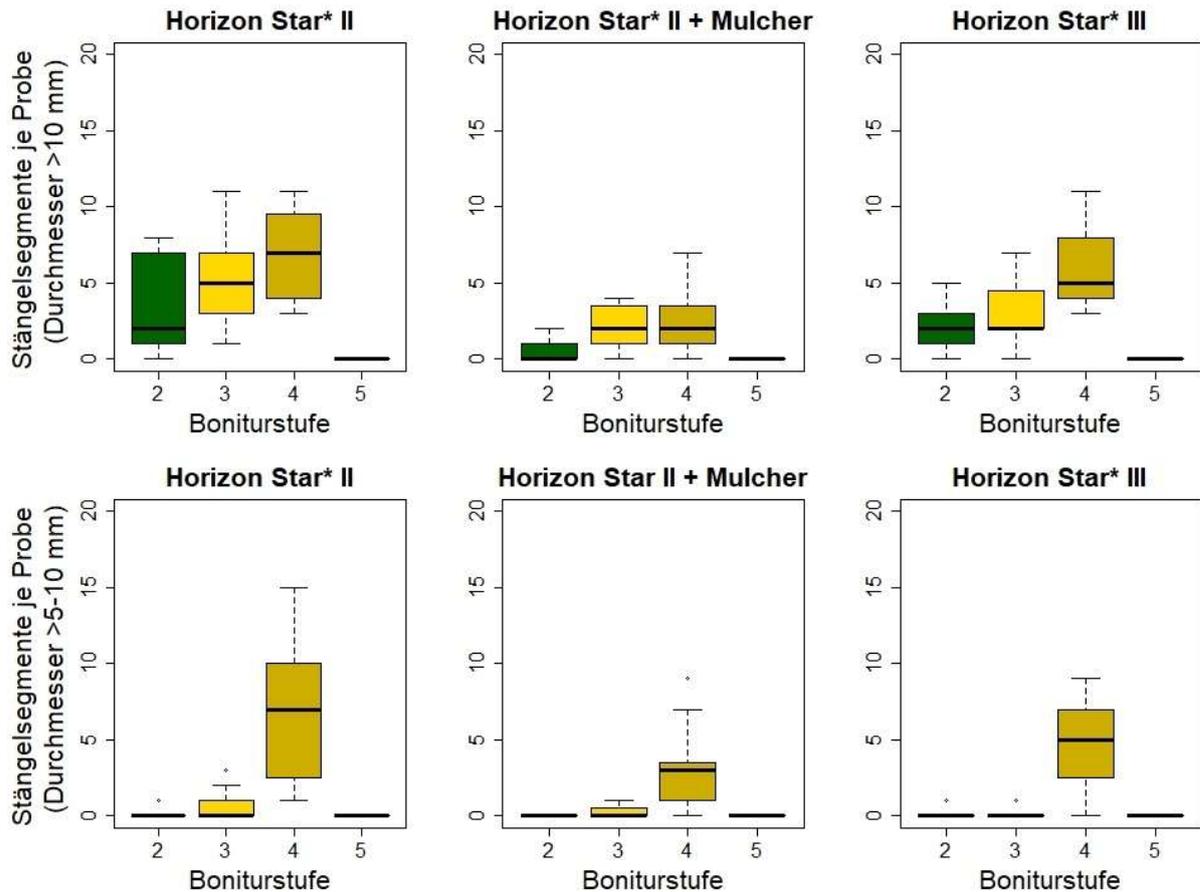


Abbildung 79: Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Maisstrohprobe nach Stängeldurchmesser, Variante und Boniturstufe am Versuchsstandort Timmaspe

Das Mulchen der HS2-Parzellen führte abermals über alle Boniturstufen hinweg zu den geringsten Anzahlen unvollständig zerstörter Stängelsegmente. Im Vergleich der Maispflücker in der Klasse der Stängeldurchmesser >10 mm zeigten sich nur leichte Unterschiede. Die Anzahl der Stängelsegmente der Boniturstufe 4 lag in der Variante HS2 mit durchschnittlich 6,78 St./Probe etwas höher als in der Variante HS3 mit 5,80 St./Probe.

6.1.2.2.4 Standortübergreifende Betrachtung der Ergebnisse

Innerhalb der ersten drei Projektjahre wurde die Aufbereitungsqualität der Erntereste für die Versuchsvarianten HS3, HS2 und HS2+M an sechs Versuchsstandorten untersucht. Dazu wurden je Variante insgesamt 105 Maisstrohproben entnommen, gesiebt und bonitiert. In Abbildung 80 sind die Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände der Versuchsvarianten HS3, HS2 und HS2+M über alle im Projektzeitraum untersuchten Maisstrohproben nach Varianten dargestellt. Zu berücksichtigen ist, dass an den Versuchsstandorten Mulchgeräte unterschiedlicher Fabrikate zum Einsatz kamen.

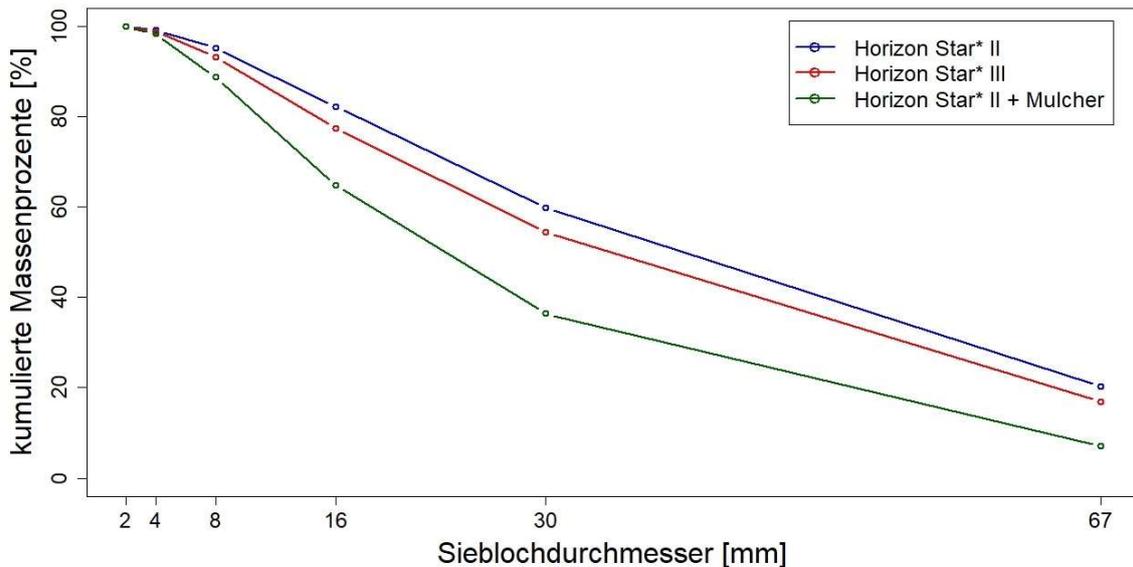


Abbildung 80: Verteilungssummenkurven der mittleren relativen Siebrückstände aller untersuchten Proben der Varianten HS3, HS2 und HS2+M

Durch das neu entwickelte Hybridmesser und einem möglichen Effekt der geringeren Schritthöhe kann der HS3 das Maisstroh intensiver zerkleinern als der Standard-erntevorsatz HS2. Nach dem Einsatz des HS3 verblieben durchschnittlich 16,95% des Maisstrohs als Siebrückstand des 67 mm Siebdecks, weitere 37,52% verblieben als Rückstand des 30 mm Siebdecks. Demgegenüber betrug der Anteil des Pflanzenmaterials >67 mm nach Einsatz des HS2 20,41%, weitere 39,45% verblieben auf dem 30 mm Siebdeck. Im Vergleich zum HS2 erreicht der HS3 eine intensivere Zerkleinerung zugunsten der Siebfraktionen <30 mm. Die Intensität von Schlegelmulchern erreicht er jedoch nicht. Im Mittel umfassten die Siebrückstände des 67 mm Siebdecks in der Variante HS2+M 7,11% und die des 30 mm Siebdecks 29,35%.

Die Boxplots in Abbildung 81 geben die Anteile der Siebrückstände >30 mm am Gesamtgewicht der Proben über alle Versuchsstandorte für die Varianten HS3, HS2 und HS2+M wieder. Die zuvor erläuterten Differenzen zwischen den Versuchsvarianten werden deutlich. Auffallend ist die geringere Streuung in der Variante HS2+M. Obwohl die Ergebnisse verschiedener Fabrikate von Mulchgeräten einfließen und eine erhöhte Varianz erwarten ließen, ist die Streuung dieser Variante geringer als die der Pflücker-Varianten HS2 und HS3.

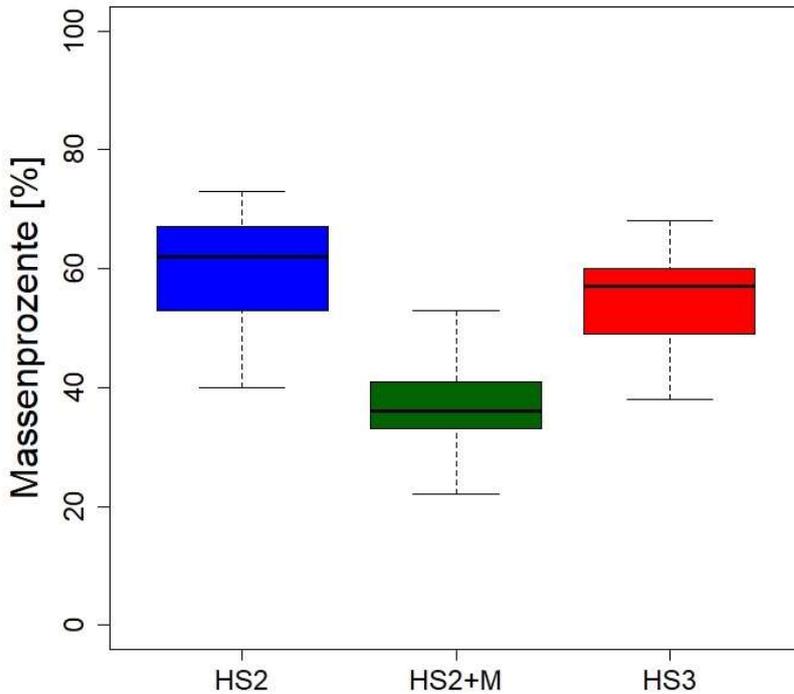


Abbildung 81: Anteil der Siebrückstände >30 mm am Gesamtgewicht der Proben über alle Versuchsstandorte für die Varianten HS3, HS2 und HS2+M

In Abbildung 82 ist der Anteil der unvollständig zerstörten Stängelsegmente mit Durchmessern >5 mm innerhalb des Pflanzenmaterials >30 mm am Gesamtgewicht der Maisstrohproben nach Versuchsvarianten dargestellt.

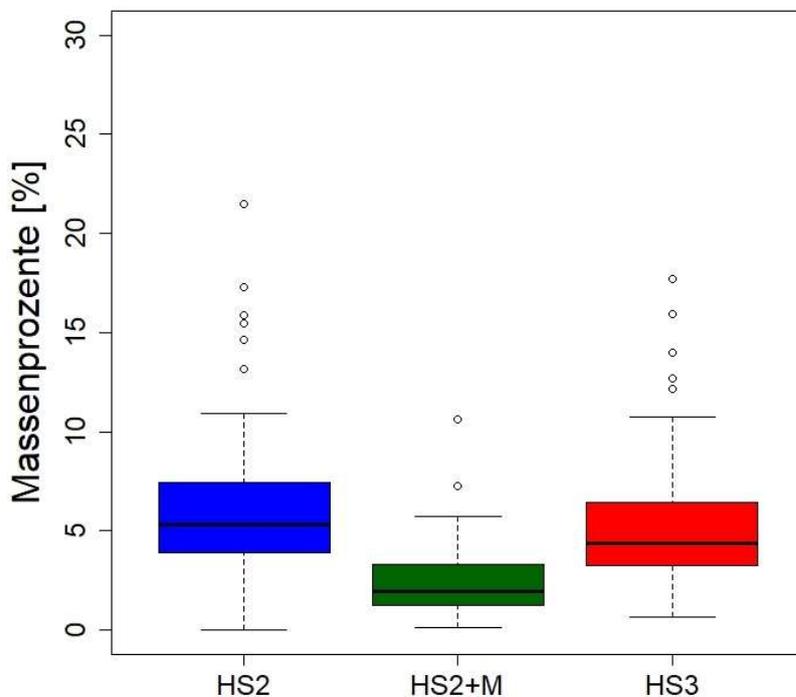


Abbildung 82: Anteil der unvollständig zerstörten Stängelsegmente innerhalb des Pflanzenmaterials >30 mm am Gesamtgewicht der Proben über alle Untersuchten Maisstrohproben der Varianten HS3, HS2 und HS2+M

Mit durchschnittlich 5,23% haben die unvollständig zerstörten Stängelsegmente in der Variante HS3 einen etwas niedrigeren Anteil am Gesamtgewicht der Proben als in der Variante HS2 mit 6,3%. Deutlich niedriger liegt der Anteil mit durchschnittlich 2,50% in der Variante HS2+M. Trotz der geringen Masse ist die Anzahl in einem relevanten Bereich (siehe Abbildung 14).

Tabelle 37: Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente nach Durchmesser und Versuchsvariante über alle Versuchsstandorte

Variante	Stängelsegmente je Probe*			
	Stängeldurchmesser >10 mm		Stängeldurchmesser >5-10 mm	
	Mittelwert ±SD	Median	Mittelwert ±SD	Median
HS2	12.18 ±6.95	11	5.59 ±4.00	5
HS2+M	6.10 ±4.92	5.5	3.73 ±3.46	3
HS3	10.37 ±6.60	11	5.36 ±3.81	5

*) Eine Probe umfasst das Maisstroh von 0.75 m²

Im Durchschnitt befanden sich in den Proben des HS3 etwas weniger unvollständig zerstörte Stängelsegmente als in der Variante HS2. Die Werte unterliegen jedoch einer starken Streuung. Im Median unterscheiden sich die Varianten nicht voneinander. Der Mulcher konnte die Anzahl hingegen deutlich senken. Der Median in der Klasse der Stängeldurchmesser >10 mm war mit 5,5 St./Probe nur halb so hoch wie in den Varianten HS2 und HS3 mit jeweils 11 St./Probe. Auch in der Klasse der kleineren Stängeldurchmesser >5-10 mm konnte der Mulcher die Anzahl deutlich reduzieren.

Durch die Hochrechnung der Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Probe auf einen Hektar wird die Relevanz deutlich (siehe Tabelle 38). Zu bedenken ist jedoch die erhebliche Streuung der erfassten Anzahlen je Probe.

Tabelle 38: Mittlere Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente je Hektar nach Durchmesser und Versuchsvariante über alle Versuchsstandorte

Variante	Stängelsegmente je Hektar	
	Stängeldurchmesser >10 mm	Stängeldurchmesser >5-10 mm
	Mittelwert	Mittelwert
HS2	162 413	74 540
HS2+M	81 270	49 778
HS3	138 286	71 492

Allerdings zeigten die in den vorangestellten Kapiteln vorgestellten Ergebnisse der Strukturbonituren, dass in allen Varianten nahezu keine intakten Internodien auf dem Feld zurückgelassen werden.

6.1.3 Diskussion der Ergebnisse

Die während der vierjährigen Projektlaufzeit gewonnenen Ergebnisse zeigen das Potential aber auch Einflussfaktoren mit limitierender Wirkung auf die Intensität der Stoppelzerkleinerung. Sowohl das Verfahren HS3 als auch das Verfahren Schlegelmulcher unterlagen von Standort zu Standort in Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen deutlichen Schwankungen in der Intensität der Stoppelzerstörung. Vor allem die Kombination von flach über der Bodenoberfläche befindlicher Knoten des Maisstängels mit in Mulden stehenden Maisstopplern, erwies sich als deutlich limitierender Faktor für die Stoppelbearbeitungsverfahren. Bei feuchten Bodenverhältnissen werden die Maisstopplern durch Überfahren zusätzlich in den Boden gedrückt, wodurch die nachträgliche Bearbeitung mittels Schlegelmulcher erschwert wird.

Der HS3 kann sowohl in Bezug auf die Reststoppelhöhe als auch auf den Zerstörungsgrad der Maisstopplern das Qualitätsniveau eines Schlegelmulchers erreichen, sofern die Rahmenbedingungen für den Einsatz geeignet sind. So konnten an den Versuchsstandorten Zeutern, Bückeberg und Wöbs zwischen 78,3% und 90,5% der Maisstopplern unter Berücksichtigung eines Anteils überfahrener Stopplern von 25% (an den Standorten Bückeberg und Wöbs) durch den HS3 bis zum Wurzelansatz aufgefaserter werden. Im Mittel verblieben lediglich 4,0% bis 9,3% der Maisstopplern mit einem intakten

Internodium auf dem Feld. Dies entspricht mittleren Boniturnoten zwischen 1,3 und 1,6. Dabei erreichte der HS3 mittlere Reststoppelhöhen von ca. 5-7 cm mit kurzen massiven Segmenten von ca. <0,5-2,5 cm. Diese Ergebnisse liegen auf einem Qualitätsniveau, dass die Schlegelmulcher außerhalb von Fahrspuren erreichten. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit den Resultaten der Untersuchungen von GROSA et al. (2016) und UPPENKAMP et al. (2011) die für Schlegelmulcher ebenfalls Reststoppelhöhen von 4,1-7,5 cm ermittelten.

Im Bereich der Fahrspuren des Mähreschers war für die Schlegelmulcher-Varianten eine deutliche Reduktion des Bearbeitungserfolges durch umgeknickte und zu Boden gedrückte Maisstoppeln festzustellen. Dies kam durch einen geringeren Zerstörungsgrad und höhere Reststoppeln im Vergleich zu unbefahrenen Teilflächen zum Ausdruck. Im Fahrspurbereich blieben 40% bis 72,5% der Maisstoppeln mit einem intakten, für die Überwinterung des Maiszünslers geeigneten, Internodium zurück. Die Minderung des Bearbeitungserfolges gegenüber unbefahrener Teilflächen hing dabei von den Ausgangsbedingungen, d.h. vor allem von der Beschaffenheit der Bodenoberfläche, ab. Gegenüber unbefahrener Teilflächen war der Anteil von Maisstoppeln mit intakten Internodien mit Ausnahme des Versuchsstandortes Steinheim, an dem bereits außerhalb der Fahrspuren >40% der Maisstoppeln intakt blieben, um den Faktor zwei bis fünf höher. Der Anteil vollständig zerstörter Maisstoppeln war an den Standorten Kraichtal und Timmaspe gegenüber unbefahrener Teilflächen um ca. 50% reduziert. Die stärkste Minderung des Bearbeitungserfolges im Fahrspurbereich war unter feuchten Bodenverhältnissen am Standort Bückeburg zu verzeichnen. Hier konnte der Mulcher in unbefahrenen Teilflächen 84,5% der Maisstoppeln bis zum Wurzelansatz auffasern, im Fahrspurbereich hingegen lediglich 12,1%. Diese Effekte zeigten sich entsprechend in den Reststoppelhöhen. An den Standorten Bückeburg, Stettfeld und Timmaspe waren die mittleren Gesamthöhen der Reststoppeln im Fahrspurbereich um ca. 7 cm bis 8 cm (Faktor 1,7 bis 2,2) höher, die massiven Stoppelsegmente um ca. 7 cm bis 11 cm (Faktor 2,9 bis 7,9). Bei sehr ebener Bodenoberfläche und trocknen Bodenverhältnissen am Standort Kraichtal fielen die Differenzen kleiner aus. Die mittlere Gesamthöhe der Reststoppeln im Fahrspurbereich war um den Faktor 1,3 höher und die Höhe der massiven Segmente um den Faktor 1,8. Auch GROSA et al. (2016: 37–38) stellten eine deutlich reduzierte Arbeitsqualität der Mulcher im Fahrspurbereich nach der Silomaisernte fest. Gemessen an der Reststoppelhöhe war der Bearbeitungserfolg um ca. 50% reduziert.

Hier liegt ein deutlicher Vorteil des neuen Verfahrens HS3 mit integrierter Stoppelzerkleinerung. Durch die Bearbeitung der Stoppeln vor dem Überfahren, ist der HS3 unabhängig von Fahspureinflüssen und kann eine ganzflächig einheitliche Arbeitsqualität

erzielen. Die Versuche zeigten, dass das Überfahren der sehr kurzen Maisstoppeln sogar zu einer weiteren Verbesserung der Auffaserung führt. In Abhängigkeit von der Arbeitsqualität außerhalb der Fahrspuren, wurde der Anteil vollständig aufgefaserner Maisstoppeln im Fahrspurbereich um 6,6% bis 30,0% erhöht und der Anteil intakter Internodien um 5,6% bis 17,5% reduziert. Bei bereits hoher Intensität außerhalb der Fahrspuren treten entsprechend kleine zusätzliche Effekte im Fahrspurbereich auf.

Trotz dieses Vorteils konnte der HS3 nicht unter allen Umständen bessere Gesamtergebnisse erzielen als die Schlegelmulcher. Am Versuchsstandort Timmaspe limitierte die unebene Bodenoberfläche den Bearbeitungserfolg. Dies hatte sowohl für die Schlegelmulcher-Varianten als auch für den HS3 unbefriedigende Bearbeitungsergebnisse zur Folge. Trotz vergleichbarer Gesamthöhen der Reststoppeln, konnte der Schlegelmulcher die Stoppeln weiter auffasern als der HS3. Die erhöhte Arbeitsqualität des HS3 im Fahrspurbereich konnte bei einem Anteil überfahrener Maisstoppeln von 25% die im Vergleich zum Mulcher geringere Arbeitsqualität in unbefahrenen Teilflächen nicht ausgleichen. Mit einer nach Fahrspuranteilen gewichteten Boniturnote von 2,9 erreichte der HS3 nicht das Niveau der Schlegelmulcher-Varianten mit Boniturnoten von 2,2 bzw. 2,3 (ohne Stoppelbearbeitung 4,5 bzw. 4,6). Als weitere mögliche Einflussgröße auf die Arbeitsqualität wurde die Spurführung des Mähdreschers, d.h. die Ausrichtung der Reihenaggregate des Erntevorsatzes zu den Maisreihen angeführt. Am Standort Timmaspe wurde manuell gesteuert, da keine Reihentaster zur Verfügung standen. Eine ähnliche Vermutung wird hinsichtlich der Ergebnisse am Standort Kraichtal angenommen. Es scheint, dass der HS3 speziell in den am Seitenhang gelegenen Versuchspartellen erheblich schlechtere Ergebnisse erzielte, als in der Ebene, wo der HS3 zumindest 80% der Maisstoppeln vollständig auffaserte. Durch gegensteuern am Hang könnte die Ausrichtung des Erntevorsatzes zur Maisreihe beeinflusst gewesen sein. Dies gilt es weiter zu prüfen. Insgesamt erzielte der HS3 eine nach Fahrspuranteil gewichtete Boniturnote von 2,4 gegenüber der Mulcher-Variante mit 1,9 (ohne Stoppelbearbeitung 4,5). Durch Wendemanöver und Erntetransportfahrzeuge ist unter Praxisbedingungen jedoch von einem höheren Fahrspuranteil als 25% auszugehen, sodass sich die Ergebnisse der Verfahren weiter annähern dürften. Für den Versuchsstandort Kraichtal würden sich ab einem angenommenen Anteil überfahrener Maisstoppeln von 47% gleiche mittlere Boniturnoten von 2,2 für die Verfahren HS3 und Schlegelmulcher ergeben. Am Standort Timmaspe ergäbe sich der Ausgleich bei einem Fahrspuranteil von 51% bzw. 56%, bei mittleren Boniturnoten von 2,6. Diese Fahrspuranteile sind jedoch höher als für die Körnermaisernte zu erwarten wäre und liegen in einem für die Silomaisernte bekannten Bereich (vgl. GROSA et al. 2016: 53).

Insgesamt zeigte sich, sofern mit der Bodenbearbeitung und Aussaat akzeptable Ausgangsbedingungen geschaffen wurden, kann der HS3 in Bezug auf die Stoppelzerkleinerung den Arbeitsgang des Mulchens ersetzen.

Ein weiterer Vorteil der Kombination der Arbeitsgänge Ernte und Stoppelzerkleinerung in Form des HS3 zeigte sich am Versuchsstandort Wöbs. Nach einer späten Ernte schlug die Witterung am Folgetag um, es setzte Regen- und Schneefall ein, sodass bis zum Frühjahr kein Mulchen der Erntereste möglich war.

Die Ergebnisse der Siebungen des Maisstrohs von insgesamt sechs Versuchsstandorten zeigten einen einheitlichen Trend. Durch das neu entwickelte Hybridmesser und einem möglichen Effekt der geringeren Schnitthöhe kann der HS3 das Maisstroh etwas intensiver zerkleinern als die vergleichbare Standardmaschine HS2 ohne integrierte Stoppelzerkleinerung. Der Anteil der Siebrückstände >30 mm war mit 54,5% im Durchschnitt um 5,4% geringer als in den Proben der Variante HS2 mit 59,9%. Das Niveau von Schlegelmulchern konnte der HS3 jedoch nicht erreichen. Die Proben der unterschiedlichen Schlegelmulcher enthielten im Mittel 18% weniger Pflanzenmaterial >30 mm. Gegenüber dem Ausgangsmaterial, das durch den HS2 bearbeitet wurde, reduzierten die Mulcher den Anteil des Pflanzenmaterials >30 mm um 23,4%. GROSA et al. (2016: 37–38) untersuchten ebenfalls unterschiedliche Mulcher nach vorheriger Ernte mittels HS2. Sie stellten im Ausgangsmaterial mit nahe zu 80% jedoch erheblich höhere Anteile von Pflanzenmaterial >30 mm fest. Vergleichbar ist hingegen die Wirkung der Mulchgeräte. Über die unterschiedlichen Werkzeugvarianten erhöhte sich der Feinanteil <30 mm um 10-15%, in der Vorzugsvariante Forntmulcher mit Hammerschlegeln um 25%. Auch zu den von UPPENKAMP et al. (2011: 32) berichteten Zerkleinerungsintensitäten von Schlegelmulchern mit Hammerschlegeln stehen die Ergebnisse im Einklang. Jedoch erreichten die Y-Schlegel in den eigenen Untersuchungen eine intensivere Zerkleinerung (Versuchsstandort Kraichtal und Zeutern).

Auch in Bezug auf die Struktur der in den Ernterückständen enthaltenen Stängelsegmente zeigten sich Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten. Positiv zu bewerten ist, dass über alle Varianten nahezu keine Stängelabschnitte mit intakten Internodien enthalten waren, die vor dem Hintergrund der Maiszünslerbekämpfung als besonders kritisch einzuordnen wären. Grundsätzlich hatten die unvollständig zerstörten Stängelsegmente mit Durchmessern >5 mm nur sehr geringe mittlere Anteile am Gesamtgewicht der Maisstohproben von 6,3% in der Variante HS2, 5,2% in der Variante HS3 und 2,5% in den Mulcher-Varianten. Trotz der geringen Masse ist die Anzahl in einem relevanten Bereich. Der Mulcher konnte die Anzahl deutlich senken. Der Median in der Klasse der Stängeldurchmesser >10 mm war mit 5,5 St./Probe (entspricht ca. 73 333 St/ha) nur halb

so hoch wie in den Varianten HS2 und HS3 mit jeweils 11 St./Probe (entspricht ca. 146 666 St/ha). Auch in der Klasse der kleineren Stängeldurchmesser >5-10 mm konnte der Mulcher die Anzahl gegenüber der Pflücker-Varianten deutlich verringern. Allerdings geht aufgrund des Platzanspruches der Maiszünslerlarven von ihnen ein deutlich geringeres Risiko aus (vgl. LOSEY et al. 2002; SÁNDOR und HOLLÓ 2019).

6.1.4 Diskussion der Methoden

Nach dem zum Versuchsjahr 2019 eine Vorerntebonitur zur Erfassung der Abstände der untersten Knoten der Sprossachse des Maises von der Bodenoberfläche eingeführt wurde, erfolgte eine Erweiterung der Bonitur zur Bewertung der Beschaffenheit der Bodenoberfläche zum Versuchsjahr 2020. Anlass hierfür war die einebnende Wirkung der Stützwalzen der eingesetzten Schlegelmulcher, die zu einer Verfälschung der im Anschluss an die Stoppelbearbeitung erhobenen Messwerte führte. Dieser Effekt zeigte sich im Versuchsjahr 2020 erneut. Somit ließen sich in der Vorerntebonitur zuverlässigere Daten erheben. Zusätzlich war festzustellen, dass selbst in Parzellen ohne Stoppelbearbeitung im Nachernteverfahren in der Nacherntebonitur geringere Tiefen von Mulden im Bereich der Saatreihe gemessen wurden, als zuvor während der Vorerntebonitur. Dies lässt sich vermutlich auf Erdbewegungen im Zuge des bei Seite Räumens des Maisstrohs zurückführen. Vor diesem Hintergrund hat sich das neue Vorgehen bewährt und verbesserte die Interpretation der Ergebnisse der Bonituren des Zerstörungsgrades. Allerdings müsste konsequenterweise die Kontur der Bodenoberfläche nach der Ernte über die gesamte Arbeitsbreite des Erntevorsatzes erfasst werden. Besonders bei starrer Ausführung des Rahmens des HS3 limitieren Bodenwellen innerhalb der Arbeitsbreite die Schnitthöhe. Dies gilt gleichermaßen für Mulchgeräte. Angesichts der hohen Strohaufgabe nach der Ernte wäre ein solches Vorgehen nochmals deutlich arbeitsintensiver und kaum praxistauglich.

Die Beurteilung der Stoppelzerstörung anhand des Bonitursystems nach BRUNOTTE und VOßHENRICH (2017: 20) mit zusätzlich präzisierter Definition der Boniturstufen erlaubt eine differenzierte Beurteilung der unterschiedlichen Stoppelbearbeitungsverfahren. Zur Einordnung der Ergebnisse ist die Erfassung von Randparametern wie Stoppelhöhe, Höhe des massiven Stoppelsegments, Beschaffenheit der Bodenoberfläche und Habitus der Maisstoppeln angebracht, erhöht den Arbeitsaufwand jedoch erheblich. Der von Feld zu Feld stark variierende Abstand des untersten Knotens der Maispflanze zur Bodenoberfläche zeigt, dass die Bewertung der Arbeitsqualität allein anhand der Reststoppelhöhe unzureichend wäre. Die gleiche Reststoppelhöhe führt bei variierendem Abstand des untersten Knotens von der Bodenoberfläche teils zu erheblichen

Qualitätsunterschieden im Aufschlussgrad der Maisstoppeln, alsdass diese bei tief liegendem Knoten häufig nicht bis zur Bodenoberfläche aufreißen. Zudem ist diesbezüglich von deutlichen Unterschieden in Abhängigkeit von Wirkmechanismus und der Schnitfführung unterschiedlicher Geräte zur Stoppelbearbeitung auszugehen.

Die Siebanalyse lieferte aussagekräftige Ergebnisse. Über die Versuchsstandorte zeigten sich einheitliche Trends bei vertretbarer Varianz. Bei erneuter Durchführung derartiger Untersuchungen sollte jedoch die Anpassung der Abstufungen der Sieblochdurchmesser diskutiert werden, um das grobe Material > 30 mm, das regelmäßig mehr als 50 % des Pflanzenmaterials ausmachte, weiter zu fraktionieren. Möglicherweise wäre eine äquidistante Abstufung der Sieblochdurchmesser (z.B. 90 / 70 / 50 / 30 / 10 / 2 mm) zu testen. Dabei sollte ein feines Siebdeck (2 mm) zum Abscheiden von mineralischen Beimischungen erhalten bleiben.

Die Strukturbonitur gibt einen Überblick zum Zerstörungsgrad der im Maisstroh enthaltenen Stängelsegmente. Speziell über die Anzahl unvollständig zerstörter Stängelsegmente zeigte sich der Effekt des Mulchens. Die weitere detaillierte Aufschlüsselung der Stängelsegmente nach Durchmesser und Boniturstufen (2 Stängeldurchmesser-Klassen x 4 Boniturstufen) sorgte jedoch für sehr geringe Anzahlen je Klasse. Eindeutige Trends lassen sich aus diesen Daten kaum ableiten, allerdings konnte über die Bonitur festgestellt werden, dass intakte Internodien über alle Versuchsvarianten kaum vorzufinden waren. Vor diesem Hintergrund ist die Strukturbonitur durchaus empfehlenswert, möglicherweise wäre eine weniger detaillierte Aufschlüsselung mit weniger Boniturstufen ausreichend. Andernfalls wäre eine deutliche Vergrößerung der Probenahmefläche (in diesem Fall 0,75 m²) anzustreben, um die Anzahl der unvollständig zerstörten Stängelsegmente je Probe zu erhöhen. Die Vergrößerung der Probenahmefläche würde jedoch den ohnehin großen Arbeitsaufwand deutlich erhöhen und die verwendete Siebanlage schnell an die Kapazitätsgrenze bringen.

6.2 Wirkung der Verfahren des Ernterückstandsmanagements auf Bestandsparameter und Mykotoxingehalt der Folgefrucht Winterweizen

In der Fortführung der Feldversuche an den Versuchsstandorten Zeutern und Steinheim (2018/19) sowie Stettfeld (2019/20) wurde die Wirkung der erprobten Verfahren des Ernterückstandsmanagements im Körnermais auf Bestandsparameter und den Mykotoxingehalt in der Folgekultur Winterweizen untersucht. Nachfolgend werden die Methoden und Ergebnisse vorgestellt.

6.2.1 Material und Methoden

Innerhalb der im Körnermais angelegten Versuchspartellen der Varianten HS3, HS2 und HS2+M wurden nach der Aussaat des Winterweizens Boniturpunkte eingemessen und markiert. Um sicherzustellen, dass die Bonituren und Probenahmen über den Vegetationsverlauf an immer den gleichen Pflanzen erfolgten, wurde in Anlehnung an das Vorgehen von KIRCHMEIER und DEMMEL (2008) an jedem Boniturstichpunkt ein Drahring mit einer Innenfläche von 0,5 m² platziert (siehe Abbildung 83).



Abbildung 83: Boniturstichpunkt im Winterweizenversuch

Auf das Bestellverfahren, die Sortenwahl, die Düngung und die Pflanzenschutzstrategie wurde kein Einfluss genommen. Der Anbau des Winterweizens erfolgte nach betriebsüblichen Vorgehen standortangepasst.

Lediglich zur Blütenbehandlung (Triazol-Fungizid) des Winterweizens wurden Spritzfenster angelegt, sodass sich insgesamt sechs Prüfglieder ergaben (siehe Abbildung 84).



Abbildung 84: Versuchsvarianten im Winterweizen

6.2.1.1 Zeutern und Steinheim 2018/19: Versuchsplan und Rahmenbedingungen

In Folge trockener Witterung zur Weizenblüte herrschten für die Infektion der Weizenähren durch Fusarien an beiden Versuchsstandorten keine optimalen Bedingungen. Eine Differenzierung möglicher Minderungseffekte der Verfahren des Ernterückstandsmanagements im Körnermais auf den Deoxynivalenol (DON) -Gehalt des Weizens war erschwert.

Am Versuchsstandort Steinheim erfolgte die Aussaat des Winterweizens nach wendender Bodenbearbeitung am 16. Oktober 2018, vier Tage nach der Körnermaisernte. Nach Einsatz des Pfluges befanden sich kaum potenziell infektiöse Ernterückstände auf der Bodenoberfläche. Zur Weizenblüte erfolgte die Applikation mehrerer Azol-Fungizide in einer Tankmischung. Eingesetzt wurden die Präparate 0,35 l/ha Prosaro (125 g/l Tebuconazol, 125 g/l Prothiconazol) und 0,5 l/ha Osiris (27.5 g/l Metconazol, 37.5 g/l Epxiconazol). In Folge eines Hagelschadens nach dem Ährenschieben des Dieckmann Waxy Weizens liegen keine Erntedaten vor.

In Abbildung 85 ist der Versuchsplan vom Standort Steinheim dargestellt. Für die Fortführung des Versuchs im Winterweizen wurden jeweils zwei der im Körnermais angelegten Versuchspartellen je Variante des Ernterückstandsmanagements herangezogen. Innerhalb dieser Partellen wurden jeweils sechs Boniturstellen eingemessen und jeweils drei durch ein Spritzfenster überlagert. Somit ergaben sich sechs Wiederholungen je Prüfglied.

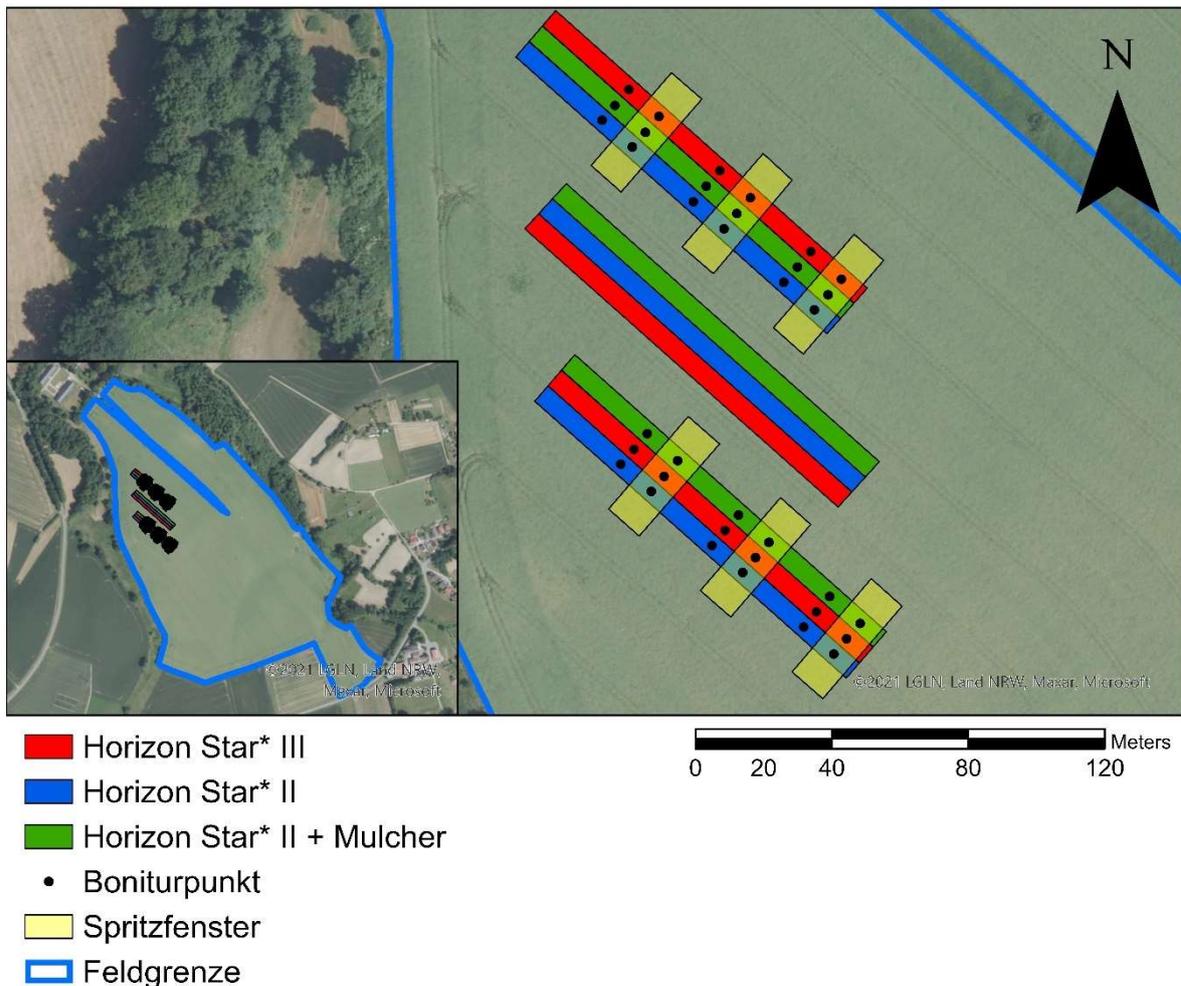


Abbildung 85: Versuchsplan Steinheim, Winterweizen 2018/19

Am Versuchsstandort Zeutern erfolgte die pfluglose Bestellung des Winterweizens der Sorte DSV Boss am 13. Oktober 2018, zwei Wochen nach der Körnermisernte. Grund hierfür war die anhaltende Trockenheit, die selbst keine Grundbodenbearbeitung zuließ. Erhebliche Mengen des Maisstrohs verblieben an der Bodenoberfläche. Zur Weizenblüte wurden 2,0 l/ha Osiris (27.5 g/l Metconazol, 37.5 g/l Epoxiconazol) appliziert. Die Beerntung der Boniturstellen erfolgte am 18. Juli 2019.

In Abbildung 86 ist der Versuchsplan vom Standort Zeutern dargestellt. Die Anlage der Boniturstellen und Spritzfenster erfolgte in gleicher Weise wie am Standort Steinheim.

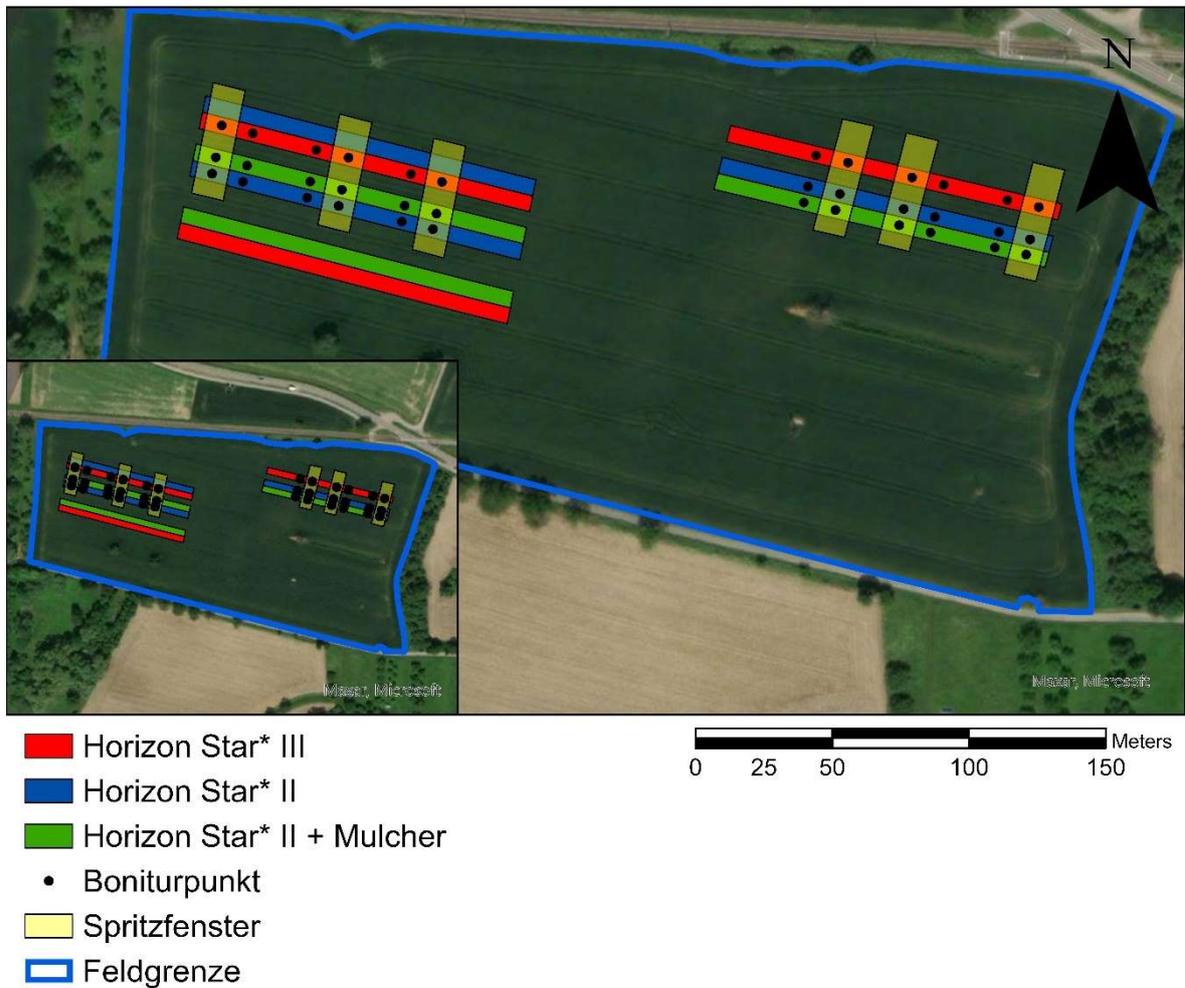


Abbildung 86: Versuchsplan Zeutern, Winterweizen 2018/19

6.2.1.2 Stettfeld 2019/20: Versuchsplan und Rahmenbedingungen

Zahlreiche Regenschauer um den Erntetermin des Körnermaises am 15. Oktober 2019 sorgten für feuchte Bodenverhältnisse. Die Bestellung des Winterweizens konnte erst am 28. Oktober unter schwierigen Bedingungen erfolgen. Ausgesät wurden 200 kg/ha der A-Weizensorte Chiron mit einer geringen Anfälligkeit für Ährenfusarium (SAATEN-UNION 2017). Die Bestellung erfolgte pfluglos. In Folge der schwierigen Bodenverhältnisse konnte das Saatbett nicht optimal bereitet werden. Dies äußerte sich in einem ungleichmäßigen Feldaufgang (siehe Abbildung 87).



Abbildung 87: Eindrücke vom Winterweizen am 25. November 2019 am Versuchsstandort Stettfeld

Auch zum zweiten Boniturtermin am 11. März 2020 zeigten sich leichte Unregelmäßigkeiten in der Anzahl von Weizentrieben über die Fläche. Vor allem im mittleren Bereich des Feldes war der Pflanzenbestand etwas dünner. Die ungünstigen Bedingungen während der Aussaat waren deutlich zu erkennen (siehe Abbildung 88).



Abbildung 88: Eindrücke vom Weizenbestand des Versuchsfeldes Stettfeld am 11. März 2020

Auf Grundlage der Erfahrungen aus dem ersten Versuchsjahr wurde die Versuchsanlage angepasst. Der Versuch wurde auf einen Standort begrenzt und die Anzahl der Wiederholungen verdoppelt. Dazu wurden alle Parzellen des Körnermais-Versuches herangezogen. In den insgesamt 18 Langparzellen wurden jeweils vier Boniturstellen eingemessen, von denen je zwei Boniturstellen durch ein Spritzfenster überlagert wurden. Somit ergaben sich je Prüfglied 12 Boniturstellen (siehe Abbildung 89).

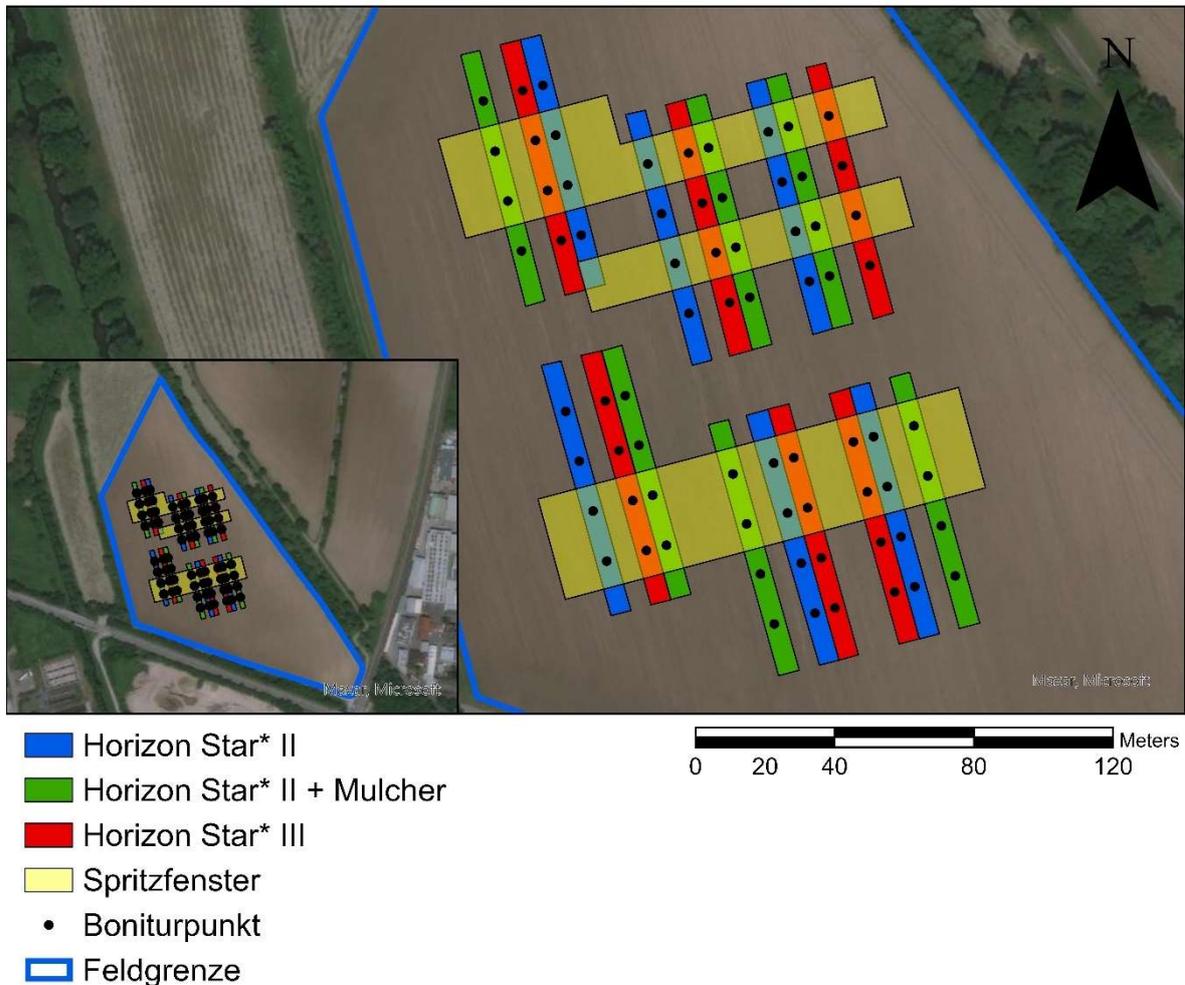


Abbildung 89: Versuchsplan Stettfeld, Winterweizen 2019/20

Die Witterung zum Zeitpunkt der Blüte war mit Ausnahme von einem Niederschlagsereignis am 23. Mai, von ca. 4,4 mm Regen, trocken (DWD Climate Data Center 2021). Die vergleichsweise niedrigen Temperaturen in den Folgetagen ließen dennoch keine optimalen Bedingungen für eine epidemische Entwicklung erwarten (vgl. Landwirtschaftsamt Bruchsal 2020). Die Blütenbehandlung mit 2,5 l/ha Osiris (27.5 g/l Metconazol, 37.5 g/l Epoxiconazol) erfolgte in der letzten Maiwoche. Regen setzte erst am 3. Juni 2020 ein.

Zur Ernte präsentierte sich der Weizenbestand blattgesund und gleichmäßig. Die Proben wurden am 19. und 20. Juli 2020 entnommen.

6.2.1.3 Vegetationsbegleitende Bonituren im Winterweizen

Im Anschluss an die Bodenbearbeitung und Aussaat erfolgte zum ersten Boniturtermin die Ermittlung des Bodenbedeckungsgrades mit Ernteresten nach WINNIGE et al. (1998), mit Anpassungen an das Versuchsdesign. Hierzu diente eine Schnur mit 50 Markierungen im

Abstand von 10 cm. Diese wurde an jedem Bonitурpunkt zweimal diagonal ($\pm 45^\circ$) zur Hauptbearbeitungsrichtung über die Versuchsparzelle gespannt. Über die Anzahl der Schnittpunkte von Ernteresten am Boden und Markierungen auf der Schnur lässt sich der Bodenbedeckungsgrad ermitteln (siehe Abbildung 90).



Abbildung 90: Bestimmung des Bodenbedeckungsgrades

Im weiteren Verlauf wurde zu mehreren Terminen die Anzahl der Weizentriebe innerhalb der Boniturringen gezählt:

- Feldaufgang (vor Winter)
- Bonitur im Frühjahr
- Bonitur Ende Schossen
- Anzahl ährentragender Halme

Zu jedem Boniturtermin wurde der aktuelle Zustand des Bestandes innerhalb der Boniturringen durch Fotos dokumentiert.

6.2.1.4 Datenerhebung zur Weizenernte

Kurz vor der maschinellen Ernte des Weizenfeldes erfolgte die Handbeerntung der Weizenpflanzen innerhalb der Boniturringen. Das Ausdreschen der Proben erfolgte mittels stationärem Drescher im Labor. Anschließend erfolgte eine Reinigung durch Windsichtung. Die Bestimmung der Kornfeuchte zum Zeitpunkt der Ernte erfolgte direkt am Feld, anhand von Pflanzen in direkter Nachbarschaft zu den Boniturringen. Hierzu wurde ein Minibatt Probendrescher der Firma Reichhardt sowie ein Pfeuffer HE50 Kornfeuchtemessgerät verwendet.

Die Bestimmung des Gehaltes an Deoxynivalenol (DON) erfolgte mittels Flüssigchromatographie mit Tandem-Massenspektroskopie (LC-MS/MS). Die Bestimmungsgrenze betrug 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Im zweiten Versuchsjahr wurden aus der Hauptprobe zwei Teilproben von 150 g für eine Doppelbestimmung entnommen. Zur Bestimmung des

Proteingehaltes wurden weitere 100 g entnommen und bei 30°C im Trockenschrank getrocknet, vermahlen und mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) untersucht (Doppelbestimmung). Das übrige Probenmaterial wurde bei 105°C im Trockenschrank zur Bestimmung der Trockensubstanz getrocknet. Die Bestimmung der Tausendkornmasse (TKM) erfolgte mittels MARVIN Kornanalysegerät der Firma GTA Sensorik GmbH (Doppelbestimmung).

6.2.2 Ergebnisse

6.2.2.1 Zeutern und Steinheim 2018/19

Der Boxplot in Abbildung 91 stellt die Messungen des Bodenbedeckungsgrades mit Ernteresten des Körnermaises nach der pfluglosen Bestellung des Winterweizens am Versuchsstandort Zeutern dar. Die Messergebnisse der drei Varianten des Stroh- und Stoppelmanagements lagen dicht beieinander. Mit durchschnittlich 30,3% zeigte sich in der Variante HS2 der geringste Bodenbedeckungsgrad, gefolgt von der Variante HS2+M mit 32,4% und der Variante HS3 mit 35,3%.

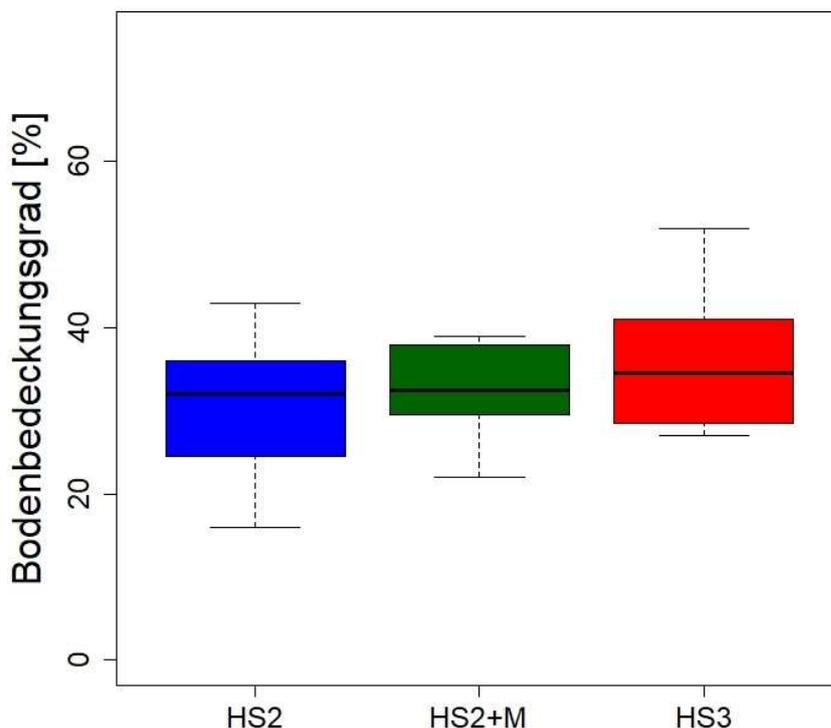


Abbildung 91: Bodenbedeckungsgrad mit Ernteresten des Körnermaises nach der pfluglosen Bestellung des Winterweizens am Versuchsstandort Zeutern 2018

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Siebfraktionierung des Maisstrohs wäre hingegen in der Variante HS2+M, in Folge der intensivsten Zerkleinerung des Maisstrohs, der geringste Bodenbedeckungsgrad zu erwarten gewesen (vgl. Kapitel 6.1.2.2.1). Allerdings, im

Vergleich der Versuchsjahre und Standorte, zeigte sich im sehr trockenen Versuchsjahr 2018 am Standort Zeutern die geringste Differenz in der Zerkleinerung des Maisstrohs zwischen den Pflücker-Varianten und der Mulcher-Variante (vgl. Kapitel 6.1.2.2.1).

Die Boniturlinien innerhalb und außerhalb der im weiteren Vegetationsverlauf angelegten Spritzfenster zur Ährenabschlussbehandlung wiesen keine nennenswerte Differenz im Bodenbedeckungsgrad auf. Die Differenzen waren im Mittel kleiner als 1,5%. Die Bedingungen waren vergleichbar.

In Abbildung 92 sind die Ergebnisse der vegetationsbegleitenden Triebzählungen vom Versuchsstandort Zeutern wiedergegeben. Aufgrund der anhaltenden Trockenheit im Herbst 2018 entschied sich der Betriebsleiter am Versuchsstandort Zeutern für eine erhöhte Aussaatmenge von 350 keimfähigen Körnern je Quadratmeter. Zum ersten Boniturtermin am 12. November ergab sich die höchste mittlere Anzahl von Weizentrieben mit 347 Trieben/m² in der Variante HS2+M, gefolgt von der Variante HS2 mit 334 Trieben/m². Die geringste Anzahl wurde an den Boniturlinien der Variante HS3 mit 314 Trieben/m² ermittelt.

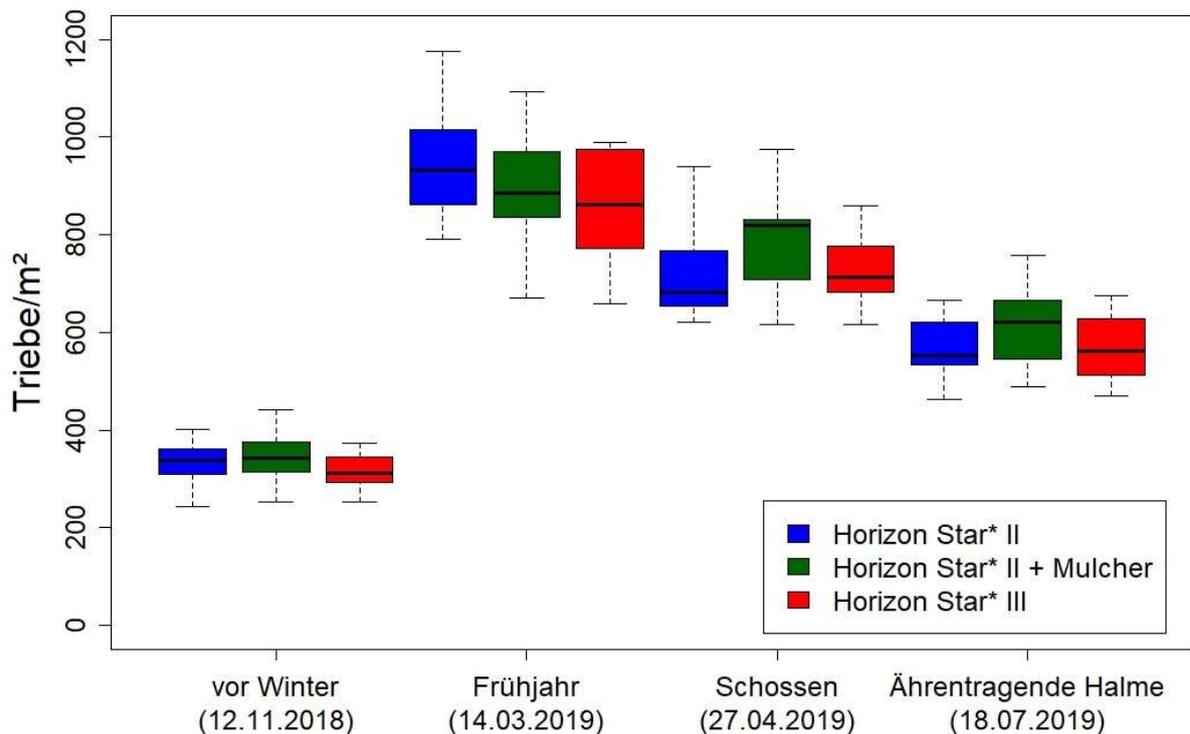


Abbildung 92: Ergebnisse der Zählungen der Weizentriebe am Versuchsstandort Zeutern 2018/19

Zum zweiten Boniturtermin am 14. März 2019 zeigten sich stärkere Unterschiede in den Triebzahlen zwischen den Varianten, die jedoch unspezifisch erscheinen. Die höchste durchschnittliche Anzahl an Weizentrieben wurde in der Variante HS2 mit 943 Trieben/m² festgestellt. Im Zuge der Bestockung hatte sich die Anzahl der Triebe um das 2,9-fache gegenüber dem ersten Boniturtermin erhöht. Auch an den Boniturstellen der Variante HS3 stieg die Anzahl der Triebe um das 2,8-fache auf durchschnittlich 862 Triebe/m². In der Variante HS2+M, in der der Weizen vor Winter etwas dichter stand, bestockte er sich etwas weniger stark. Mit 898 Trieben/m² erhöhte sich die Anzahl der Triebe gegenüber dem ersten Boniturtermin um das 2,6-fache und stand damit dennoch dichter als in der Variante HS3.

Zur Bonitur im Schossen hatte der Bestand umfänglich Triebe reduziert. Mit durchschnittlich 768 Trieben/m² konnte sich die Mulcher-Variante absetzen. In der Variante HS3 reduzierte sich die Anzahl auf 728 Triebe/m². Die größte Reduktion zeigte sich in der Variante HS2 mit durchschnittlich 722 Trieben/m².

Auch zur Ernte am 18. Juli 2019 ergab sich die höchste Anzahl ährentragender Halme mit durchschnittlich 610 Ähren/m² in der Mulcher-Variante. Die Pflücker-Varianten HS2 und HS3 blieben mit 569 Ähren/m² bzw. 568 Ähren/m² gleichauf. Die weitere Reduktion der Anzahl produktiver Triebe äußerte sich durch eine Vielzahl von Strohtrieben ohne adäquat ausgebildete Ähren.

Bereits vor der Ährenabschlussbehandlung zum dritten Boniturtermin am 27. April 2019 zeigten sich erste Differenzen in den Anzahlen von Weizentrieben an den Boniturstellen innerhalb und außerhalb der im weiteren Verlauf angelegten Spritzfenster. Dies setzte sich bis zur Ernte fort, sodass sich innerhalb der Spritzfenster etwas geringere Anzahlen ährentragender Halme befanden (siehe Tabelle 39). Die Ausgangsbedingungen zur Bewertung der Wirkung der Ährenabschlussbehandlung waren somit nicht völlig identisch.

Tabelle 39: Ertrags- und Qualitätsparameter des Winterweizens nach Faktorstufenkombinationen am Versuchsstandort Zeutern (Mittelwert \pm Standardabweichung)

Variante	Azol-Fungizid zur Blüte	Ährentragende Halme [St./m ²]	TKG* [g]	Rohproteingehalt i.d. TM [%]	Ertrag* [dt/ha]	DON [μ g/kg]
HS2	mit	558.3 (\pm 53.5)	44.9 (\pm 2.0)	13.0 (\pm 0.4)	90.1 (\pm 6.2)	243.0 (\pm 112.7)
	ohne	579.3 (\pm 73.1)	44.0 (\pm 2.4)	13.3 (\pm 0.6)	93.3 (\pm 10.4)	209.2 (\pm 73.1)
	Gesamt	568.8 (\pm 62.0)	44.5 (\pm 2.1)	13.1 (\pm 0.5)	91.8 (\pm 8.4)	226.1 (\pm 92.3)
HS2+M	mit	607.7 (\pm 85.1)	44.6 (\pm 1.2)	13.3 (\pm 0.3)	99.7 (\pm 11.3)	66.0 (\pm 84.0)
	ohne	612.3 (\pm 81.1)	43.2 (\pm 1.9)	13.5 (\pm 0.6)	96.8 (\pm 7.3)	106.2 (\pm 73.8)
	Gesamt	610.0 (\pm 79.3)	43.9 (\pm 1.7)	13.4 (\pm 0.5)	98.3 (\pm 9.2)	86.1 (\pm 78.2)
HS3	mit	549.7 (\pm 41.5)	44.5 (\pm 1.4)	13.1 (\pm 0.5)	91.8 (\pm 4.8)	198.5 (\pm 182.2)
	ohne	585.3 (\pm 82.6)	43.7 (\pm 1.6)	13.2 (\pm 0.6)	95.1 (\pm 11.8)	276.3 (\pm 94.9)
	Gesamt	567.5 (\pm 65.0)	44.1 (\pm 1.5)	13.2 (\pm 0.5)	93.4 (\pm 8.7)	237.4 (\pm 144.3)
Gesamt	mit	571.9 (\pm 64.6)	44.7 (\pm 1.5)	13.1 (\pm 0.4)	93.9 (\pm 8.6)	169.2 (\pm 146.8)
	ohne	592.3 (\pm 75.7)	43.6 (\pm 1.9)	13.3 (\pm 0.6)	95.1 (\pm 9.5)	197.2 (\pm 104.9)

*) bei 14% Kornfeuchte

So ergab sich im Durchschnitt, gepoolt über die Varianten des Stroh- und Stoppelmanagements, an den Boniturpunkten mit Ährenabschlussbehandlung ein ca. 1 g höheres Tausendkorngewicht (TKG) als an den Boniturpunkten mit Ährenabschlussbehandlung. Diese Differenz wird vermutlich auf die Kompensationsleistung des Weizens in Folge der geringeren Anzahl von Ähren je Quadratmeter zurückzuführen sein und weniger auf einen Effekt der Ährenabschlussbehandlung. Das höhere TKG ging mit einem etwas geringeren Proteingehalt von durchschnittlich 13,1% gegenüber 13,3% einher. Im Ertrag zeigte sich keine Tendenz zugunsten oder wieder der Ährenabschlussbehandlung. In den Varianten HS2 und HS3 war der Ertrag an den Boniturpunkten ohne Ährenabschlussbehandlung höher, wo hingegen in der Variante HS2+M der Ertrag an den Boniturpunkten mit Ährenabschlussbehandlung höher war. Dies gilt auch für den DON-Gehalt. In den Varianten HS2+M und HS3 war der DON-Gehalt der Proben von Boniturpunkten mit Ährenabschlussbehandlung erwartungsgemäß niedriger. In der Variante HS2 hingegen höher. Das Niveau der DON-Gehalte war jedoch über alle Varianten sehr niedrig und lag in allen Proben weit unter dem laut Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zulässigen Höchstgehalt von 1250 μ g/kg (EUROPÄISCHE UNION 2006).

Im Vergleich der Varianten des Stroh- und Stoppelmanagements erzielte wiederum die Variante HS2+M mit der höchsten Anzahl ährentragender Halme auch den höchsten Ertrag mit durchschnittlich 98,3 dt/ha. Mit durchschnittlich 93,4 dt/ha lag der Ertrag in der Variante HS3 um 4,9 dt/ha niedriger. Für die Variante HS2 wurde ein Ertrag von 91,8 dt/ha ermittelt.

Gleichzeitig erzielten die Pflücker-Varianten HS3 und HS2 etwas geringere Proteingehalte mit 13,2% bzw. 13,1% bei gleichzeitig höherem TKG von 44,1 g bzw. 44,5 g. Demgegenüber wurde in der Mulcher-Variante ein Proteingehalt von 13,4% und ein TKG von 73,9 g ermittelt. Auch der DON-Gehalt war bei erheblicher Streuung in der Mulcher-Variante mit durchschnittlich 86,1 µg/kg niedriger als in den Varianten HS3 mit 226,1 µg/kg und HS2 mit 237,4 µg/kg.

Die Variante HS2+M erzielte somit im Ertrag und auch in der Qualität des Winterweizens bessere Ergebnisse als HS2 und HS3. Wobei der neu entwickelte Erntevorsatz mit integrierter Stoppelzerkleinerung im Ertrag und Proteingehalt etwas besser abschnitt als das Vorgängermodell HS2.

Der Boxplot in Abbildung 93 stellt die Ergebnisse der Messungen des Bodenbedeckungsgrades mit Ernteresten des Körnermaises nach wendender Bodenbearbeitung und Aussaat des Winterweizens am Versuchsstandort Steinheim dar. Wie aus dem Boxplots hervor geht, konnten durch das Pflügen die Erntereste sicher von der Bodenoberfläche entfernt werden. Der Mittlere Bodenbedeckungsgrad lag in allen Varianten unter 1,3%.

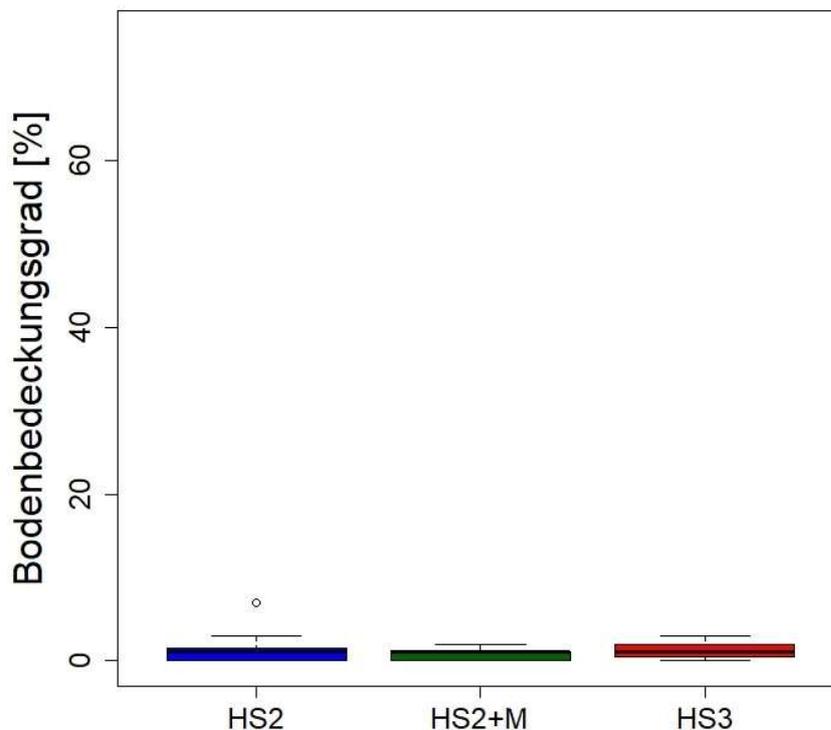


Abbildung 93: Bodenbedeckungsgrad mit Ernteresten des Körnermaises nach wendender Bodenbearbeitung und Bestellung des Winterweizens am Versuchsstandort Steinheim 2018

Nach der Aussaat von 98 kg/ha Waxy Weizen (Dieckmann GmbH & Co. KG) konnte sich auf dem gepflügten Feld ein gleichmäßiger Bestand etablieren. Zum ersten Boniturtermin am 13. November 2018 zeigten sich keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Varianten des Ernterückstandsmanagements (siehe Abbildung 94). An den Boniturstellen hatten sich im Mittel zwischen 134 Triebe/m² (HS2) und 140 Triebe/m² (HS3) entwickelt.

Auch im weiteren Verlauf der Vegetation trat keine nennenswerte Differenzierung der Varianten des Ernterückstandsmanagements auf. Zum zweiten Boniturtermin am 13. März 2019 des Folgejahres, waren an den Boniturstellen im Mittel zwischen 307 Triebe/m² (HS2+M) und 323 Triebe/m² festzustellen.

Bis zum Schossen bestockte sich der Weizen weiter und erreicht zum dritten Boniturtermin 446 Triebe/m² in der Variante HS3, gefolgt von der Variante HS2 mit 449 Trieben/m². Wie auch am Versuchsstandort Zeutern, lag die Anzahl der Triebe zum dritten Boniturtermin in der Mulcher-Variante mit 459 Trieben/m² etwas höher.

Daten zu den Ernteparametern liegen aufgrund eines Hagelschadens nicht vor.

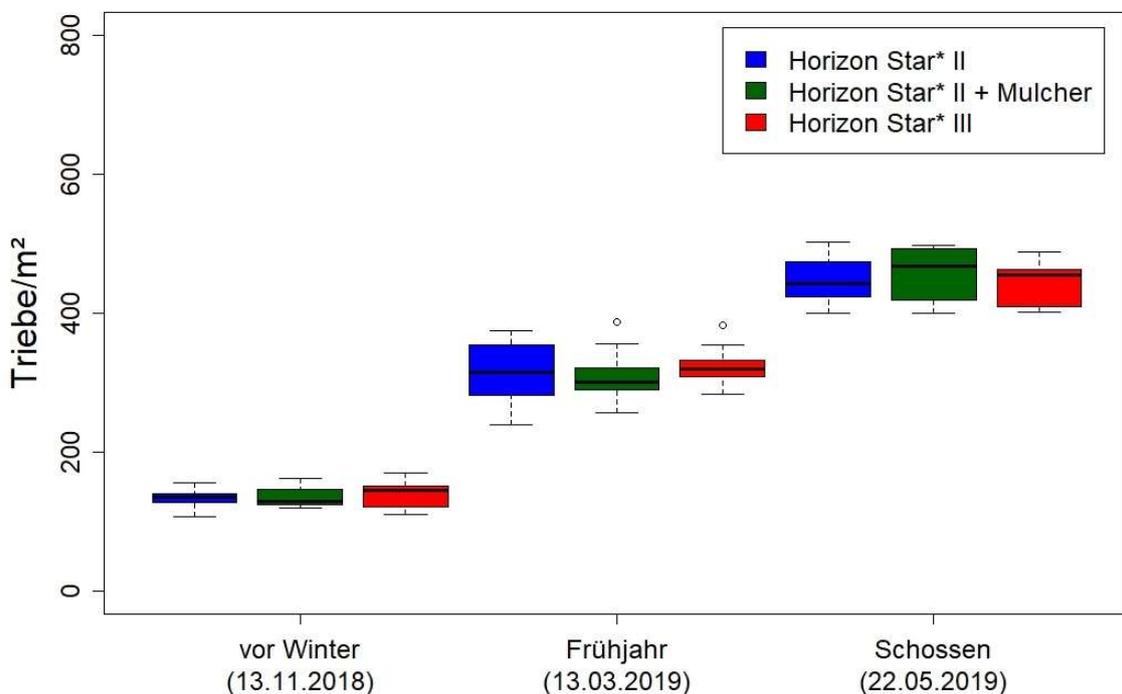


Abbildung 94: Ergebnisse der Zählungen der Weizentriebe am Versuchsstandort Steinheim 2018/19

6.2.2.2 Stettfeld 2019/20

Die Boxplots in Abbildung 95 stellen die Bodenbedeckungsgrade mit Ernteresten des Körnermaises nach der pfluglosen Bestellung des Winterweizens am Standort Stettfeld dar. Mit einem durchschnittlichen Bodenbedeckungsgrad von 36,6% in der Variante HS2+M wurden die Erntereste am intensivsten in den Boden eingemischt. Mit 42,7% erzielte die Variante HS3 einen geringeren mittleren Bodenbedeckungsgrad als die Variante HS2 mit durchschnittlich 46,8 %. Speziell die Varianten HS2 und HS3 differenzieren sich im Bodenbedeckungsgrad stärker, als auf Grundlage der Siebanalyse zu erwarten war. Die Differenzen zur Mulcher-Variante waren hingegen geringer als erwartet (vgl. Kapitel 6.1.2.1.2).

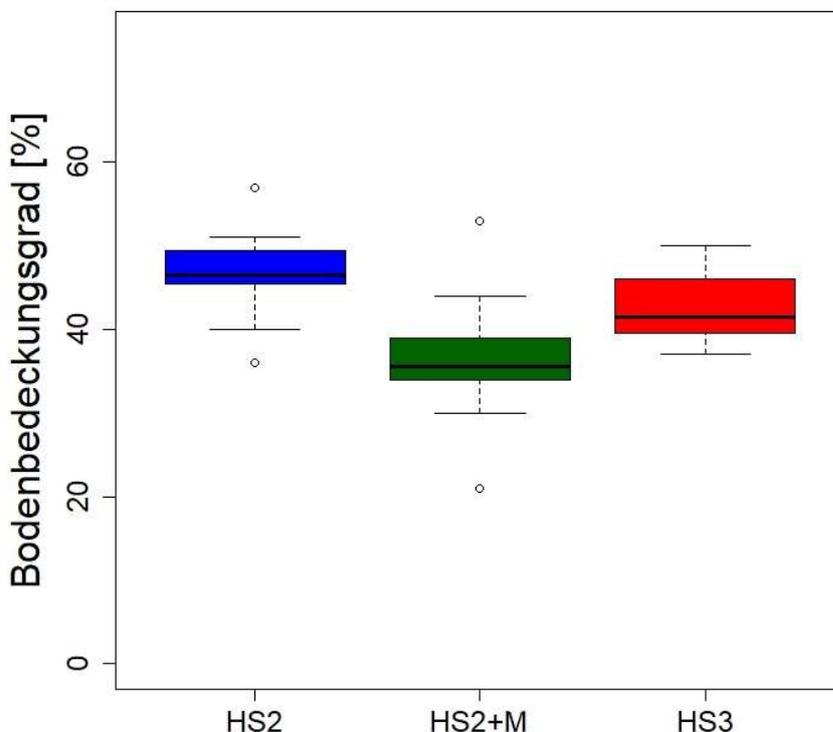


Abbildung 95: Bodenbedeckungsgrad mit Ernteresten des Körnermaises nach der pfluglosen Bestellung des Winterweizens am Versuchsstandort Stettfeld 2019

Die Boniturstellen innerhalb und außerhalb der im weiteren Vegetationsverlauf angelegten Spritzfenster zur Ährenabschlussbehandlung wiesen keine nennenswerte Differenz im Bodenbedeckungsgrad auf. Die Differenzen waren im Mittel kleiner als 2,5%. Die Bedingungen waren vergleichbar.

Der Weizenbestand entwickelte sich trotz der schwierigen Bedingungen zur Aussaat über alle Prüfglieder gleichmäßig. In Abbildung 96 sind die Ergebnisse der vegetationsbegleitenden Triebzählungen dargestellt.

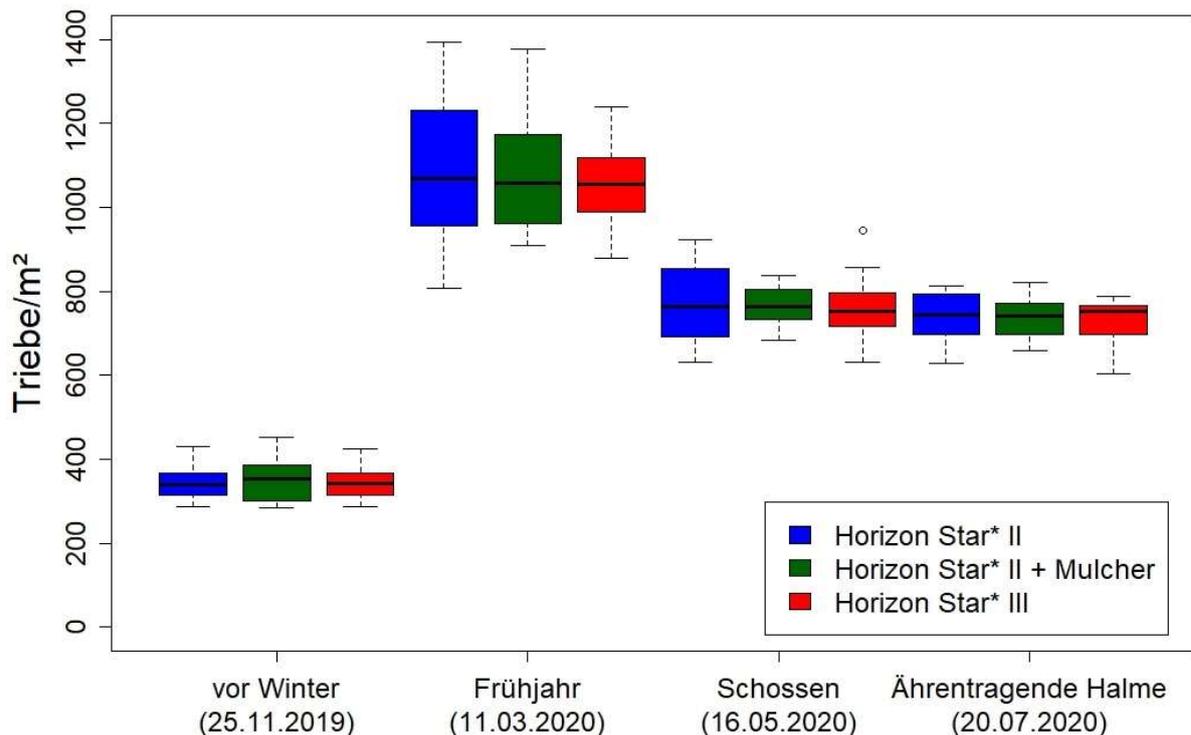


Abbildung 96: Ergebnisse der Zählungen der Weizentriebe am Versuchsstandort Stettfeld 2019/20

Zum ersten Boniturtermin am 25. November 2019 wurden an den Boniturstellen der Varianten HS2 und HS3 jeweils durchschnittlich 344 Triebe/m² gezählt. Mit 352 Trieben/m² war der Feldaufgang in der Mulcher-Variante etwas höher, bei größerer Streuung. Auch im weiteren Verlauf differenzierten sich die Varianten nicht wesentlich voneinander. Zum zweiten Boniturtermin am 11. März betrug die durchschnittliche Anzahl von Weizentrieben über die Varianten zwischen 1058 Triebe/m² (HS3) und 1093 Triebe/m² (HS2).

Zum dritten Boniturtermin zum Ende des Schossens am 16. Mai 2020 hatte der Bestand umfänglich Triebe reduziert. Über die Varianten des Ernterückstandsmanagements zeigte sich weiterhin keine Differenzierung. Von den durchschnittlich 760 Triebe/m² (HS3) bis 773 Triebe/m² (HS2) konnten bis zur Ernte 732 Triebe/m² (HS3) bis 738 Triebe/m² (HS2) eine produktive Ähre hervorbringen.

Die Ertrags- und Qualitätsparameter des Winterweizens vom Standort Stettfeld sind in Tabelle 40 wiedergegeben. Der DON-Gehalt war über alle Prüfglieder sehr gering. Die Weizenproben der 72 Boniturstellen wurden jeweils doppelt analysiert. Von den insgesamt 144 Analysen wiesen lediglich 56 einen DON-Gehalt oberhalb der Bestimmungsgrenze von 10 µg/kg auf. Der höchste Einzelwert betrug 132 µg/kg und lag damit weit unterhalb des Grenzwertes laut Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 von 1250 µg/kg (EUROPÄISCHE UNION 2006). In der Betrachtung der Mittelwerte lässt sich kein einheitlicher Trend für die Wirkung des Fungizideinsatzes ablesen. Für die Variante HS3 ergaben sich die höchsten

mittleren DON-Gehalte. Dies ist dem Auftreten einzelner Ausreißer zuzuschreiben. Die geringsten DON-Gehalte zeigten sich abermals in der Mulcher-Variante, die nur ca. halb so hoch sind wie in der Variante HS2.

Tabelle 40: Ertrags- und Qualitätsparameter des Winterweizens nach Faktorstufenkombinationen am Versuchsstandort Stettfeld (Mittelwert \pm Standardabweichung)

Variante	Azol-Fungizid zur Blüte	Ährentragende Halme [St./m ²]	TKG* [g]	Rohproteingehalt i.d. TM [%]	Ertrag* [dt/ha]	DON [μ g/kg]
HS2	mit	753.5 (\pm 54.3)	40.0 (\pm 1.5)	12.9 (\pm 0.2)	105.0 (\pm 6.3)	8.3 (\pm 13.5)
	ohne	721.8 (\pm 56.2)	40.0 (\pm 1.1)	12.7 (\pm 0.3)	103.0 (\pm 5.5)	9.6 (\pm 12.8)
	Gesamt	737.7 (\pm 56.4)	40.0 (\pm 1.3)	12.8 (\pm 0.2)	104.0 (\pm 5.9)	9.0 (\pm 13.0)
HS2+M	mit	734.5 (\pm 45.1)	40.7 (\pm 1.4)	12.6 (\pm 0.3)	106.8 (\pm 6.1)	4.8 (\pm 10.1)
	ohne	740.2 (\pm 48.7)	40.5 (\pm 1.3)	12.6 (\pm 0.3)	106.7 (\pm 5.7)	5.3 (\pm 8.9)
	Gesamt	737.3 (\pm 46.0)	40.6 (\pm 1.4)	12.6 (\pm 0.3)	106.7 (\pm 5.8)	5.0 (\pm 9.4)
HS3	mit	739.5 (\pm 56.0)	40.4 (\pm 1.3)	12.9 (\pm 0.2)	106.3 (\pm 4.4)	22.6 (\pm 32.7)
	ohne	724.3 (\pm 38.0)	40.1 (\pm 0.9)	12.7 (\pm 0.3)	103.4 (\pm 8.1)	12.8 (\pm 23.6)
	Gesamt	731.9 (\pm 47.4)	40.3 (\pm 1.1)	12.8 (\pm 0.3)	104.8 (\pm 6.5)	17.7 (\pm 28.7)
Gesamt	mit	742.5 (\pm 51.1)	40.4 (\pm 1.4)	12.8 (\pm 0.3)	106.0 (\pm 5.6)	11.9 (\pm 22.3)
	ohne	728.8 (\pm 47.6)	40.2 (\pm 1.1)	12.7 (\pm 0.3)	104.3 (\pm 6.6)	9.2 (\pm 16.4)

*) bei 14% Kornfeuchte

Der höchste durchschnittliche Ertrag wurde mit 106,7 dt/ha in der Mulcher-Variante ermittelt. Mit durchschnittlich 104,8 dt/ha war der Ertrag in der Variante des neuen Erntevorsatzes HS3 1,9 dt/ha geringer. Ein Ertrag von 104,0 dt/ha wurde in der Variante HS2 ermittelt. Angesichts einer Standardabweichung von 5,8 dt/ha bis 6,5 dt/ha lässt sich kein eindeutiger Trend ableiten. Gleiches gilt für die Proteingehalte zwischen 12,8% in den Pflücker-Varianten und 12,6% in der Mulcher-Variante. Das TKG war mit 40,6 g in der Mulcher-Variante geringfügig höher als in der Variante HS3 mit 40,3 g und HS2 mit 40,0 g.

6.2.3 Diskussion der Ergebnisse

Auf Basis der zweijährigen Versuchsergebnisse ist eine abschließende und gesicherte Bewertung der Wirkung der erprobten Verfahren des Ernterückstandsmanagements auf die Ertrags- und Qualitätsparameter der Folgefrucht Winterweizen nicht möglich. Es lassen sich lediglich Tendenzen ableiten.

In beiden Versuchsjahren wurden nur sehr geringe DON-Gehalte ermittelt. Eine eindeutige Wirkung des Fungizideinsatzes zeigte sich nicht. Gründe hierfür könnten ein geringes Inokulum aber vor allem witterungsbedingt schlechte epidemische Entwicklungs-

bedingungen für die DON produzierenden Fusarium Arten gewesen sein. Dennoch ergaben sich an den Standorten Zeutern und Stettfeld die niedrigsten DON-Gehalte in der Mulcher-Variante, die zwischen 44% und 62% niedriger waren als die Pflücker-Variante mit dem nächst höheren mittleren DON-Gehalt. SCHNEIDER und LENZ (2017: 9) berichten ebenfalls von einer Reduktion des DON-Gehaltes durch Mulchen von 50% nach pflugloser Bestellung. Ebenso konnten KIRCHMEIER und DEMMEL (2008: 151) eine Minderung der DON-Gehalte durch das Mulchen feststellen. In den Versuchen von GROSA et al. (2016: 30) konnte keine Minderung nachgewiesen werden. Auch in diesen Versuchen zeigten sich nur sehr niedrige DON-Gehalte

Für die Mulcher-Variante wurde zusätzlich an den Versuchsstandorten Zeutern und Stettfeld ein im Vergleich erhöhter Ertrag festgestellt. Im Tausendkorngewicht und dem Proteingehalt zeigte sich kein einheitlicher Trend über die Standorte und Varianten.

6.3 Untersuchungen zum Leistungsbedarf und Kraftstoffverbrauch

Durch die zusätzliche Funktion der Stoppelzerkleinerung ist der Leistungsbedarf des HS3 im Vergleich zu Standard Maispflückern erhöht. Ursächlich hierfür sind das Zerschlagen der Maisstoppeln, die verringerte Schnitthöhe sowie ein erhöhter Luftwiderstand durch die Schlegel in Form einer stumpfen Abkantung am Ende der Hybridmesser. Die Folge sind ein höherer Kraftstoffaufwand und eine höhere Motorauslastung des Mähdreschers während der Ernte. Um eine hohe Akzeptanz des neuen Verfahrens zu erreichen, muss dennoch weiterhin eine akzeptable Flächenleistung erreichbar sein. Zudem besteht das Potential gegenüber dem zweistufigen Arbeitsverfahren, d.h. der Ernte mittels Standardvorsatzgerät und anschließender Bearbeitung der Erntereste durch einen traktorbetriebenen Schlegelmulcher, Kraftstoff einzusparen.

Um diese Effekte zu untersuchen, wurden zum Einen anteilig während der Versuche zur Aufbereitungsqualität der Erntereste und zum Anderen im gezielten Versuch am Standort Beesen, Leistungsparameter auf dem Mähdrescher und teils auf dem Traktor mit Mulchgerät aufgezeichnet.

6.3.1 Beesen (2021): Einfluss des Messerdesigns, der Geschwindigkeit und der Schnitthöhe auf den Leistungsbedarf, den Kraftstoffverbrauch und die Motorauslastung

Ziel des Versuches am Standort Beesen (Nordrhein-Westfalen) war die Untersuchung der Einflüsse des Messerdesigns (Standard-/ Hybridmesser), der Schnitthöhe und Geschwindigkeit auf die Leistungsaufnahme des Erntevorsatzes, sowie den Kraftstoffverbrauch und die Motorauslastung des Mähdreschers. Um eine separate Betrachtung der Leistungsaufnahme der Horizontalhäcksler in weiteren Schritten der Auswertung zu ermöglichen, wurde zusätzlich eine Variante mit ausgekuppelten Horizontalhäckslern umgesetzt. Zum Zeitpunkt dieses Berichtes ist die Auswertung der am Versuchsstandort Beesen gewonnenen Daten als gemischtes Modell unter Berücksichtigung der zwei- und dreifach Interaktionen noch nicht abgeschlossen. Die finalen Ergebnisse werden an geeigneter Stelle nach Projektende publiziert (siehe Kapitel 8). Vor diesem Hintergrund beschränken sich die im Folgenden deskriptiv dargestellten Ergebnisse auf praxisrelevanten Differenzen zwischen Standard- und Hybridmesser.

6.3.1.1 Material und Methoden

Der Versuch wurde am 13. Oktober 2021 durchgeführt. Der Maisbestand präsentierte sich gleichmäßig mit durchschnittlich 8,7 Pflanzen/m². Nach einem Regenschauer am Vortag waren die Pflanzen noch nicht vollständig abgetrocknet. Zu Abschätzung der Biomasse wurden im Anschluss an die Ernte an vier Positionen Proben der Erntereste von jeweils 3 m² entnommen und verwogen. Zur Ermittlung des Trockensubstanzgehalts wurden zusätzlich in jeder Großspalte der Versuchsanlage zwei Proben von 500 g bis 600 g entnommen und im Trockenschrank getrocknet.

6.3.1.1.1 Versuchsanlage und -durchführung

Für den Versuch am Standort Beesen wurde der gleiche 8-reihige HS3 verwendet, wie in den Versuchen zur Aufbereitungsqualität der Erntereste. Der Erntevorsatz kam in Verbindung mit einem Mähdrescher des Typs Claas Lexion 760 TT zum Einsatz. Verglichen wurden drei Werkzeugkonfigurationen, die durch den Wechsel zwischen Standard-HS2-Messern und Hybridmessern, sowie durch das Auskuppeln der Häcksler nacheinander realisiert wurden. Die drei Konfigurationen des Maispflückers wurden bei vier Geschwindigkeitsstufen von 1,5 km/h bis 6 km/h sowie vier Schnitthöhen zwischen 12 cm und 31 cm getestet. Abbildung 97 stellt die insgesamt 48 Faktorstufenkombinationen dar.



Abbildung 97: Faktorstufenkombinationen am Versuchsstandort Beesen 2021

Der Versuch wurde in einer dreifaktoriellen Versuchsanlage mit hierarchischer Randomisierung (Split-Split-Plot Design) und drei vollständigen Blocks umgesetzt. Insgesamt umfasste die Versuchsanlage 144 Parzellen. Der schematische Aufbau ist in Abbildung 98 dargestellt.

Jeder der vier Blocks umfasste vier Großspalten, denen die vier Schnitthöhen-Stufen zufällig zugeordnet waren. Jede Großspalte beinhaltete drei Kleinspalten denen wiederum die drei Maispflücker-Konfigurationen zufällig zugeordnet waren. Die Länge der Kleinspalten betrug ca. 175 m bei einer Breite von 6 m, entsprechend der Arbeitsbreite des Erntevorsatzes. Jede Kleinspalte umfasste vier Parzellen mit einer Länge von 25 m und einem Abstand zueinander von 15 m. Den jeweils vier Parzellen innerhalb einer Kleinspalte wurden die vier Geschwindigkeitsstufen zufällig zugeordnet. Der Abstand von 15 m

zwischen den Parzellen diente der Anpassung der Geschwindigkeit entsprechend des Randomisierungsplan.

Die Durchführung des Versuches erfolgte in zwei Phasen. In der ersten Phase wurden die zwei Schnitthöhen-Speicher des Mähreschers für die ersten zwei Schnitthöhen-Stufen voreingestellt. Mit unveränderten Einstellungen der Schnitthöhen-Stufen 1 und 2 wurden durch Wechsel der Werkzeuge an den Horizontalhäckslern bzw. durch das Auskuppeln der Horizontalhäckslern nacheinander die korrespondierenden Kleinspalten beerntet. Dabei wurde die Geschwindigkeit entsprechend des Randomisierungsplans für die Parzellen durch Einstellung des Tempomaten angepasst. Für die zweite Phase wurden die Schnitthöhen-Speicher entsprechend für die Schnitthöhen-Stufen 3 und 4 voreingestellt und die verbliebenen Kleinspalten nach gleichem Vorgehen beerntet.

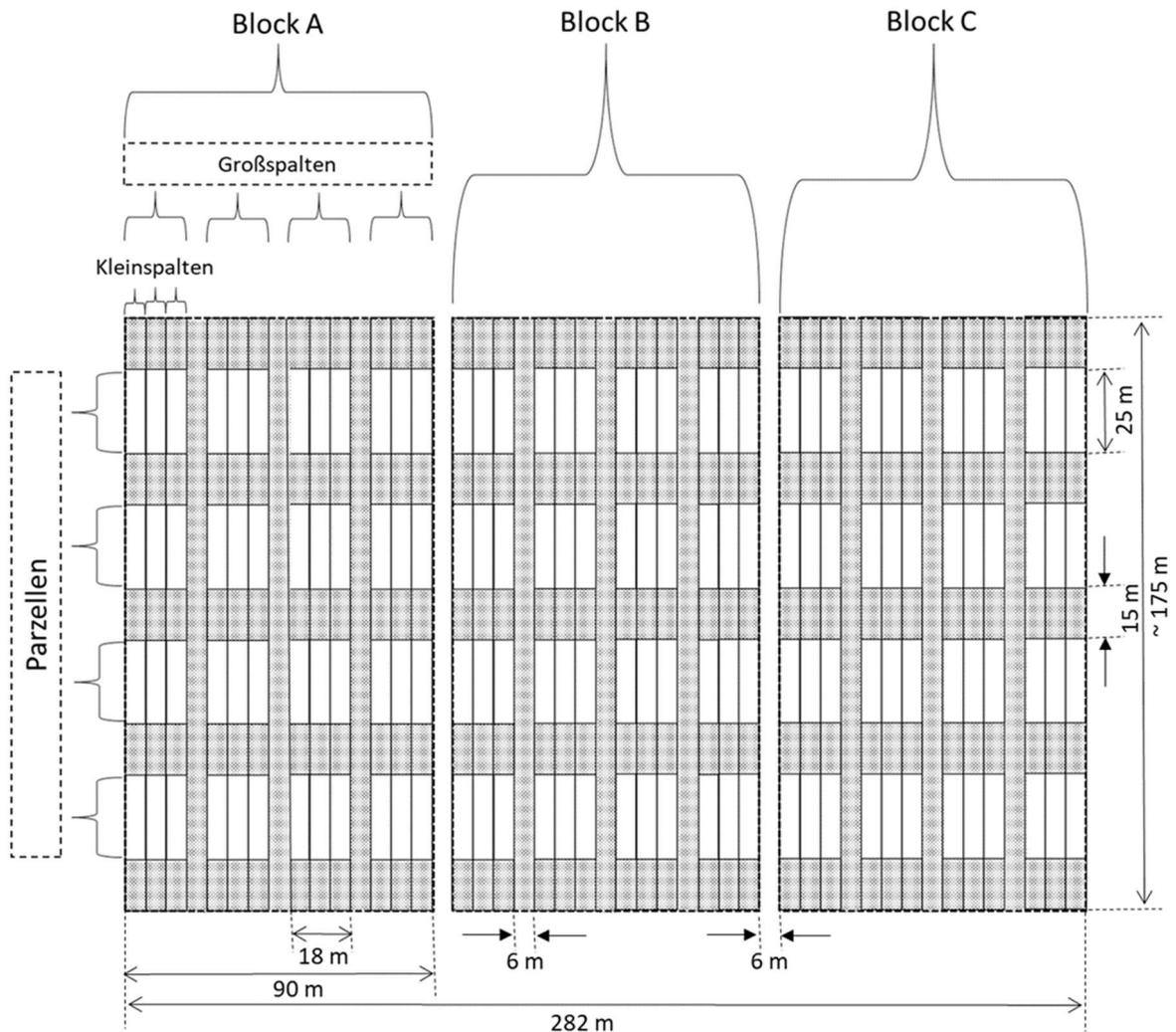


Abbildung 98: Schematische Darstellung der Versuchsanlage am Standort Beesen 2021

Durch das gewählte Vorgehen konnte eine immer gleiche Einstellung der Schnitthöhe für alle Kombinationen von Geschwindigkeit und Maispflücker-Konfiguration gewährleistet

werden. Die in Abbildung 97 angegebenen Schnitthöhen beziehen sich auf die durchschnittliche Stoppelhöhe innerhalb der Parzellen bei Verwendung der Standard-HS2-Messer (ohne Schlegel). Die Hybridmesser des HS3 haben eine identische Schnittebene, fasn die Stoppeln jedoch auf und schlagen zusätzlich Teile ab. Entsprechend werden bei gleicher Schnitthöheneinstellung regelmäßig niedrigere Stoppelhöhen gemessen. Bei ausgekuppelten Horizontalhäckslern werden hingegen um ca. 18 cm bis 20 cm höhere Reststoppen zurückgelassen. Die Ermittlung der tatsächlich realisierten Schnitthöhe erfolgte durch Messung der Reststoppelhöhen an jeweils fünf Stoppeln je Parzelle nach erfolgter Ernte (insgesamt 720 Messungen; siehe Tabelle 42).

6.3.1.1.2 Messtechnik

Zur Erfassung der relevanten Parameter und Betriebszustände wurde die Erntemaschine mit einem CAN-Bus basierten Messsystem ausgestattet. Zur Messung der Leistungsaufnahme des Erntevorsatzes wurden je Maschinenseite eine Drehmoment- und Drehzahlmessnabe des Typs NCTE Serie 7000 bzw. Serie 5000 zwischen den Seitengetrieben des Maispflückers und den vom Schrägförderer kommenden Gelenkwellen verbaut. Die Messwerte wurden als CAN-Botschaft mit einer Frequenz von 100 Hz an den zentralen Datenlogger des Typs Proemion CANlogger 5002 übermittelt. Parallel wurden die Positionssignale der insgesamt fünf Bodentastbügel an den Datenlogger gesendet. Vom CAN-Bus des Mähdreschers wurden unter anderem die Signale zum Kraftstoffverbrauch, der Motordrehzahl, Motorauslastung (prozentuale Ausnutzung des Nenndrehmoments) und Geschwindigkeit sowie zu den Soll- und Ist-Werten der Position des Vorsatzgerätes abgegriffen. Zur Georeferenzierung der Messwerte kam ein GPS-System des Typs Trimble AgGPS 372 mit RTK-Korrektursignal zum Einsatz, das Position, Geschwindigkeit und Höhe an den zentralen Datenlogger übermittelte.

Die GPS-Positionsdaten wurden zusätzlich an einen in der Kabine des Mähdreschers installierten Tablet-Computer übertragen. Die Position der Erntemaschine wurde in Echtzeit auf dem mittels Esri ArcGIS Pro 2.9.0 erstellten Versuchsplan in Google Earth Pro visualisiert, um innerhalb der Kleinspalten die positionsgenaue Anpassung der Geschwindigkeit für die Parzellen vorzunehmen.

6.3.1.1.3 Datenaufbereitung

Der erzeugte Datensatz umfasste insgesamt 53 Signale von denen für weitere Auswertungsschritte 17 Signale als potenziell relevante Ziel- und Einflussgrößen, sowie weitere 13 Signale als potenziell relevante Randparameter identifiziert wurden. Im ersten Schritt erfolgte über die GPS-Position, die Geschwindigkeit und die Zeitstempel, die Zuordnung der Parzellennummern zu den Rohdaten. Die Ziel- und Einflussgrößen lagen in

Frequenzen zwischen ca. 4 Hz und 100 Hz vor. Im zweiten Schritt erfolgte ein Down-/Resampling der Datenkanäle auf monoton steigende Zeitkanäle mit 4 Hz. Zur Erzeugung eines konsistenten Datensatzes erfolgte im dritten Schritt die lineare Abbildung aller relevanten Signale auf einen gemeinsamen Zeitkanal mit 4 Hz. Die Attribute für die jeweiligen Faktorstufen und Blocks wurden angefügt, Daten außerhalb der Parzellen entfernt. Über das Drehmoment und die Drehzahl erfolgte die Berechnung der Leistungsaufnahme der linken und rechten Maschinenhälften sowie der Gesamtleistungsaufnahme des Maispflückers. Somit stand ein konsistenter Datensatz mit einer Frequenz von 4 Hz über alle Parzellen zur Verfügung. In Abhängigkeit von der Erntegeschwindigkeit umfasste der Datensatz zwischen 56 und 160 Messwerte je Parzelle eines jeden Signals.

6.3.1.2 Ergebnisse

Zum Zeitpunkt der Ernte betrug der TM-Gehalt der Erntereste durchschnittlich 32,2%. Nach der Ernte verblieben eine Ernteresteauflage von ca. 9,1 t TM/ha bzw. 28,2 t FM/ha auf dem Feld. Daraus ergeben sich die in Tabelle 41 dargestellten Schätzungen der Durchsätze in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit. Je nach Schnitthöhe variieren die tatsächlichen Durchsätze etwas.

Tabelle 41: Geschwindigkeitsabhängiger Durchsatz am Standort Beesen

Geschwindigkeit [km/h]	Durchsatz [t TM/ha]	Durchsatz [t FM/ha]
1.5	8.2	25.4
3	16.4	50.8
4.5	24.6	76.1
6	32.8	101.5

In Tabelle 42 sind die realisierten Reststoppelhöhen in Abhängigkeit von der Konfiguration des Maispflückers wiedergegeben.

Tabelle 42: Reststoppelhöhen in Abhängigkeit von der Schnitthöhen-Stufe und der Konfiguration des Maispflückers am Standort Beesen

Schnitthöhen- Stufe	Gesamthöhe/ massiver Anteil der Reststoppeln [cm]	
	Standardmesser	Hybridmesser
1	11.9 / 11.3	11.1 / 6.8
2	16.5 / 15.6	14.8 / 10.1
3	22.0 / 20.9	22.0 / 17.0
4	30.9 / 30.0	31.1 / 26.8

Trotz identischer Schnittebene, kommt das Auffasern der Stoppeln durch die Hybridmesser in kürzeren massiven Stoppelsegmente im Vergleich zum Standardmesser zum Ausdruck.

In Abbildung 99 ist die mittlere Leistungsaufnahme des 8-reihigen Erntevorsatzes in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und den verwendeten Werkzeugen für die Stufen der Schnitthöhe dargestellt.

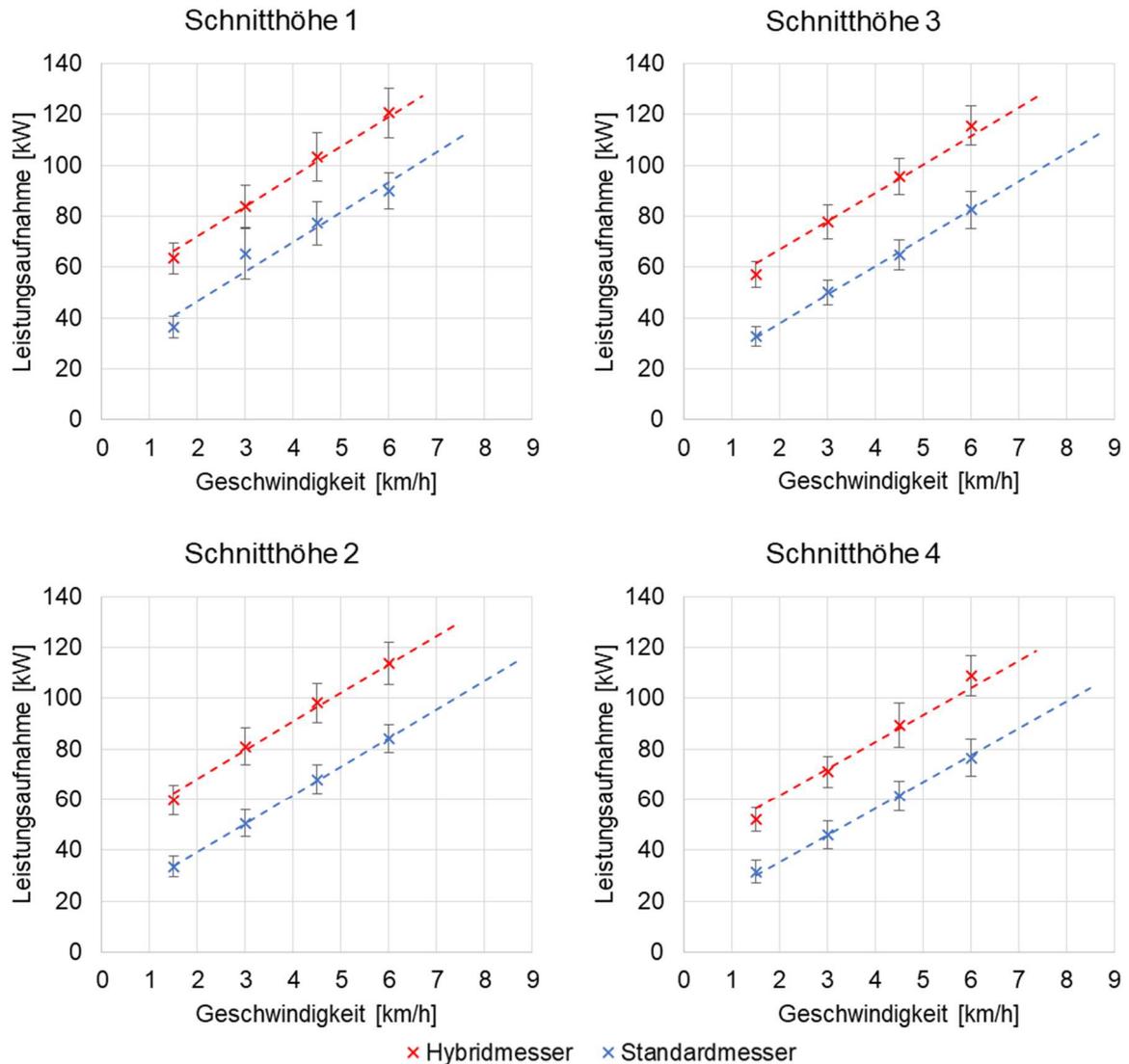


Abbildung 99: Mittelwerte (\pm Standardabweichung) und Trends der Leistungsaufnahme des Erntevorsatzes in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und dem Werkzeugtyp für die Stufen der Schnitthöhe am Versuchsstandort Beesen

Die vergleichsweise hohe Restfeuchte der Maispflanzen sorgte für eine hohe mittlere Leistungsaufnahme des Erntevorsatzes. Bei Verwendung der Hybridmesser wurde bei tiefster Schnitthöheneinstellung und einer Geschwindigkeit von 6 km/h eine mittlere Leistungsaufnahme von 120,5 kW gemessen. Bei Verwendung der Standardmesser belief sich die Leistungsaufnahme auf 90 kW. Die Differenz zwischen den Werkzeugvarianten

stellt die benötigte Mehrleistung zur Auffaserung der Maisstoppeln durch den stumpfen Schlegel am Ende des Hybridmessers dar. Die Leistungsaufnahme des Erntevorsatzes steigt proportional zur Geschwindigkeit. Lediglich in der Schnitthöhen-Stufe 1 und der Geschwindigkeit von 3 km/h zeigte sich in der Variante mit Standardmessern eine stärker nach oben vom Trend abweichende Leistungsaufnahme. Dies sorgt im Mittel über die Geschwindigkeit innerhalb der Schnitthöhen-Stufe 1 für eine etwas geringere Differenz in der Leistungsaufnahme zwischen den Varianten. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes ist im Mittel von einem zusätzlichen Leistungsbedarf von 28 kW bis 29 kW der Hybridmesser gegenüber der Standardmesser bei gleicher Schnitthöhe auszugehen.

Unter Praxisbedingungen ist der Einsatz der Hybridmesser nur in der niedrigsten Schnitthöheneinstellung sinnvoll, um den gewünschten Effekt der Stoppelzerkleinerung zu erzielen. Der zusätzliche Leistungsbedarf hängt somit davon ab, in welcher Höhe alternativ mit Standardmessern gearbeitet werden würde. Bei einer Geschwindigkeit von 6 km/h beträgt die gemessene Leistungsdifferenz der Hybridmesser in der Schnitthöhen-Stufe 1 gegenüber der Standardmesser in der Schnitthöhen-Stufe 1 ca. 30,6 kW, in der Schnitthöhen-Stufe 2 ca. 36,5 kW, in der Schnitthöhen-Stufe 3 ca. 39,0 kW und in der Schnitthöhen-Stufe 4 ca. 43,9 kW. Bei niedrigeren Geschwindigkeiten fallen die Leistungsdifferenzen hingegen geringer aus. Mit zunehmender Schnitthöhe sinkt der Effekt der Geschwindigkeit auf die Leistungsaufnahme (geringere Steigung) d.h. es besteht eine Wechselwirkung zwischen Schnitthöhe und Geschwindigkeit, wobei der Einfluss der Schnitthöhe auf die Leistungsaufnahme nicht linear ist. Dies gilt es in der weiteren Auswertung näher zu untersuchen.

Die erhöhte Leistungsaufnahme des Erntevorsatzes bei Verwendung der Hybridmesser schlägt sich entsprechend auf die Motorauslastung des Mähdreschers nieder (siehe Abbildung 100). Auch hier zeigt sich der Ausreißer in der Schnitthöhenstufe 1 der Variante mit Standardmessern bei 3 km/h. Bei gleicher Geschwindigkeit und Schnitthöhe ergibt sich eine mittlere Differenz der Motorauslastung zwischen den Werkzeugformen von ca. 14,5% (9,9-18,2%). Damit würde der Mähdrescher bei gleicher Schnitthöhe und Motorauslastung bei Verwendung der Standardmesser ca. 1,1 km/h bis 1,2 km/h schneller fahren, bzw. bei der Arbeitsbreite von 6 m eine um ca. 0,66 ha/h bis 0,72 ha/h höhere Flächenleistung erreichen.

In der Schnitthöhen-Stufe 1 bei 6 km/h betrug die Motorauslastung bei Verwendung der Hybridmesser durchschnittlich 82,8% und bei Verwendung der Standardmesser 67,5%. Somit wurde an diesem Versuchsstandort weder in der Variante mit Standardmessern noch in der Variante mit Hybridmessern bei 6 km/h die Leistung des Mähdreschers (sowie des Vorsatzantriebes des Mähdreschers; vgl. Abbildung 99) vollständig ausgeschöpft. Unter der

Annahme, dass eine mittlere Motorauslastung von 90% zu erreichen ist, hätte mit den Hybridmessern in der Schnitthöhen-Stufe 1 eine Geschwindigkeit von theoretisch ca. 6,7 km/h erreicht werden können. Bei Verwendung der Standardmesser in der Schnitthöhen-Stufe 1 wären ca. 7,6 km/h möglich. In den übrigen Schnitthöhen-Stufen wären theoretisch ca. 8,5 km/h bis 8,7 km/h zu erreichen gewesen. Somit wäre mit den Standardmessern je nach Schnitthöhe eine um ca. 0,5 ha/h bis 1,2 ha/h höhere Flächenleistung unter diesen Bedingungen möglich.

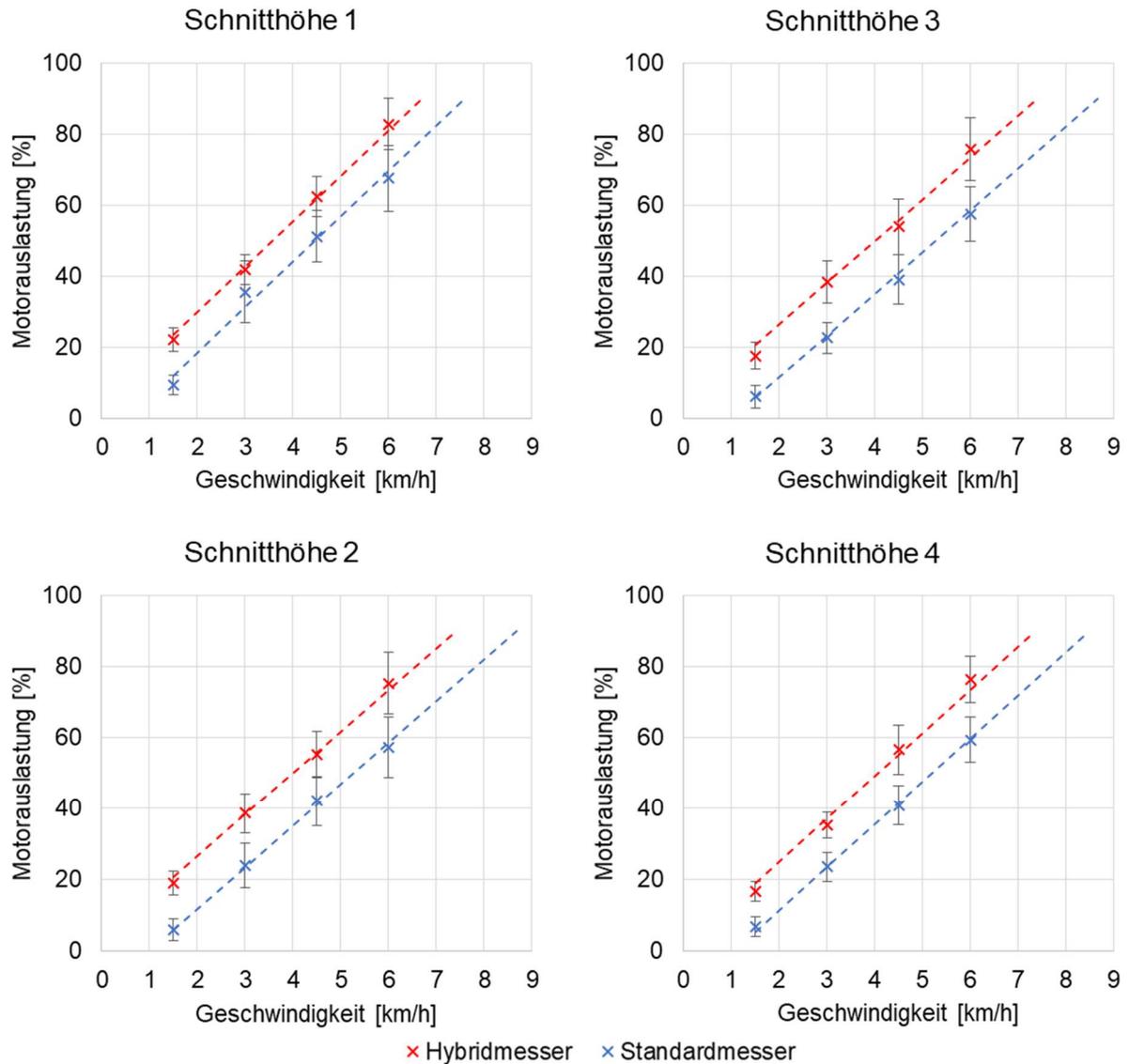


Abbildung 100: Mittelwerte (\pm Standardabweichung) und Trends der Motorauslastung des Mähdeschers in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und dem Werkzeugtyp für die Stufen der Schnitthöhe am Versuchsstandort Beesen

In Abbildung 101 ist der flächenbezogene Kraftstoffverbrauch des Mähdeschers während der Ernte in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Werkzeugform für die Schnitthöhen-Stufen dargestellt. Wie anhand der Motorauslastung zu erwarten war, zeigten sich keine großen Unterschiede zwischen den Kraftstoffverbräuchen in den Schnitthöhenstufen 2 bis 4. Lediglich in der Schnitthöhen-Stufe 1 waren die Kraftstoffverbräuche etwas höher.

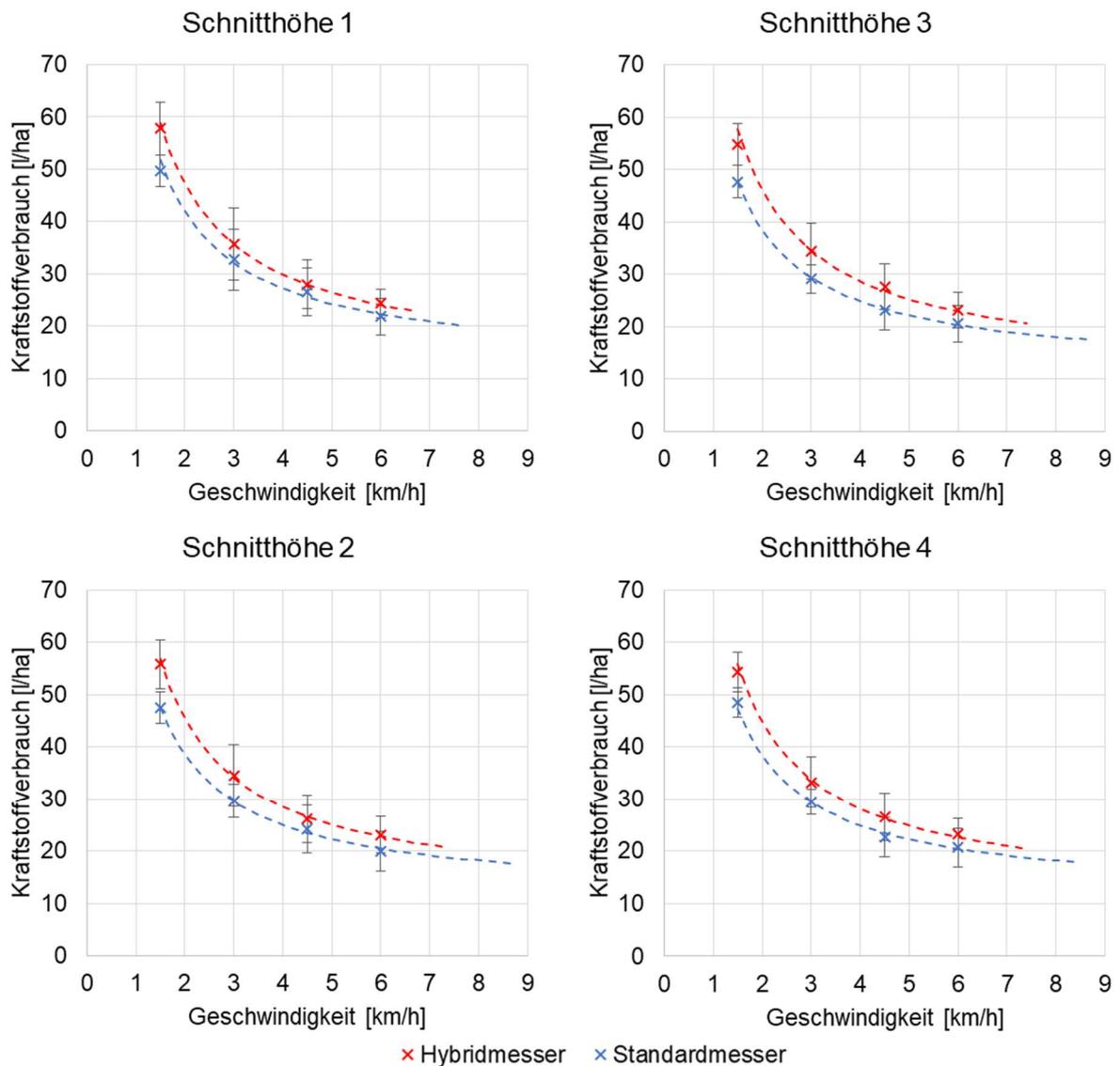


Abbildung 101: Mittelwerte (\pm Standardabweichung) und Trends des Kraftstoffverbrauches des Mähdeschers in Anhängigkeit von der Geschwindigkeit und dem Werkzeugtyp für die Stufen der Schnitthöhe am Versuchsstandort Beesen

Mit steigender Geschwindigkeit, d.h. mit steigender Flächenleistung sinkt die Differenz im Kraftstoffverbrauch zwischen den Werkzeugformen Standard- und Hybridmesser bei gleicher Schnitthöhe deutlich. In den Schnitthöhen-Stufen 1, 3 und 4 betrug die

Mittelwertdifferenz 2,6 l/ha. Lediglich für die Schnitthöhen-Stufe 3 ergab sich eine etwas höhere Differenz der Mittelwerte von 3,2 l/ha.

In der Fortschreibung der Trends bis zu einer mittleren Motorauslastung von 90% und der korrespondierenden Geschwindigkeiten ergäbe sich in der Schnitthöhen-Stufe 1 eine Differenz von 2,6 l/ha zwischen den Werkzeugvarianten. Beim weiteren Vergleich der Hybridmesser in der Schnitthöhen-Stufe 1 gegenüber der Standardmesser in den Schnitthöhenstufen 2-4 ergeben sich durch die höhere Flächenleistung Differenzen von 5,0 l/ha bis 5,4 l/ha.

6.3.2 Leistungsdaten aus den Versuchen zur Aufbereitungsqualität der Erntereste

An den Versuchsstandorten Stettfeld, Bückeberg, Kraichtal und Timmaspe wurden während der Versuche zur Aufbereitungsqualität der Erntereste anteilig Leistungsdaten vom Mähdrescher und Erntevorsatz erfasst. Die an den jeweiligen Standorten herrschenden Bedingungen, realisierten Stoppelhöhen und Intensitäten in der Strohzerkleinerung sind den Kapiteln 6.1 und 6.2 zu entnehmen. Tabelle 43 gibt die Mittelwerte der Leistungsparameter wieder.

Am Versuchsstandort Stettfeld wurde der HS3 in Folge technischer Probleme bei der Höhenführung in nahezu identischer Schnitthöhe gefahren, wie der HS2. Unter diesen Bedingungen lassen sich die Differenzen der Leistungsparameter im Vergleich der Maispflücker HS2 und HS3 auf das Messerdesign zurückführen und sind nicht durch den Effekt der flacheren Schnitthöhe des HS3 beeinflusst. Zur Messung der Antriebsleistung des Erntevorsatzes wurde eine Kraftmessnabe des Typs NCTE Serie 7000 eingesetzt, deren Messwerte zu Drehzahl und Drehmoment gemeinsam mit den CAN-Botschaften des Mähdreschers sowie eines EGNOS-korrigierten GPS-Systems auf einem zentralen Datenlogger des Typs Vector GL 1000 aufgezeichnet wurden. Der zusätzliche Leistungsbedarf für die Hybridmesser betrug ca. 22 kW für acht Reihen bei einer Geschwindigkeit von ca. 6 km/h. Der Kraftstoffverbrauch des Mähdreschers war in Verbindung mit dem HS3 mit 16,4 l/ha (ohne Berücksichtigung von Wendevorgängen) ca. 2,3 l/ha höher als bei der Ernte mittels HS2.

Tabelle 43: Mittlere Leistungsdaten der Erntevorsätze und Mähdrescher aus den Versuchen zur Aufbereitungsqualität der Erntereste

Versuchsstandort	Stettfeld		Bückeberg	Kraichtal		Timmaspe	
	HS3	HS2	HS3	HS3	HS2	HS3	HS2
Maispflücker	HS3	HS2	HS3	HS3	HS2	HS3	HS2
Geschwindigkeit [km/h]	6.1	6.2	5.9	5.9	6.0	6.0	6.2
Mittlerer Leistungsbedarf [kW]	106.2	84.3	125.0	-	-	114.4	-
Kraftstoffverbrauch [l/h]	60.3	52.2	67.6	58.6	53.0	79.3	75.5
Kraftstoffverbrauch [l/ha]	16.4	14.1	19.1	16.5	14.7	22.2	20.4
Motorauslastung	-	-	-	56.1	51.1	72.2	69.1

Am Versuchsstandort Kraichtal ergaben sich ähnliche Kraftstoffverbräuche wie am Standort Stettfeld. In Kraichtal erfolgte die Aufnahme der Leistungsdaten mittels eines Telemetriemoduls Exatrek T2 (EXA Computing GmbH). Die Differenz im Kraftstoffverbrauch betrug 1,8 l/ha bei vergleichbarer Erntegeschwindigkeit.

An den nördlichen Versuchsstandorten Bückeberg und Timmaspe war der Leistungsbedarf durch das deutlich feuchtere Maisstroh höher. Hier wurden im Mittel 125 kW bzw. 114 kW zum Antrieb des HS3 bei ca. 6 km/h benötigt. Die Differenz im Kraftstoffverbrauch zwischen HS3 und HS2 war am Versuchsstandort Timmaspe mit 1,8 l/ha vergleichbar mit den Ergebnissen aus Süddeutschland.

An den Versuchsstandorten Bückeberg, Kraichtal und Timmaspe wurden zusätzlich die Geschwindigkeit und der Kraftstoffverbrauch der Traktoren beim Mulchen mittels Exatrek T2 erfasst. Die Ergebnisse sind in Tabelle 44 dargestellt.

Mit einsetzendem Regen am Standort Bückeberg kam der eingesetzte Traktor beim Mulchen des feuchten Maisstrohs an die Leistungsgrenze und erreichte nur eine Geschwindigkeit von konstant 3,4 km/h. Die schwierigen Bedingungen resultierten in einem hohen Kraftstoffverbrauch von 13,5 l/ha.

Am Versuchsstandort Kraichtal konnte die angestrebte Geschwindigkeit von 8 km/h beim Mulchen unter trockneren Bedingungen hingegen erreicht werden. Die Mulcher-Kombination mit Y-Messern erforderte im Durchschnitt 6,8 l/ha Diesel zur Bearbeitung der Ernterückstände nach vorangegangener Ernte mittels HS2.

Der Fendt 936 Vario mit Sauerburger Schlegelmulcher und Hammerschlegeln konnte am Versuchsstandort Timmaspe bei feuchtem Maisstroh nicht in jeder Parzelle die angestrebte Geschwindigkeit von 8 km/h erreichen. Der Kraftstoffaufwand belief sich auf 9,6 l/ha

Tabelle 44: Geschwindigkeiten und Kraftstoffverbräuche der Traktoren beim Mulchen an den Versuchsstandorten Bückeberg, Kraichtal und Timmaspe

Standort	Bückeberg	Kraichtal	Timmaspe
Erntevorsatz	HS2	HS2	HS2
Traktor und Mulcher	Fendt 516 Vario Müthing (Front/Heck)	Fendt 828 Vario Sauerburger Pegasus (Front/Heck)	Fendt 936 Vario Sauerburger Pegasus (Front/Heck)
Effektive Arbeitsbreite	4.8	9.35	9.35
Werkzeugform	Hammerschlegel	Vario Y-Messer	Hammerschlegel
Geschwindigkeit [km/h]	3.4	8.0	7.4
Kraftstoffverbrauch [l/h]	22.1	50.9	65.7
Kraftstoffverbrauch [l/ha]	13.5	6.8	9.6

In der Bewertung der Gesamtverfahren, d.h. HS2 und Mulcher gegenüber HS3 an den Standorten Kraichtal und Timmaspe, benötigte das Verfahren HS3 zwischen 5 l/ha und 7,8 l/ha weniger Kraftstoff als die absätzigen Verfahren.

6.3.3 Diskussion der Ergebnisse

Durch die zusätzliche Funktion der Stoppelzerkleinerung ist der Leistungsbedarf des HS3 im Vergleich zum Standarderntevorsatz HS2 zwangsläufig erhöht. Unter herausfordernden Erntebedingungen, d.h. bei hoher Restfeuchte der Pflanzen, benötigte der HS3 bei 6 km/h an den Versuchsstandorten Bückeberg und Timmaspe eine Antriebsleistung von 125,0 kW bzw. 114,4 kW. Diese Ergebnisse passen zu den Messungen am Versuchsstandort Beesen, die unter ähnlichen Bedingungen erfolgten. Hier benötigte der HS3 120,5 kW bei niedrigster Schnitthöheneinstellung und 6 km/h. Unter gleichen Bedingungen war die Leistungsaufnahme bei Verwendung von Standardmessern 30,6 kW niedriger. Der zusätzliche Leistungsbedarf für die Zerkleinerung der Maisstoppeln belief sich somit auf 5,1 kW/m Arbeitsbreite. Bei etwas längeren Reststoppeln und trocknerem Pflanzenmaterial ergab sich am Versuchsstandort Stettfeld eine Differenz von 3,7 kW/m Arbeitsbreite. Der für den Praktiker relevante Leistungsunterschied hängt jedoch zusätzlich davon ab, bei welcher Schnitthöhe ein alternativer Erntevorsatz mit Standardmessern eingesetzt werden würde. Mit steigender Schnitthöhe steigt entsprechend die Leistungsdifferenz zum HS3. Wird die Schnitthöhe von ca. 11 cm auf 22 cm erhöht, steigt der zusätzliche Leistungsbedarf für die Stoppelzerkleinerung unter den Erntebedingungen am Versuchsstandort Beesen auf 6,5 kW/m Arbeitsbreite, bei ca. 31 cm Stoppelhöhe auf 7,3 kW/m Arbeitsbreite.

Der zusätzliche Leistungsbedarf für die Stoppelzerkleinerung lag damit in einem Bereich zwischen 3,7 kW/m Arbeitsbreite und 7,3 kW/m Arbeitsbreite bei 6 km/h, abhängig von den

Erntebedingungen und der Referenz-Stoppelhöhe. Antriebsleistungen in diesem Bereich benötigen traktorbetriebene Mulcher bereits zur Bearbeitung von Silomaisstoppeln. Die verschiedenen durch GROSA et al. (2016: 32) getesteten Mulcher benötigten zur Bearbeitung stehender Silomaisstoppeln zwischen ca. 3,5 kW/m Arbeitsbreite und 16 kW/m Arbeitsbreite (Werte abgelesen). UPPENKAMP et al. (2011: 32) ermittelten bei 8 km/h Antriebsleistungen zwischen 8,89 kW/m Arbeitsbreite und 26,25 kW/m Arbeitsbreite zur Bearbeitung von Silomaisstoppeln mit verschiedenen Mulchern. Im Körnermais müssen die Maschinen zusätzlich zu den Stoppeln das gesamte Maisstroh bearbeiten. Entsprechend ist der Leistungsbedarf erheblich höher. GROSA et al. (2016: 39) ermittelten im Körnermais für verschiedene Mulcher bei 6 km/h Antriebsleistungen zwischen ca. 9 kW/m Arbeitsbreite (einfache Y-Messer) und 43 kW/m Arbeitsbreite (schwere Hammerschlegel; Werte abgelesen). Bei 8 km/h ermittelten UPPENKAMP et al. (2011: 32) im CCM-Stroh Antriebsleistungen zwischen 20,3 kW/m Arbeitsbreite (Sichelmulcher) und 43,04 kW/m Arbeitsbreite (schwere Hammerschlegel). Dem gegenüber benötigt das System HS3 eine vergleichsweise geringe Antriebsleistung. Dies zeigt sich wiederum im Kraftstoffverbrauch.

Die Versuche ergaben in Abhängigkeit von den Erntebedingungen und Referenz-Stoppelhöhen bei einer Geschwindigkeit von 6 km/h einen um ca. 1,8 l/ha bis 3,2 l/ha höheren Kraftstoffverbrauch beim Einsatz des HS3 im Vergleich zum Standarderntevorsatz HS2. Erst wenn durch den zusätzlichen Leistungsbedarf des HS3 die Erntegeschwindigkeit limitiert wird, sodass mit dem Standarderntevorsatz eine höhere Geschwindigkeit gefahren werden kann, können die Differenzen größer werden. Unter der Annahme einer mittleren Motorauslastung des Mähdreschers von 90% und in Abhängigkeit von der eingestellten Schnitthöhe des Standarderntevorsatzes wäre am Standort Beesen mit dem Standarderntevorsatz eine um ca. 0,9 km/h bis 2 km/h höhere Erntegeschwindigkeit möglich gewesen. Dies hätte zu einer Differenz der Flächenleistung von 0,5 ha/h bis 1,2 ha/h und einer Differenz im Kraftstoffverbrauch von 2,6 l/ha bis 5,4 l/ha geführt. Ob dieser Aspekt zum Tragen kommt, hängt jedoch maßgeblich von den Erntebedingungen (Ertrag, Biomasseaufwuchs, Restfeuchte), der Motorisierung des Mähdreschers und der Auslegung dessen Schneidwerksantriebes ab. Dennoch, an den Versuchsstandorten Bückeberg, Kraichtal und Timmaspe benötigten die eingesetzten Traktoren zum Mulchen des Maisstrohs zwischen 6,8 l/ha und 13,5 l/ha Diesel, sodass selbst unter Berücksichtigung einer möglicherweise höheren Erntegeschwindigkeit beim Einsatz des Standarderntevorsatzes HS2 von einem energetischen Vorteil des Verfahrens HS3 gegenüber dem zweistufigen Verfahren, bestehend aus HS2 und Mulcher, auszugehen ist.

Bei gleicher Erntegeschwindigkeit von 6 km/h an den Standorten Bückeberg, Timmaspe und Kraichtal benötigte das Verfahren HS3 zwischen 5 l/ha und 7,8 l/ha weniger Kraftstoff.

7 Öffentlichkeitsarbeit

Mit der Entwicklung des HS3 bis zur Praxisreife, umfasste die Zielgruppe der Öffentlichkeitsarbeit primär Landwirte, Lohnunternehmer und die landwirtschaftliche Beratung. Dabei gilt es, die grundsätzlichen Herausforderungen des Ernterückstandsmanagements zu transportieren und die Potenziale des neuen Verfahrens vorzustellen. Über die Teilnahme an Ausstellungen und Feldtagen mit Praxisvorführungen sowie Fachbeiträge in branchentypischen Zeitschriften konnte diese Zielgruppe erreicht werden. Beiträge in den sozialen Medien, über die Accounts des Projektpartners Geringhoff bei Facebook, Instagram und YouTube, erhöhen die Reichweite auch über die spezifische Zielgruppe hinaus. Die zweite Hälfte der Projektlaufzeit war durch die COVID-19-Pandemie beeinflusst, in dessen Folge viele Großveranstaltungen bundesweit abgesagt wurden. Dazu zählen beispielsweise die DeLuTa 2020, die Agritechnica 2021, die DLG-Feldtage 2021 aber auch internationale Veranstaltungen wie die SIMA 2021 in Frankreich. Tabelle 45 gibt einen Überblick zu den Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit über die Projektlaufzeit.

Tabelle 45: Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit über die Projektlaufzeit

DeLuTa (2018): Deutsche Lohnunternehmer Tagung (DeLuTa), Bundesverband Lohnunternehmen e. V., 5.-6.12.2018, Bremen.	M
Ramm, S. (2018): Entwicklung und Erprobung eines neuen Verfahrens zur mechanischen Bekämpfung des Maiszünslers und Verbesserung der Feldhygiene während der Körnermaisernte. Posterpräsentation zum Projektvorhaben auf dem Messestand der Fachhochschule Kiel, Deutsche Lohnunternehmer Tagung (DeLuTa), Bundesverband Lohnunternehmen e.V., 5.-6.12.2018, Bremen.	P
CG-Dialog (2018): Fachtagung CG-Dialog, Carl Geringhoff GmbH & Co. KG, 13.12.2018, Ahlen.	T/M
Schneider, H. (2018): Mit der Wissenschaft in die Praxis, neue Techniken – neue Möglichkeiten. 3. Fachtagung CG-Dialog, Carl Geringhoff GmbH & Co. KG, 13.12.2018, Ahlen.	Vtr.
Agritechnica (2019): Landtechnikausstellung. Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG e. V.), 10.-16.11.2019, Hannover.	M
DMK-Praktikertag (2019): 10. Praktikertag. Deutsches Maiskomitee e. V. (DMK), 23.10.2019, Neuhaus am Inn.	Vofü.
Ramm, S., Reckleben, Y. (2020): Stoppelbearbeitung nach Mais: Etablierte Verfahren und neue Wege – Mulcher in die Erntetechnik integrieren. Landwirtschaft ohne Pflug: LOP, 09/10 2020, S. 31-40.	A

Geringhoff (2020): Geringhoff Horizon Star* III I Product Video I English. Produktvideo, Carl Geringhoff GmbH & Co. KG, https://www.youtube.com/watch?v=yReVj3KoPS8&t=30s , Veröffentlicht: 15.09.2020.	Vid.
Geringhoff (2020): Horizon Star III Vorführtour 2020, Maschinenvorführungen bei Kunden in Deutschland, Frankreich und Tschechien, Carl Geringhoff GmbH & Co. KG, Sep. – Nov. 2020.	Vofü.
Ramm, S., Reckleben, Y. (2020): Problemzone Fahrspur. Lohnunternehmen, 10/2020 (73), S. 86-89.	A
Ramm, S. (2020): Pflanzenschutz ist viel mehr als nur Chemie – Stroh- und Stoppelmanagement im Körnermais zur Verbesserung der Feldhygiene. Nacht der Wissenschaft, KielRegion GmbH, 27.11.2020.	Vtr.
Ramm, S., Reckleben, Y., Hartung, E. (2021): Stoppelmanagement während der Körnermaisernte. Ein neuer Maispflücker ergänzt Geräte zur Stoppelzerkleinerung. Mais, 03/2021 (48), S. 21-23.	A
Geringhoff (2021): Geringhoff Horizon Star* III I Feldeinsatz I Deutsch. Produktvideo, Carl Geringhoff GmbH & Co. KG, https://www.youtube.com/watch?v=H67cxfAZcZI , Veröffentlicht: 27.08.2021.	Vid.
Schneider, H. (2021): Vorstellung Maispflücker mit integriertem Mulchmesser zur Stoppelbearbeitung (Horizon Star III Razor). Körnermais: Stoppelbearbeitung und Strohmanagement, ÖKL-Webinar, Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung (ÖKL), 31.08.2021.	Vtr.
Ramm, S. (2021): Die Maisstoppelein während der Ernte zerschlagen. Potenziale und Grenzen eines neuen Verfahrens der Stoppelzerkleinerung im Körnermais. Körnermais: Stoppelbearbeitung und Strohmanagement, ÖKL-Webinar, Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung (ÖKL), 31.08.2021.	Vtr.
Geringhoff (2021): Horizon Star III Vorführtour 2021, Maschinenvorführungen bei Kunden, Carl Geringhoff GmbH & Co. KG, Sep. – Nov. 2020.	Vofü.
Geringhoff (2021): Vorführung mit Bericht auf dem YouTube Kanal des Bloggers „Michel Deere“. https://www.youtube.com/watch?v=dMPiZBVAftc , 27.10.2021.	Vid.

M = Messe; P = Poster; T = Tagung; Vtr. = Vortrag; Vid. = Video; Vofü = Maschinenvorführung/Feldtag; A = Fachartikel

Im Rahmen der Deutschen Lohnunternehmer Tagung (DeLuTa) vom 5. bis 6. Dezember 2018 in Bremen wurde erstmals öffentlich auf das Projektvorhaben aufmerksam gemacht. Auf dem Stand der Fachhochschule Kiel informierte ein Poster über die Problemstellung

und Zielsetzung des Projektes. Rund 12.500 Fachgäste besuchten die Veranstaltung (DeLuTa 2018).



Abbildung 102: Messestand der FH Kiel auf der DeLuTa 2018

Am 13. Dezember 2018 lud die Carl Geringhoff GmbH & Co. KG zur 3. Fachtagung CG-Dialog ein. In drei Vorträgen unter dem Leitthema „Status Quo & aktuelle Trends – Herausforderungen bei Ernte & Straßentransport“ konnte sich das ausgewählte Fachpublikum informieren und diskutieren. Unter dem Titel „Mit der Wissenschaft in die Praxis, neue Techniken – neue Möglichkeiten“ stellte Hendrik Schneider (Produktmanagement, Geringhoff) aktuelle Trends in der Entwicklung von Erntevorsätzen für die Druschfruchternte vor und gab auch einen ersten Einblick in das Projektvorhaben zur integrierten Stroh- und Stoppelbearbeitung während der Körnermaisernte. Zwischen und im Anschluss an die Vorträge bot sich den Gästen die Möglichkeit in der Maschinenausstellung einen ersten Blick auf den Prototyp des HS3 zu werfen.

Am 23. Oktober 2019 veranstaltete das Deutsche Maiskomitee e.V. (DMK) gemeinsam mit der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), der Trocknungsgenossenschaft Reding eG und der Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung (GKB) den zehnten DMK-Praktikertag in Neuhaus am Inn. Diese Veranstaltung umfasste Fachvorträge und Maschinenvorfürungen rund um die Thematik Feldhygiene im Körnermaisbau mit Schwerpunkt auf Stroh- und Stoppelmanagement zur Rotteförderung, Maiszünslerbekämpfung und Reduktion des Fusarium-Potentials in der Folgekultur. Somit thematisierte diese Veranstaltung die Problemstellungen, zu denen der in diesem Projekt entwickelte Erntevorsatz Horizon Star III einen Lösungsbeitrag leisten soll. Entsprechend beteiligte sich Firma Geringhoff an der Maschinenvorfürung. Insgesamt präsentierten 15 Maschinenanbieter unterschiedliche Systeme zur Maisstrohzerkleinerung und Bodenbearbeitung. Den teilnehmenden Landwirten, Beratern und Technikexperten wurde ein umfassender Überblick zu aktuellen Möglichkeiten der Stroh- und Stoppelbearbeitung gegeben (DMK 2019). Das Feedback der Teilnehmer und die augenscheinliche Beurteilung

des Arbeitsbildes des Horizon Star III zeugten von einem sehr guten Arbeitsergebnis im Vergleich zu den etablierten Verfahren und Maschinen zur Maisstoppelbearbeitung im Nachernteverfahren.

Als weltweit größte Landmaschinen Messe ist die Agritechnica bei Landtechnikherstellern eine etablierte Plattform zur Präsentation neuer und innovativer technischer Lösungen für aktuelle Herausforderungen im Agrarsektor. Alle zwei Jahre nutzen verschiedenste Akteure die auf dem Expo-Gelände in Hannover stattfindende Messe um ihre Neuheiten vorzustellen. Auf der Agritechnica 2019 präsentierten 2805 Aussteller vom 10. bis 16. November 2019 ihre Produkte einem internationalen Publikum von 446.871 Besuchern aus 145 Ländern (Agritechnica 2019).

Firma Geringhoff nutzte diese Möglichkeit, um das neu entwickelte Maschinenkonzept Horizon Star III Razor dem kritischen Publikum zu präsentieren. Mittig auf dem Messestand aufgebaut war der Pflücker ein Zuschauermagnet und viele Lohnunternehmer und Landwirte kamen speziell wegen dieser Neuentwicklung auf den Messestand der Firma Geringhoff, um sich das Konzept genauer erklären zu lassen. Die Maschine wurde in der Farbe „Midnight Harvest“ auf einem Podest präsentiert, welches den flexiblen Rahmen hervorhebt. Der Pflücker selber wurde als 8-reihige Maschine mit einem Reihenabstand von 75 cm ausgestellt (siehe Abbildung 103). Ergänzend verdeutlichte eine Videosequenz die Funktionsweise der Maschine. Das Thema mechanischer Pflanzenschutz und damit auch die intensive Stoppelzerkleinerung zur Bekämpfung des Maiszünslers, waren wichtige Themen auf der Agritechnica 2019. Das Feedback der Besucher, Kunden und Mitbewerber war positiv und das Maschinenkonzept wurde als hilfreicher Ansatz angesehen.



Abbildung 103: Horizon Star III Razor auf der Agritechnica 2019

Im Vorfeld der Messe wird den Ausstellern die Möglichkeit gegeben sich mit ihren innovativen Lösungsansätzen um den Agritechnica Innovation Award zu bewerben. Eine durch die Deutsche Landwirtschafts Gesellschaft (DLG) berufene Neuheitenkommission

aus Wissenschaft, Forschung, Beratung und Praxis beurteilt die Bewerbungen anhand der Kriterien für die Vergabe von Gold- und Silbermedaillen. Zum Innovation Award 2019 lagen insgesamt 291 Neuheiten-Anmeldungen vor. Vergeben wurden eine Gold- sowie 39 Silbermedaillen (Agritechnica o.j.). Die Neuheitenkommission der Agritechnica zeichnete das Konzept des Horizon Star III Razor auf Grundlage der eingereichten Bewerbung mit dem Agritechnica Innovation Award 2019 in Silber aus (siehe Abbildung 104). Die in den Ernteprozess integrierte Stoppelbearbeitung in Kombination mit dem neuen Rahmenkonzept zur verbesserten Bodenadaptation, war ausschlaggebend für den innovativen Charakter des Maschinenkonzepts.



Abbildung 104: Verleihung des Agritechnica Innovation Award 2019 in Silber

Die Prämierung des Maschinenkonzeptes Horizon Star III Razor mit dem Agritechnica Innovation Award 2019 sorgte für Aufmerksamkeit. Zahlreiche Beiträge in den Medien folgten. In Tabelle 46 sind exemplarisch einige Beispiele angeführt.

Tabelle 46: Medienpräsenz des Horizon Star* III

Deter, A. (2019): Geringhoff Maispflücker Horizon Star III Razor zerhackt Maisstoppeln. top agrar online, <https://www.topagrar.com/technik/news/geringhoff-maispfluecker-horizon-star-iii-razor-zerhackt-maisstoppeln-11822058.html>.

Esterer, M. (2019): Hasta la vista Maiszünsler: Neuer Pflücker Horizon Star* III Razor mit Stoppel-Zerstörung von Geringhoff. <https://www.landtechnikmagazin.de/Erntemaschinen-Bildergalerie-Maiszuenler-Neuer-Pfluecker-Horizon-Star-III-Razor-mit-Stoppel-Zerstoerung-von-Geringhoff-0-8441.php>.

N.N. (2019): Geringhoff Horizon Star III Razor Maize Picker EN. Agritechnica Youtube-Kanal. https://www.youtube.com/watch?v=iTxQrh-_Sxo.

Zäh, M. (2019): Geringhoff Horizon Star III Razor Mulcht beim Pflücken. Profi, <https://www.profi.de/test/fahrbericht/mulcht-beim-pfluecken-11928624.html>.

Schuhbauer, S. (2019): Maispflücker Horizon Star III Razor Geringhoff – Silbermedaille Agritechnica 2019. Moderner-Landwirt.de, <https://moderner-landwirt.de/maispfluecker-horizon-star-iii-razor-geringhoff/>.

Ehnts; A. (2020): 25% mehr Stoppeln zerstört. Lohnunternehmen, 10/2020 (73), S.80-85.

Mit einer Live-Vorführung des Horizon Star* III im Rahmen des Praktikertags des Deutschen Maiskomitee e.V. (DMK), sollte interessierten Landwirtinnen und Landwirten abermals die Möglichkeit geboten werden, den Horizon Star* III parallel zu anderen am Markt befindlichen Verfahren der Stoppelbearbeitung im Praxiseinsatz zu begutachten. Bedingt durch die COVID-19-Pandemie konnte die für den 20. Oktober 2020 geplante Veranstaltung nicht durchgeführt werden. Als online-Alternative erstellte das DMK einen Kurzfilm zur Vorstellung der unterschiedlichen Verfahren und stellt diesen über ihren YouTube-Kanal frei zugänglich zur Verfügung (siehe DMK 2020).

Trotz der pandemiebedingten Einschränkungen zur Ernte 2020 konnte Firma Geringhoff einzelne Maschinenvorführungen für Lohnunternehmen und landwirtschaftliche Betriebe anbieten. Durch die online Registrierung bekamen die Interessenten die Möglichkeit, den HS3 für einen Tag in ihrem Unternehmen zu erproben. Bundesweit kamen sieben Vorführungen über eine Gesamteinsatzfläche von ca. 200 ha zustande. Darüber hinaus erfolgte eine weitere Vorführung in Tschechien, sowie zwei in Frankreich. Begleitend berichtete Firma Geringhoff, untermauert durch Bild- und Videomaterial, regelmäßig von den Praxiseinsätzen und Vorführungen der neuen Maschine über Facebook und Instagram. Die Vorführtour wurde auch im Jahr 2021 fortgeführt.

Erste Ergebnisse aus den Versuchsserien wurden in drei Fachartikeln sowie zwei Vorträgen publiziert (siehe Tabelle 45). Mit Abschluss der Datenaufnahme und –auswertung zum Projektende, sind zusätzlich mehrere Veröffentlichungen in anerkannten wissenschaftlichen Zeitschriften geplant und bereits in Vorbereitung.

8 Fazit und Ausblick

Entsprechend der gesetzten Ziele gelang es innerhalb der Projektlaufzeit den weltweit ersten Erntevorsatz für Körnermais zu entwickeln, der ohne technische Veränderungen oder Umrüstungen bereits während des Ernteprozesses die Maisstoppeln bis zum Wurzelansatz auffasern kann. Der 8-reihige Horizon Star* III kann für alle heute am Markt verfügbaren Mähdrescher adaptiert werden, die eine Antriebsleistung für das Vorsatzgerät von mindesten 150 kW abgeben können. Zum Projektende hat die Maschine Serienreife erreicht und steht den Landwirten als 8-reihiger Erntevorsatz für die Reihenabstände 70, 75 und 80 cm in starrer oder klappbarer Ausführung zur Verfügung. Bereits 25 Erntevorsätze befinden sich bei landwirtschaftlichen Betrieben und Lohnunternehmen im Einsatz. Somit konnte dem Projektziel der einfachen Integration des neuen Verfahrens in die betrieblichen Abläufe der landwirtschaftlichen Betriebe Rechnung getragen werden.

Ein entscheidender Vorteil des HS3 gegenüber herkömmlicher Verfahren der Stoppelbearbeitung liegt in der Unabhängigkeit von Fahrspureffekten. Es kann eine über die Gesamtfläche einheitlich hohe Arbeitsqualität erreicht werden. Die begleitend zur Entwicklung durchgeführten Feldversuche an acht Standorten bundesweit, konnten das Potential dieses neuen Verfahrens, aber auch limitierende Einflussfaktoren aufzeigen. Zur Realisierung hoher Arbeitsqualitäten ist es entscheidend, bei der Bestellung des Maises eine ebene Bodenoberfläche zu erzeugen. Unter diesen Bedingungen erreicht der HS3 in der Stoppelzerkleinerung das Intensitätsniveau, wie es Schlegelmulcher außerhalb von Fahrspuren erreichen können. Somit gelingt es dem HS3 über die Gesamtfläche ein besseres Bearbeitungsergebnis zu erzielen. Somit konnte das Projektziel hinsichtlich der Intensität der Stoppelzerkleinerung erreicht werden. Gegenüber ungünstigen Ausgangsbedingungen (unebene Bodenoberfläche, Hangneigung) scheinen Mulcher jedoch robuster zu sein, wobei die Vorteile des HS3 im Fahrspurbereich bestehen bleiben.

Die im Rahmen der Siebanalysen durchgeführten Strukturbonituren des Maisstrohs ergaben, dass das 3-Walzen-Pflücksystem des HS3 nahezu keine intakten Internodien der Maisstängel auf dem Feld hinterlässt. In Kombination mit der fahrspurunabhängigen Stoppelzerkleinerung ist somit entsprechend der Projektziele von einer hohen Wirkung gegen die Larven des Maiszünslers auszugehen. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass der HS3 den Einsatz eines Schlegelmulchers aus Sicht der Maiszünslerbekämpfung ersetzen kann. Durch Mulchen konnte somit lediglich die Anzahl beschädigter Stängelsegmente innerhalb des Maisstrohs zugunsten der vollständig zerstörten Stängelsegmente weiter reduziert werden.

Die Siebanalysen des Maisstrohs ergaben, dass der HS3 - trotz der gegenüber des Standarderntevorsatzes HS2 erhöhten Zerkleinerungsintensität - nicht das Niveau von Schlegelmulchern erreichen konnte. Grundsätzlich wäre mit steigender Zerkleinerungsintensität von einer schnelleren Strohrotte und damit von einem geringeren Risiko für überhöhte DON-Gehalte in der Folgekultur auszugehen. In den eigens durchgeführten Weizen-Versuchen wurden jedoch selbst in den Varianten ohne zusätzliche Stoppelzerkleinerung und ohne Fungizideinsatz zur Weizenblüte nur sehr niedrige DON-Gehalte nachgewiesen. Gründe hierfür könnten ein geringes Inokulum, aber vor allem witterungsbedingt schlechte epidemische Entwicklungsbedingungen für die DON produzierenden Fusarium Arten gewesen sein. Unter diesen Bedingungen lassen die durchgeführten Versuche keine sichere und abschließende Bewertung des Verfahrens HS3 hinsichtlich des DON-Minderungspotentials zu. Aufgrund der geringeren Intensität der Strohzerkleinerung, ist jedoch zunächst im Verfahren HS3, eine weniger ausgeprägte Minderungswirkung der DON-Gehalte im Vergleich zum Verfahren Schlegelmulcher anzunehmen. Dies deckt sich sowohl mit den Tendenzen aus den eigenen Versuchen, als auch mit den Ergebnissen aus der Literatur. Dennoch bedarf es einer weiteren Prüfung. Es gilt auf Grundlage des standörtlichen Infektionsdrucks, des Bestellverfahrens, der Fungizid-Strategie und Fruchtfolge abzuwägen, ob das Verfahren HS3 das Mulchen vollumfänglich ersetzen kann.

Für die zusätzliche Funktion der Stoppelzerkleinerung ist der Leistungsbedarf des HS3 gegenüber dem Standarderntevorsatz HS2 erhöht. Je nach Erntebedingungen und der im Vergleich herangezogenen Schnitthöheneinstellung des HS2, beträgt der zusätzliche Leistungsbedarf des HS3 zwischen ca. 3,7 kW/m Arbeitsbreite und 7,3 kW/m Arbeitsbreite und ist damit geringer als der Leistungsbedarf von Mulchern unter vergleichbaren Bedingungen im Körnermais. Dies schlägt sich entsprechend im Kraftstoffverbrauch nieder. Wird das zweistufige Verfahren, bestehend aus HS2 mit anschließender Bearbeitung der Erntereste mittels Mulcher, durch das einstufige Verfahren HS3 ersetzt, so können Kraftstoffeinsparungen realisiert werden. Das Projektziel, die Entwicklung eines energieeffizienten Verfahrens, konnte somit ebenfalls erreicht werden. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang jedoch, dass der im Vergleich eingesetzte HS2, aufgrund der Kombination von 3-Walzen-Pflücksystem und Horizontalhäcksler, mit entsprechend hoher Zerkleinerungsintensität der Erntereste, bereits ein leistungsintensiver Pflücker am Markt ist.

Als weiterer Vorteil des einstufigen Verfahrens HS3 ist die Einsparung des zusätzlichen Arbeitsgangs anzuführen, wodurch in der Phase der Körnermaisernte mit anschließender

Aussaat der Folgekultur in einer Jahreszeit mit häufig unbeständigem Wetter Zeit- und Personalaufwand eingespart werden kann.

Auch nach Abschluss dieses Projektes wird die Entwicklung des HS3 weiter vorangetrieben. So ist die Ausweitung der Modellpalette bereits in Arbeit. Zukünftig sollen auch kleinere Arbeitsbreiten von 6 und 7 Reihen verfügbar werden. Speziell für größere Arbeitsbreiten bis 12 Reihen wird optional das flexible Rahmenkonzept Razor in die Serie eingeführt werden. Weiterhin werden verschiedene Grundmaterialien und Beschichtungen erprobt, um die Verschleißteile für eine maximale Standzeit weiter zu optimieren. Bereits für die 8-reihige Ausführung des HS3 werden seitens des Mähdreschers eine Antriebsleistung von 150 kW gefordert, auch wenn dieses im Feld nicht unter jeden Bedingungen im Test gemessen wurde, sind mit dem Anstieg der Fahrgeschwindigkeit schnell die Grenzen durch sporadische Leistungspeaks erreicht. Während des Projektes wurde bereits mit verschiedenen Ansätzen überlegt, diese Systemgrenze des Mähdreschers durch ein Assistenzsystem zur Anzeige zu bringen, um den Antrieb des Mähdreschers nicht zu überlasten. Mähdrescherseitig wird heute keine Überwachung der Leistung angeboten. Größere Arbeitsbreiten würden somit bereits die größten am Markt für Mähdrescher erhältlichen Antriebe (>200-250 kW) erfordern.

Über die vierjährige Projektlaufzeit konnte ein umfassender Datenpool zur Aufbereitung der Erntereste, sowie Leistungsparametern erzeugt werden. In diesem Bericht erfolgte lediglich eine deskriptive Betrachtung der Ergebnisse. Die Datenauswertung ist zum heutigen Stand nicht vollends abgeschlossen. Mit tiefgreifender und statistischer Auswertung, werden die Daten über die Projektlaufzeit hinaus weiter untersucht. Es wird angestrebt die gewonnenen Ergebnisse, an geeigneter Stelle in wissenschaftlichen Fachzeitschriften zu publizieren.

Die Resonanz aus der landwirtschaftlichen Praxis und das Interesse der Fachmedien an dem neuen Maschinenkonzept unterstreichen die Notwendigkeit, zur Entwicklung derartiger Verfahren zur Umsetzung umweltverträglicher Pflanzenschutzmaßnahmen. Nicht zuletzt wird dies durch die Verleihung des Agritechnica Innovation Award 2019 in Silber unterstrichen.

Literaturverzeichnis

Agritechnica (o.j.): Prämierungskriterien, Online verfügbar unter

<https://www.agritechnica.com/de/innovation-award-agritechnica/praemierungskriterien>, zuletzt geprüft am 24.02.2020.

Agritechnica (2019): Agritechnica 2019 - Rückblick 2019, Online verfügbar unter

https://www.agritechnica.com/fileadmin/downloads/2019/aussteller/Rueckblick/AT_2019_Rueckblick_neu.pdf, zuletzt geprüft am 24.02.2020.

Albert, R., Maier, G., Dannemann, K. (2008): Maiszünslerbekämpfung – Bekämpfung und neue Entwicklungen beim Trichogramma brassicae-Einsatz. In: *Gesunde Pflanzen* 60, (2). DOI: 10.1007/s10343-008-0180-8: 41–54.

Bailey, J. C., Scottdupree, C. D., Tolman, J. H., Harris, C. R., Harris, B. J. (2005):

Alternative Agents for Control of European Corn Borer and Corn Flea Beetle on Sweet Corn. In: *Journal of Vegetable Science* 11, (1). DOI: 10.1300/J484v11n01_04: 27–46.

Bartels, G., Rodemann, B. (2003): Strategien zur Vermeidung von Mykotoxinen im

Getreide. In: *Gesunde Pflanzen* 55, (5). DOI: 10.1046/j.1439-0345.2003.03020.x: 125–135.

Bereś, P., Konefał, T. (2010): Distribution Range of the European Corn Borer (*Ostrinia*

Nubilalis Hbn.) On Maize in 2004-2008 in Poland. In: *Journal of Plant Protection Research* 50, (3). DOI: 10.2478/v10045-010-0056-7: 326–334.

Bernhard, K., Jarrett, P., Meadows, M., Butt, J., Ellis, D. J., Roberts, G. M. et al.

(1997): Natural Isolates of *Bacillus thuringiensis*: Worldwide Distribution, Characterization, and Activity against Insect Pests. In: *Journal of Invertebrate Pathology* 70, (1). DOI: 10.1006/jjpa.1997.4669: 59–68.

Beyer, M., Klix, M. B., Klink, H., Verreet, J.-A., Verreet, J.-A. (2006): Quantifying the

effects of previous crop, tillage, cultivar and triazole fungicides on the deoxynivalenol content of wheat grain — a review. In: *Journal of Plant Diseases and Protection* 113, (6). DOI: 10.1007/BF03356188: 241–246.

Blandino, M., Saladini, M. A., Alma, A., Reyneri, A. (2010): Pyrethroid application timing

to control European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) and minimize fumonisin contamination in maize kernels. In: *Cereal Research Communications* 38, (1): 75–82.

- Blandino, M., Scarpino, V., Vanara, F., Sulyok, M., Krska, R., Reyneri, A. (2015):** Role of the European corn borer (*Ostrinia nubilalis*) on contamination of maize with 13 *Fusarium* mycotoxins. In: *Food additives & contaminants. Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment* 32, (4). DOI: 10.1080/19440049.2014.966158: 533–543.
- Börner, H., Schlüter, K., Aumann, J. (2009):** Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, 8., neu bearb. und aktualisierte Aufl., Berlin, Heidelberg Springer (Springer-Lehrbuch).
- Brookes, G. (2009):** THE EXISTING AND POTENTIAL IMPACT OF USING GM INSECT RESISTANT (GM IR) MAIZE IN THE EUROPEAN UNION. In: *PG Economics, UK*.
- Brunotte, J., Voßhenrich, H. (2017):** Neues Bonitursystem für Maisstoppelbearbeitung zur Anwendung in der Praxis. In: Deutsches Maiskomitee e.V. (Hg.): Stroh- und Stoppelmanagement nach Mais. Mais: 18–23.
- Bzowska-Bakalarz, M., Bulak, P., Beres, P., Czarnigowska, A., Czarnigowski, J., Karamon, B. et al. (2020):** Using gyroplane for application of *Trichogramma* spp. against the European corn borer in maize. In: *Pest management science* 76, (6). DOI: 10.1002/ps.5762: 2243–2250.
- Capinera, J. L. (2008):** Encyclopedia of Entomology. 2. Auflage, Springer, Heidelberg, DOI: 10.1007/978-1-4020-6359-6.
- Dänicke, S., Valenta, H. (1999):** Mykotoxine im Futter : Gefahr für landwirtschaftliche Nutztiere? Forschungsreport Ernährung, Landwirtschaft, Forsten (2), Hg. v. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.
- DeLuTa (2018):** DeLuTa 2018 - Besucher, Aussteller | LU Lohnunternehmer Service GmbH, Online verfügbar unter <https://www.deluta.de/news/deluta-2018-besucher-aussteller/>, zuletzt geprüft am 27.02.2019.
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., Naylor, R. L. (2018):** Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. In: *Science (New York, N.Y.)* 361, (6405). DOI: 10.1126/science.aat3466: 916–919.
- Dill-Macky, R., Jones, R. K. (2000):** The Effect of Previous Crop Residues and Tillage on *Fusarium* Head Blight of Wheat. In: *Plant Disease* 84, (1). DOI: 10.1094/PDIS.2000.84.1.71: 71–76.

- DMK (2019):** DMK-Praktikertag: Gerätepalette von der Maisstrohzerkleinerung bis zur folgenden Aussaat. Hg. v. Deutsches Maiskomitee e.V., Online verfügbar unter <https://www.maiskomitee.de/Aktuelles/DMK-Praktikertag--Geraetepalette-von-der-Maisstrohzerkleinerung-bis-zur-folgenden-Aussaat>, zuletzt geprüft am 24.02.2020.
- DMK (2020):** Stoppel und Strohmanagement nach Mais - DMK-Praktikertag 2020 Digital. Hg. v. Deutsches Maiskomitee e.V., Online verfügbar unter <https://www.youtube.com/watch?v=UvyERFSR3MA&t=315s>, zuletzt geprüft am 02.03.2021.
- Dutzi, S. (2019):** Körnermaisbau weltweit. Maispflücker dominieren. In: *Innovation*, (3): 18–19.
- DWD Climate Data Center (2021):** Aktuelle tägliche Stationsbeobachtungen (Temperatur, Druck, Niederschlag, Sonnenscheindauer, etc.) für Deutschland. Qualitätskontrolle noch nicht vollständig durchlaufen, Version recent. Station Waghäusel-Kirrlach (5275). DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD), Online verfügbar unter ftp://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/recent/, zuletzt geprüft am 13.01.2021.
- EU (2020):** Farm to Fork Strategy. For a fair, healthy and environmentally-friendly food system, Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/food/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf, zuletzt geprüft am 30.01.2022.
- EU (2021):** EU biodiversity strategy for 2030. ringing nature back into our lives, Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/31e4609f-b91e-11eb-8aca-01aa75ed71a1>, zuletzt geprüft am 03.01.2022.
- EU (2006):** Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln.
- FAO (2021):** World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021. Rome Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (FAO Statistical Yearbook – World Food and Agriculture, 2021).
- Folcher, L., Weissenberger, A., Delos, M. (2012):** Quantitative relationships between *Ostrinia nubilalis* activity and deoxynivalenol contamination in French maize. In: *International Journal of Pest Management* 58, (4): 302–309.
- Freier, B., Wendt, C., Neukampf, R. (2015):** Zur Befallssituation des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*) und Westlichen Maiswurzelbohrers (*Diabrotica virgifera virgifera*) in Deutschland und deren Bekämpfung. In: *Journal für Kulturpflanzen* 67, (4). DOI: 10.5073/JFK.2015.04.01: 113–123.

- Gagnon, A.-É., Bourgeois, G., Bourdages, L., Grenier, P., Blondlot, A. (2019):** Impact of climate change on *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) phenology and its implications on pest management. In: *Agr Forest Entomol* 214. DOI: 10.1111/afe.12327: 253–264.
- Gatch, E. W., Munkvold, G. P. (2002):** Fungal Species Composition in Maize Stalks in Relation to European Corn Borer Injury and Transgenic Insect Protection. In: *Plant Disease* 86, (10). DOI: 10.1094/PDIS.2002.86.10.1156: 1156–1162.
- Götzke, G., Schröder, G. (2007):** Der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) in Brandenburg - Besonderheiten und Versuchsergebnisse aus dem Oderbruch. In: *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 59, (11).
- Grimme, E., Ohi, S. (2021):** Körnermaisbau in Schleswig-Holstein ist machbar! In: *Bauernblatt*, (13. Februar): 30–33.
- Grosa, A., Bögel, T., Edler v. d. Planitz, B. (2016):** Mulchen von Maisstopplern. Optimierung des Mulchereinsatzes zur wirksamen Bekämpfung von Fusariumerkrankungen und Maiszünslerbefall im pfluglosen Ackerbau. Hg. v. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). TU DRESDEN (Schriftenreihe des LfULG, 15).
- Gutzwiller, A., Czeglédi, L., Stoll, P. (2005):** Fusariumtoxine im Schweinefutter: Wirksamkeit von Mykotoxinbindern. In: *Agrarforschung Schweiz* 12, (5): 208–213.
- Gutzwiller, A., Gafner, J.-L. (2012):** Einfluss der Fusarientoxine Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon auf Leistung und Gesundheit von Zuchtsauen. Hg. v. M. Kreuzer, T. Lanzini, A. Liesegang, R. Bruckmaier und H. D. Hess. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH-Schriftenreihe zur Tierernährung, 35).
- Handler, F., Nadlinger, M., Paar, J. (2005):** Comparison of different systems of stalk choppers for corn headers. In: Max-Eyth-Gesellschaft für Agrartechnik (Hg.): Tagung Landtechnik 2005. International Conference on Agricultural Engineering. Hannover, 4.-5. Nov. Düsseldorf: VDI-Verl. (VDI-Berichte, 1895): 417–423.
- Hommel, B. (2012):** Biologische und chemische Bekämpfung. Dem Zünsler zu Leibe rücken. In: *LU-Wissen*: 18–19.
- ISIP (2020):** Maiszünsler Prognose des Flugbeginns, Maiszünsler Befallserhebung. INFORMATIONSSYSTEM INTEGRIERTE PFLANZENPRODUKTION E.V., Online verfügbar unter <https://www.isip.de/isip/servlet/isip-de/entscheidungshilfen/mais>, zuletzt geprüft am 26.04.2022.

- Kaiser-Alexnat, R. (2012):** *Bacillus thuringiensis*. Grundlagen und Einsatz im biologischen und integrierten Pflanzenschutz. Berlin, epubli GmbH.
- Kansy, F.-J., Zimmermann, O. (2016):** Trichogramma wird 40 und hat den Maiszünsler immer noch „zum Fressen gern“. In: *Landinfo*, (4): 35–38.
- Kirchmeier, H., Demmel, M. (2008):** Fusariuminfektionen im Winterweizen – Effekte von Maisstrohzerkleinerung und Bodenbearbeitungsverfahren. In: *Landtechnik* 63, (3). DOI: 10.1515/lt.2008.799: 150–151.
- Kirchmeier, H., Demmel, M. (2018):** Wirkung von Maisstrohzerkleinerung und Bodenbearbeitung auf Fusariuminfektionen des Winterweizens nach Körnermais. Unter Mitarbeit von Johann Lepschy, Gerhard Zimmermann, Lorenz Hartl, Ulrike Nickl und Konrad Fink, LfL-Information, 3. Aufl., Hg. v. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).
- Klingenhagen, G., Furth, U., Johnen, A., Götz, R. (2014):** Attacke gegen Maiszünsler. In: *Top Agrar*, (5), zuletzt geprüft am 05.10.2018: 70–75.
- Landwirtschaftsamt Bruchsal (2020):** Warndienst Ackerbau Nr. 13. 29-05-2020. Unter Mitarbeit von Christian Erbe, Online verfügbar unter <https://karlsruhe.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Fachinformationen/Ackerbau>, zuletzt geprüft am 25.01.2021.
- Langenbruch, G.-A. (2007):** Der Maiszünsler in Deutschland. In: *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 59, (11): 241.
- Langenbruch, G.-A., Lorenz, N. (1989):** Maiszünslerreduzierung bei der Körnermaisernte. In: *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 41: 140–144.
- Latsch, R., Vogelgsang, S., Sauter, J., Delestra, E. (2010):** Zerkleinerung von Maisstroh und Fusarienbefall von Weizen. Hammer- und Y-Schlägel im Vergleich. ART-Bericht 738, Hg. v. Forschungsanstalt Agroscope.
- Lehmhus, J., Cordsen-Nielsen, G., Söderlind, C., Szócs, G., Lassance, J.-M., Fodor, J., Künstler, A. (2012):** First records of the Z-Race of European Corn Borer *Ostrinia nubilalis* (Hübner 1796) from Scandinavia. In: *Journal für Kulturpflanzen* 64, (5). DOI: 10.5073/JfK.2012.05.03: 163–167.
- Lenz, M. (2007):** Auftreten des Maiszünslers in Hessen. In: *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 59, (11): 261–263.

- Losey, J. E., Carter, M. E., Silverman, S. A. (2002):** The effect of stem diameter on European corn borer behavior and survival: potential consequences for IRM in Bt-corn. In: *Entomologia Experimentalis et Applicata* 105, (2). DOI: 10.1046/j.1570-7458.2002.01037.x: 89–96.
- Mason, C. E., Rice, M. E., Di Fonzo, C. D., Porter, R. P. (2018):** European Corn Borer Ecology, Management, and Association with Other Corn Pests, Extension and Outreach, NCR 0327, Iowa State University.
- Meise, T. (2003):** Monitoring der Resistenzentwicklung des Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*, Hübner) gegenüber Bt-Mais. Dissertation. Georg-August Universität, Göttingen.
- Meissle, M., Mouron, P., Musa, T., Bigler, F., Pons, X., Vasileiadis, V. P. et al. (2010):** Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. In: *Journal of Applied Entomology* 134, (5). DOI: 10.1111/j.1439-0418.2009.01491.x: 357–375.
- Melchinger, A. E., Kreps, R., Späth, R., Klein, D., Schulz, B. (1998):** Evaluation of early-maturing European maize inbreds for resistance to the European corn borer. In: *Euphytica* 99, (2). DOI: 10.1023/A:1018305316853: 115–125.
- Mücher, T. (2004):** Untersuchung möglicher Effekte von transgenem, insektenresistentem Mais (Bt-Mais) auf Nichtzielorganismen im Boden, sowie Analyse und Bewertung von Beifußpopulationen (*Artemisia vulgaris* L.) des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) als Mittel zur Resistenzverzögerung. Dissertation. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen.
- N.N. (o.J.a):** 5000 STALK DEVASTATOR™ STALK ROLLER ATTACHMENT. Hg. v. Yetter Manufacturing Co. Inc., Online verfügbar unter <https://www.yetterco.com/products/3-harvest-equipment/291-5000-stalk-devastator-stalk-roller-attachment>, zuletzt geprüft am 23.05.2022.
- N.N. (o.J.b):** Baß Halmschredder - Maisstoppelbearbeitung. Hg. v. Baß Antriebstechnik GmbH, Online verfügbar unter <https://www.bass-antriebstechnik.de/produkte/halmschredder-stoppelmaxx/>, zuletzt geprüft am 16.05.2022.
- N.N. (o.J.c):** Beste Arbeitsergebnisse bei geringem Aufwand! Hg. v. Klaus Wallner – Maschinen- Bau und Handel, Online verfügbar unter <https://wallner-maschinen.de/messerwalze/>, zuletzt geprüft am 16.05.2022.
- N.N. (o.J.d):** Capello QUASAR, Online verfügbar unter <https://www.capelloworld.de/vorsatze-technologien-getreideernte/maisplucker-quasar/>, zuletzt geprüft am 02.05.2022.

N.N. (o.J.e): Einsatz zur intensiven Bearbeitung der Maisstoppeln bis hin zur Zerstörung des Wurzelhalses. Hg. v. terratec GmbH & Co.KG, Online verfügbar unter <https://www.terratec-landmaschinen.com/produkte-02.html#Zuenslerbekaempfung>, zuletzt geprüft am 16.05.2022.

N.N. (o.J.f): Olimac Drago GT. Hg. v. Olimac s.r.l., Online verfügbar unter <https://www.olimac.it/de/dragogt-maispfluecker/>, zuletzt geprüft am 02.05.2022.

N.N. (o.J.g): Why run Calmer? The Stalk Roll Perfected. Hg. v. CALMER CORN HEADS, INC., Online verfügbar unter <https://calmercornheads.com/technology-explained/>, zuletzt geprüft am 11.05.2022.

N.N. (2017): Kemper erhält Agritechnica-Goldmedaille. Maiszünslerbekämpfung schon direkt bei der Ernte. Hg. v. Maschinenfabrik Kemper GmbH & Co. KG, Online verfügbar unter <https://www.kemper-stadtlohn.de/fileadmin/Dateien/PDF/Agritechnica2017/HP-StalkbusterNewsletter2017.pdf>, zuletzt geprüft am 18.02.2019.

OECD/FAO (2021a): OECD-FAO Agricultural Outlook. OECD Agriculture statistics (database), Online verfügbar unter <https://stat.link/xugj6y>, zuletzt geprüft am 29.12.2021.

OECD/FAO (2021b): OECD-FAO Agricultural Outlook. OECD Agriculture statistics (database), Online verfügbar unter <https://stat.link/qf6c1v>, zuletzt geprüft am 29.12.2021.

OECD/FAO (2021c): OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030. OECD Publishing, Paris, DOI: 10.1787/19428846-en.

OERKE, E.-C. (2006): Crop losses to pests. In: *J. Agric. Sci.* 144, (1). DOI: 10.1017/S0021859605005708: 31–43.

Preißinger, W., Propstmeier, G., Scherb, S. (2016): Stark mit DON belasteter Körnermais in der Mast von Schweinen. Hg. v. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Versuchsbericht, S76).

Razinger, J., Vasileiadis, V., Giraud, M., van Dijk, W., Modic, S., Sattin, M., Urek, G. (2016): On-farm evaluation of inundative biological control of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) by *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in three European maize-producing regions. In: *Pest management science* 72, (2): 246–254.

Reckleben, Y. (2012): Maisstoppel-Zerkleinerung. Welche Kosten, welche Geräte? In: Peter Frank Beckmann (Hg.): LU-Wissen. Maiszünsler - Vorbeugung und Bekämpfung. Lohnunternehmen. Lehrte: Beckmann Verlag GmbH & Co KG: 10–12.

- SAATEN-UNION (2017):** Vier neue Wintergetreidesorten für die SAATEN-UNION, Online verfügbar unter <https://www.saaten-union.de/index.cfm?m=facts&id=9408>, zuletzt aktualisiert am 28.03.2017, zuletzt geprüft am 22.01.2021.
- Sándor, K., Holló, G. (2019):** Evaluation of influencing factors on the location and displacement of *Ostrinia nubilalis* larvae in maize stalks measured by computed tomography. In: *Journal of Plant Protection Research* 59, (1): 95–101.
- Saß, M., Schorling, M., Goßmann, M., Büttner, C. (2007):** Artenspektrum und Befallshäufigkeit von Fusariurn spp. in Bt- und konventionellem Mais im Maiszünsler-Befallsgebiet Oetderbruch. In: *Gesunde Pflanze*, (59). DOI: 10.1007/s10343-007-0161-3: 119–125.
- Scarpino, V., Reyneri, A., Vanara, F., Scopel, C., Causin, R., Blandino, M. (2015):** Relationship between European Corn Borer injury, *Fusarium proliferatum* and *F. subglutinans* infection and moniliformin contamination in maize. In: *Field Crops Research* 183. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.07.014: 69–78.
- Schaafsma, A. W., Melochie, F., Pitblado, R. E. (1996):** Effect of Mowing Corn Stalks and Tillage on Overwintering Mortality of European Corn Borer (Lepidoptera: Pyralidae) in Field Corn. In: *Journal of Economic Entomology* 89, (6): 1587–1592.
- Schlüter, K., Kropf, U. (2010):** Untersuchungen zum Auftreten von Fusarium-Arten im Weizenanbau Schleswig-Holsteins. Fachhochschule Kiel, Osterrönfeld, Online verfügbar unter <https://www.fh-kiel.de/fileadmin/data/landbau/projektberichte/fusarium-arten.pdf>, zuletzt geprüft am 15.02.2019.
- Schneider, M., Lenz, M. (2017):** Möglichkeiten zur Bekämpfung von Maiszünsler und Fusarium. Vorteile der Strohzerkleinerung und Stoppelbearbeitung nutzen. In: Deutsches Maiskomitee e.V. (Hg.): Stroh- und Stoppelmanagement nach Mais. Mais: 3–11.
- Schröder, G., Goetzke, G., Kuntzke, D. (2006):** Perspektiven der Kontrolle des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) mit Insektiziden – Versuchsergebnisse aus dem Oderbruch. In: *Gesunde Pflanzen* 58, (3). DOI: 10.1007/s10343-006-0125-z: 143–151.
- Seidel, C., Dölling, H., Rennert, G., Pölit, B., Jäckel, U., Schmidt, W. (2014):** Vorsorge gegen den Maiszünsler im pfluglosen Anbau. Hg. v. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Dresden (Schriftenreihe des LfULG, 20).
- Sobek, E. A., Munkvold, G. P. (1999):** European Corn Borer (Lepidoptera: Pyralidae) Larvae as Vectors of *Fusarium moniliforme*, Causing Kernel Rot and Symptomless Infection of Maize Kernels. In: *Journal of Economic Entomology* 92, (3). DOI: 10.1093/jee/92.3.503: 503–509.

- Sprich, H. (2014):** Mit dem Multikopter gegen Maiszünsler. Neues Ausbringverfahren erleichtert die biologische Bekämpfung mit Trichogramma. Sonderdruck. In: *Mais* 41, (03): 1–2.
- Stetson, S. J., Lehman, R. M., Osborne, S. L. (2018):** Corn Residue Particle Size Affects Soil Surface Properties. In: *Agric. environ. lett.* 3, (1). DOI: 10.2134/ael2018.01.0004.
- Trnka, M., Muška, F., Semerádová, D., Dubrovský, M., Kocmánková, E., Žalud, Z. (2007):** European Corn Borer life stage model: Regional estimates of pest development and spatial distribution under present and future climate. In: *Ecological Modelling* 207, (2-4). DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2007.04.014: 61–84.
- Uppenkamp, N. (2012):** Zerkleinern von Maisstoppeln und Maisstroh. In: *Innovation*, (3), zuletzt geprüft am 04.02.2021: 20–22.
- Uppenkamp, N. (2016):** Stroh- und Stoppelmanagement bei und nach der Maisernte. Neue technische Lösungen ergänzen bisherige Geräte. In: *Mais* 43, (3): 108–112.
- Uppenkamp, N. (2017):** Technische Lösungen zum Stroh- und Stoppelmanagement bei und nach der Maisernte. In: Deutsches Maiskomitee e.V. (Hg.): Stroh- und Stoppelmanagement nach Mais. *Mais*: 12–17.
- Uppenkamp, N. (2020):** Maiszünsler sicher mechanisch bekämpfen. In: *Bauernblatt*, (17. oktober): 33–36.
- Uppenkamp, N., Demmel, M., Kirchmeier, H. (2011):** Maisstoppeln und Maisstroh - Den Mulchern gehört die Zukunft. Mulchgeräte verschiedener Bauart und Zerkleinerungswerkzeuge im Test. In: *Mais* 38, (1): 30–33.
- USDA (2020):** European Union: Agricultural Biotechnology Annual. Hg. v. United States Department of Agriculture (USDA) (E42020-0101), Online verfügbar unter https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Agricultural%20Biotechnology%20Annual_Brussels%20USEU_European%20Union_11-20-2020, zuletzt geprüft am 30.12.2021.
- Vocke, T., Johanning, B. (2012):** Untersuchungen an einem Schlegelmulcher mittels Feldversuch und Simulation. *LANDTECHNIK*, Bd. 67 Nr. 4 (2012). DOI: 10.1515/LT.2012.304: 251–255.
- Vogel, A. M., Below, F. E. (2019):** Residue and Agronomic Management to Reduce the Continuous Corn Yield Penalty. In: *Agronomy* 9, (10). DOI: 10.3390/agronomy9100567: 1–28.

Voßhenrich, H., Anter, J., Brunotte, J. (2017): Neues Bonitursystem für die Maisstoppelbearbeitung zur Anwendung in der Wissenschaft. In: Deutsches Maiskomitee e.V. (Hg.): Stroh- und Stoppelmanagement nach Mais. Mais: 24–26.

Winkler, J. (2017): Fusarium-Toxin kontaminierte Futtermittel in der Milchkuhfütterung: Konsequenzen für die Tierernährung und den Toxintransfer in die Milch (Carry-over). Hg. v. Friedrich-Loeffler-InstitutGreifswald (Im Fokus).

Winnige, B., Corzelius, U., Frielinghausen, M. (1998): Indikation der aktuellen Erosionsgefährdung mit Hilfe der Bodenbedeckung. In: Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (88): 569–572.

Wyss, U. (2012): Lebensweise und Entwicklung des Maiszünslers. Der Blick ins „Wohnzimmer“. In: *LU-Wissen*: 7–9.

Zeller, S. (2020): Monitoring und Bekämpfung des Maiszünslers in Südbaden. In: *Mais* 47, (2): 16–18.

Zellner, M., Wagner, S., Weber, B., Hofbauer, J., Weber, M. (2016): Versuchsergebnisse aus Bayern 2016. Versuch zum Vergleich verschiedener Verfahren zur Maiszünslerbekämpfung. Hg. v. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).

Anhang

Anhang 1: Mittlere relative Siebrückstände (Mittelwert \pm Standardabweichung) an den Versuchsstandorten Steinheim und Zeutern 2018

Standort:	Steinheim*			Zeutern*			
	Variante:	HS3	HS2	HS2+M	HS3	HS2	HS2+M
Sieblochdurchmesser [mm]	2	0.95 ± 0.42	0.60 ± 0.39	1.14 ± 0.6	1.64 ± 0.79	1.06 ± 0.68	2.21 ± 0.90
	4	7.63 ± 1.45	4.14 ± 1.24	9.96 ± 1.33	10.61 ± 1.65	9.34 ± 2.20	13.66 ± 3.44
	8	19.26 ± 2.17	15.05 ± 2.60	25.31 ± 3.63	19.96 ± 2.55	19.32 ± 2.27	24.07 ± 3.23
	16	27.39 ± 2.29	27.35 ± 3.24	30.88 ± 2.14	20.15 ± 3.09	21.67 ± 3.56	23.46 ± 2.89
	30	32.37 ± 3.43	36.22 ± 3.71	25.96 ± 3.46	30.29 ± 2.94	30.24 ± 3.24	28.02 ± 5.54
	67	12.41 ± 4.31	16.64 ± 3.53	6.76 ± 3.06	17.35 ± 6.68	18.37 ± 5.08	8.57 ± 3.31

*) 18 Proben je Variante aus je drei Parzellen

Anhang 2: Mittlere relative Siebrückstände (Mittelwert \pm Standardabweichung) an den Versuchsstandorten Bückeberg und Stettfeld 2019

Standort:	Bückeberg*			Stettfeld*			
	Variante:	HS3	HS2	HS2+M	HS3	HS2	HS2+M
Sieblochdurchmesser [mm]	2	0.77 ± 0.17	0.48 ± 0.14	1.53 ± 0.58	1.05 ± 0.37	0.87 ± 0.37	1.29 ± 0.49
	4	3.37 ± 0.73	1.85 ± 0.35	8.09 ± 1.76	4.18 ± 0.66	3.29 ± 0.70	8.46 ± 1.08
	8	11.78 ± 1.45	8.37 ± 1.04	21.45 ± 2.73	14.36 ± 1.61	12.63 ± 1.98	24.56 ± 2.94
	16	23.18 ± 2.45	20.76 ± 2.25	30.59 ± 2.31	25.04 ± 2.32	24.81 ± 3.28	33.22 ± 1.56
	30	40.82 ± 3.65	42.19 ± 2.88	30.58 ± 2.81	41.34 ± 3.39	43.31 ± 5.07	28.23 ± 3.96
	67	20.08 ± 4.12	26.35 ± 4.14	7.76 ± 2.92	14.03 ± 3.25	15.08 ± 6.44	4.24 ± 2.15

*) 18 Proben je Variante aus je sechs Parzellen

Anhang 3: Mittlere relative Siebrückstände (Mittelwert \pm Standardabweichung) an den Versuchsstandorten Kraichtal und Timmaspe 2020

Standort:	Kraichtal*			Timmaspe**			
	Variante:	HS3	HS2	HS2+M	HS3	HS2	HS2+M
Sieblochdurchmesser [mm]	2	1.01 ± 0.47	0.81 ± 0.23	1.82 ± 0.72	0.75 ± 0.24	0.52 ± 0.12	1.57 ± 0.72
	4	4.36 ± 1.29	2.74 ± 0.58	8.30 ± 1.47	3.84 ± 0.5	2.74 ± 0.51	9.08 ± 2.53
	8	14.81 ± 1.89	10.35 ± 1.24	24.47 ± 2.75	14.48 ± 1.2	11.57 ± 1.02	23.99 ± 3.42
	16	22.04 ± 2.69	20.64 ± 2.11	26.75 ± 3.14	19.37 ± 1.73	18.73 ± 2.07	24.67 ± 1.91
	30	41.33 ± 5.38	43.94 ± 3.48	31.82 ± 4.26	39.28 ± 3.96	41.10 ± 4.21	31.92 ± 4.32
	67	16.45 ± 4.65	21.51 ± 4.29	6.84 ± 2.89	22.28 ± 3.68	25.35 ± 4.70	8.77 ± 5.08

*) 18 Proben je Variante aus je sechs Parzellen

**) 15 Proben je Variante aus je fünf Parzellen

Anhang 4: Liste der verwendeten Software

Esri ArcGIS Pro 2.9.0

Google Earth Pro

National Instruments DIAdem 2012 Professional / 2020 Base

Farm Works SST FieldRover II V. 8.2

Microsoft Word 2013

Microsoft Excel 2013

Microsoft PowerPoint 2013

R 3.6.3; Rstudio 2021.09.1