Landwirtschaftliche Reststoffe für die Biogasanlage:

Energetische Nutzung von Maisstroh

Ergebnisse dreijähriger On-farm-Versuche im Südlichen Oberrheintiefland

(2015-2017)

Gefördert durch den
Innovationsfonds
Klima- und Wasserschutz

badenova
Energie. Tag für Tag

ltz Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

badenovaWÄRMEPLUS
Intelligente Lösungen. Tag für Tag

Baden-Württemberg

Herausgeber:
Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Neßlerstr. 25, 76227 Karlsruhe
Tel.: 0721/9468-0, Fax: 0721/9468-209, E-Mail: poststelle@ltz.bwl.de, www.ltz-augustenberg.de
Autoren: Kerstin Stolzenburg (LTZ), Heike Naruhn (LTZ), Matthias Hüger (badenova)
Titelfoto: Kerstin Stolzenburg
Layout: Jörg Jenrich, 2020

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzfassung 9
2 Thema & Stand des Wissens 9
3 Zielsetzung 10
4 Bezug des Vorhabens zu förderpolitischen Zielen 11
4.1 Nationale Forschungsstrategie ‚Bioökonomie 2030' und Landesstrategie ‚Nachhaltige Bioökonomie' Baden-Württemberg 11
5 Material und Methoden 12
5.1 Versuchsbeschreibung 12
5.1.1 Versuchslaufzeit 12
5.1.2 Versuchsziel 12
5.1.3 Beschreibung der Versuchsstandorte 12
5.1.4 Klimatische Verhältnisse 13
5.1.5 Versuchsanlage 15
5.1.6 Erntetechnikversuch 15
5.1.7 Berechnung der Abfuhrraten und Ernteverluste 16
5.1.8 Batch-Versuche 18
5.1.9 Mineralstoff- und N_{min}-Analysen 18
5.1.10 Beschreibung der eingesetzten Technik 20
5.1.11 Erntetermine 24
5.1.12 Berechnung der Wirtschaftlichkeit 25
6 Ergebnisse 25
6.1 Reststroherträge 25
6.1.1 Biomassepotenzial (Stroherträge Handernte, 20 Pflanzen/Parzelle) 26
6.1.2 Theoretischer Reststrohertrag (Stroherträge Handernte, 30 m²-Parzellen) 30
6.1.3 Abgefahrener Strohertrag und Abfuhrraten 33
6.2 Pflanzenlänge zum Erntezeitpunkt 34
6.3 Trockensubstanzgehalt 34
6.4 Verschmutzungen im Erntegut 37
6.5 Strohhäcksellänge 39
6.6 Methanertrag 40
6.7 Energiegehalt 42
6.8 Mineralstoffgehalt 43

6.9 Humus 45
6.10 C/N-Verhältnis im Stroh 47
6.11 Nitrat-Untersuchungen 48
7 Wirtschaftliche Betrachtung 52
8 Zusammenfassung und Ausblick 53
9 Literaturverzeichnis 56

Abbildungsverzeichnis

Abb. 5-1: Witterungsverlauf 2015-2017 (Standort Müllheim) 14
Abb. 5-2: Entnahme der Erntereste aus 30 m²-Parzellen der Variante ‚Biochipper' 17
Abb. 5-3: Entnahme der Erntereste aus 30 m²-Parzellen der Variante ‚Geringhoff' 18
Abb. 5-4: Bodenprobennahme im badenova-Projekt 19
Abb. 5-5: Bodenprobennahme im badenova-Projekt mit Nitrat-Raupe 20
Abb. 5-6: Mähdrescher mit Geringhoffvorsatz Mais Star* Collect 21
Abb. 5-7: Stroh in Schwadablage mit Geringhoffvorsatz 21
Abb. 5-8: Feldhäcksler mit Pick up 21
Abb. 5-9: Ladewagen ‚REPEX 33 K' der Firma Bergmann GmbH 21
Abb. 5-10: Biochipper 22
Abb. 5-11: Zusammengeführter Schwad des Biochippers (12 m Arbeitsbreite) 22
Abb. 5-12: Vergleich Unterflurhäcksler an (links) und aus (rechts) 23
Abb. 5-13: Feldhäcksler mit Strohmax 23
Abb. 5-14: Feldhäcksler mit Direct Disc Vorsatz 23
Abb. 5-15: Feldhäcksler mit Direct Disc Vorsatz und Hänger 23
Abb. 5-16: Biogrinder 24
Abb. 5-17: Befüllung des Biogrinder 24
Abb. 6-1: Maisstroherträge bei unterschiedlicher Strohbergetechnik (2015 bis 2017, Theoretischer und Realer Reststrohertrag) 26
Abb. 6-2: Biomassepotenzial 2015 (Maisstroherträge von 20 Pflanzen je Feld) 27
Abb. 6-3: Biomassepotenzial verschiedener Maissorten 2015 (Maisstroherträge von je 20 Pflanzen je Feld) 27
Abb. 6-4: Biomassepotenzial 2016 (Maisstroherträge von 20 Pflanzen je Feld) 28
Abb. 6-5: Biomassepotenzial verschiedener Maissorten 2016 (Maisstroherträge von je 20 Pflanzen je Feld) 29
Abb. 6-6: Biomassepotenzial 2017 (Maisstroherträge von 20 Pflanzen je Feld) 29
Abb. 6-7: Biomassepotenzial verschiedener Maissorten 2017 (Maisstroherträge von je 20 Pflanzen je Feld) 30
Abb. 6-8: Theoretischer Reststrohertrag 2015 (Maisstroherträge von 30m², konventioneller Mähdrusch vs. Geringhoff Mais Star* Collect + Häcksler) 31
Abb. 6-9: Theoretischer Reststrohertrag 2016 (Maisstroherträge von 30m², konventioneller Mähdrusch vs. Geringhoff + Häcksler und Strohmax) 31
Abb. 6-10: Theoretischer und realer Reststrohertrag im Vergleich zum Biomassepotenzial beim Einsatz des Strohmax 5000 (November, 2016) 32
Abb. 6-11: Theoretischer Reststrohertrag im Technikvergleich 2017 (Maisstroherträge von 30m², konv. Mähdrusch vs. Geringhoff + Häcksler, Biochipper u. Direct Disc) 32

Abb. 6-12: Biochipper (2015-2017) 33
Abb. 6-13: Wuchshöhe zum Erntezeitpunkt (2015-2018) 34
Abb. 6-14: Trockenmassegehalt in Körnermaisstroh (2015-2018) 35
Abb. 6-15: Zusammenhang zwischen Trockenmasse- und Rohaschegehalt in Körnermaisstroh (2015-2018) 36
Abb. 6-16: Trockenmassegehalt in Körnermaisstroh von konventionellen Sorten vs. Stay Green-Sorten (2015-2018) 37
Abb. 6-17: Boden nach der Überfahrt mit dem Biochipper (2015-2018) 38
Abb. 6-18: Rohaschegehalt im Körnermaisstroh (2015-2018) 38
Abb. 6-19: Biochipper und Ladewagen, links nicht zerkleinert und rechts nach Zerkleinerer 39
Abb. 6-20: Geringhoff-Technik und Ladewagen, links nicht zerkleinert und rechts nach Zerkleinerer 40
Abb. 6-21: Methanertrag verschiedener Ernteketten (2015 bis 2017) 41
Abb. 6-22: Verhältnis von Maisstrohertrag zu Methanertrag bei unterschiedlichen Erntevarianten (2015 bis 2017) 42
Abb. 6-23: Energiegehalt und Heizöläquivalent von Körnermaisstroh 43
Abb. 6-24: Nährstoffgehalt im Körnermaisstroh verschiedener Erntetechnikvarianten (Mittel der Jahre 2015 bis 2017) 44
Abb. 6-25: Nährstoffabfuhr mit Körnermaisstroh verschiedener Erntetechnikvarianten (Mittel der Jahre 2015 bis 2017) 44
Abb. 6-26: Nährstoffentzug mit Körnermaisstroh verschiedener Erntetechnikvarianten (Mittel der Jahre 2015 bis 2017) 45
Abb. 6-27: Kohlenstoffgehalt in Körnermaisstroh 46
Abb. 6-28: Kohlenstoffabfuhr mit Körnermaisstroh 46
Abb. 6-29: C/N-Verhältnis von Körnermaisstroh (2015-2017) 48
Abb. 6-30: N_{min} im Boden nach Ernte bzw. zum SchALVO-Termin (2015) 49
Abb. 6-31: N_{min} im Boden zum SchALVO-Termin (2016) 50
Abb. 6-32: N_{min} im Boden zu Vegetationsbeginn (2017) 51
Abb. 6-33: N_{min} im Boden zum SchALVO-Termin (2017) 52
Abb. 7-1: Ertrags- bzw. Kostentendenzen bei Entfernung von 17 km zwischen Feld und Biogasanlage 52
Abb. 7-2: Ertrags- bzw. Kostentendenzen bei Entfernung von 10 km zwischen Feld und Biogasanlage 53

Tabellenverzeichnis

Tab. 5-1: Standortbeschreibung 13
Tab. 5-2: Technik-Varianten in den Versuchsjahren 16
Tab. 5-3: Erntetermine 2015 24
Tab. 5-4: Erntetermine 2016 24
Tab. 5-5: Erntetermine 2017 24

Abkürzungsverzeichnis

N	Stickstoff
C	Kohlenstoff
K	Kalium
P	Phosphor
KM	Körnermais
KW	Kalenderwoche
LTZ	Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg
LW	Landwirt
N_{min}	Summe aus Nitrat- und Ammonium-N im Boden
TM	Trockenmasse
Ufh.	Unterflurhäcksler
konv.	Konventionell
SG	Stay green-Sorte
WÄRME*PLUS*	badenovaWÄRME*PLUS* GmbH & Co. KG
V	Variante
Maisstroh	umfasst die gesamte oberirdische Biomasse der Maispflanze abzüglich der Körner (Gesamtpflanze ohne Körner) zum Zeitpunkt der Kornreife

1 Kurzfassung

Restbiomasse aus der Landwirtschaft als Kaskaden- oder Koppelprodukt kann im Rahmen der Bioökonomie einen zusätzlichen Beitrag zur Energie- und Rohstoffwende sowie zur Energiebereitstellung leisten und damit zum Erreichen der im Klimaschutzplan 2050 gesteckten Ziele beitragen. In Deutschland steht derzeit jährlich ein theoretisches Potenzial von ca. 4 Mio. Tonnen Maisstroh aus der Körnermaisproduktion als Substrat für eine energetische Nutzung in Biogasanlagen oder zur stofflichen Verwertung zur Verfügung (GAUL, 2018; STROBL & FLESCHHUT, 2018). Der landwirtschaftliche Reststoff kann speziell angebauten Silomais teilweise ersetzen und damit zugleich einen Beitrag zur Entschärfung bestehender Flächenkonkurrenzen leisten (BERG *et al.*, 2014). Seine Nutzung macht jedoch effiziente, regional angepasste und rentable Erntemethoden erforderlich. In einem dreijährigen Pilotprojekt des Badenova-Innovationsfonds in Kooperation mit dem Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) wurden in den Jahren 2015 bis 2017 verschiedene, z.T. neu entwickelte Ernteverfahren verglichen, Erträge und Abfuhrraten quantifiziert, Qualitätsparameter wie Trockenmasse- und Rohaschegehalte ermittelt, eine Abschätzung des möglichen Methangaspotenzials vorgenommen sowie die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Systeme berechnet. Einige der untersuchten Ernteverfahren erscheinen für den Praxiseinsatz praktikabel und geeignet, den Substratmix einer Biogasanlage sinnvoll mit Maisstrohsilage zu ergänzen. Nach ersten Erfahrungen aus dem vorliegenden Projekt ist davon auszugehen, dass, basierend auf dem Methanertrag, Stroh von einem Hektar Körnermais bis zu ein Viertel Hektar Silomais ersetzen kann.

2 Thema & Stand des Wissens

Mais hat sich in Deutschland im Verlauf weniger Jahrzehnte zu der nach Weizen wichtigsten Kultur entwickelt (LÜTKE ENTRUP *et al.*, 2011). Der Anbau von Energiemais ist allerdings aufgrund der hohen Konzentration in Veredlungsregionen, einer anhaltenden Diskussion um Monokulturen, verminderte Artenvielfalt, ‚Vermaisung' der Landschaft und Nutzungskonflikte (z. B. Tank-Teller-Diskussion, Grünlandumbruch) in die Kritik geraten und dadurch auch von mangelnder Akzeptanz in der Bevölkerung geprägt (BÖRNECKE, 2010; NESTLER, 2012; OSTERTAG & FLESCHHUT, 2016). Eine Alternative zur Entschärfung dieser Konflikte könnte u.a. in der Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe und Koppelprodukte liegen (BECKER & SCHMIDT, 2014; GARMEISTER, 2018). Bei der Produktion von Körnermais fällt Maisstroh als Reststoff an. Deutschlandweit kommen so jährlich knapp 10 Tonnen/ha (KOLBE & ZIMMER, 2015; KALTSCHMITT *et al.*, 2016; STROBL, 2016) bzw. ca. 4 Mio. Tonnen Maisstroh insgesamt zusammen (FLESCHHUTH, 2015; GAUL, 2018), die in der Regel auf dem Feld verbleiben, eingearbeitet werden und der Nährstoffrückführung sowie der Humusversorgung der Böden dienen (PEYKER, 2008; FLESCHHUT & STROBL, 2017). Demgegenüber werden derzeit schätzungsweise 13 Mio. t TM Silomais eigens für die Verwertung in der Biogasanlage angebaut (DMK, 2019; FNR, 2019), da die Kultur als Substrat sowohl aus produktionstechnischer, als auch aus energetischer und ökonomischer Sicht hervorragende Eigenschaften aufweist (HARTMANN, 2008; LÜTKE ENTRUP, BREITSCHUH & MEßNER, 2011; BOCKHOLT, 2018). Diese Menge ließe sich durch die energetische Nutzung von Körnermaisstroh teilweise substituieren. Da das Stroh bislang noch nicht mit anderen biobasierten Verwertungslinien konkurriert und ein nahezu ungenutztes Potential zur Verfügung steht, wären ideale Voraussetzungen für eine klassische Win-win-Situation gegeben (OSTERTAG & FLESCHHUT, 2016), wenn die mit der

Abfuhr verbundene Nährstoffentnahme über die Rückführung von Gärresten aus der Biogasanlage ausgeglichen und die Humusbilanz nicht negativ beeinflusst wird.

Allein im Südwesten Deutschlands, im Gebiet der Oberrheinebene, wird derzeit auf bis zu 50 Prozent der Ackerflächen Körnermais angebaut (HARTMANN, 2014). Die Bereitstellung des Strohs als Energieträger erfordert jedoch effiziente Erntemethoden, bei der die Bergung des Substrates möglichst ohne zusätzliche Feld-Überfahrten in den üblichen Ernteablauf integriert wird, um bei den Landwirten eine sowohl aus arbeitsökonomischer als auch aus finanzieller Hinsicht entsprechende Akzeptanz zu erreichen (HÜGER, 2017).

Während die Ernte von Getreidestroh technisch unproblematisch ist, stellt die Bergung von Körnermaisstroh eine größere Herausforderung dar. Ein Grund dafür ist, dass beim Dreschen von Körnermais, anders als bei Getreide, nicht die gesamte Pflanze den Mähdrescher passiert - und das Stroh auf Schwad abgelegt wird -, sondern im Wesentlichen nur die vom Pflücker abgetrennten Kolben, während die Restpflanze durch den Unterflurhäcksler am Pflückvorsatz zerkleinert und breitflächig verteilt wird. Deshalb sind adaptierte Ernteverfahren erforderlich, um das Stroh bergen zu können. Spezielle Techniken für die Bergung von Körnermaisstroh befinden sich in der Entwicklung, müssen an räumliche Strukturen und Erfordernisse sowie an das Biomasseaufkommen angepasst, optimiert und mit der Leistung bereits vorhandener Strohbergesysteme verglichen werden.

Zu möglichen Abfuhrraten, der Qualität des Erntematerials, zu Bergungsverlusten, die gleichzeitig ein Humusbildungspotenzial darstellen, sowie zu den Kosten einzelner Verfahren lagen zu Beginn des Projektzeitraumes ebenfalls nur unzureichende Kenntnisse vor. Im Fokus des dreijährigen Pilotprojektes des Badenova-Innovationsfonds in Kooperation mit dem Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) standen deshalb Untersuchungen zur Eignung verschiedener Ernteverfahren, insbesondere die Quantifizierung von Stroherträgen und Ernteverlusten und zudem, im Hinblick auf eine Verwertung in Biogasanlagen, die Trockenmasse- und Rohaschegehalte sowie Fragen zur Ertragsstruktur, zur Maisstrohqualität sowie zur Methanausbeute.

3 Zielsetzung

Das vorliegende Forschungsprojekt fokussierte vor dem Hintergrund der Optimierung einer kreislauforientierten Wirtschaftsweise insbesondere auf die Entwicklung technischer Maßnahmen, die eine energetische Substratnutzung von überschüssigem Körnermaisstroh ermöglichen. Zu Projektbeginn lagen in diesem Bereich weder entsprechende Untersuchungen noch belastbare Daten vor, so dass ein On-farm-Vergleich mit am Markt verfügbarer bzw. in der Entwicklung befindlicher Strohbergungstechnik zum Kernstück des Vorhabens wurde. Hier sollte neben der Arbeitsweise die maschinelle Eignung verschiedener, z.T. neu entwickelter Ernteverfahren getestet werden. Zusätzlich zur technischen Machbarkeit standen Fragen zur Quantität und Qualität des Erntegutes auf dem Prüfstand. Dazu wurden die auf der Ackerfläche verbleibende Reststrohbiomasse bestimmt, Ernteverluste und Abfuhrraten ermittelt, die Ertragsstruktur sowie Qualitätsparameter untersucht, wie beispielsweise Trockenmasse- und Rohaschegehalte, und die Siliereignung des ligninreichen Materials sowie die mögliche Methanausbeute geprüft. Zeitmessungen in den Prozessketten sollten abrundend Berechnungen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Verfahren beim Einsatz in einer durch kleinteilige Landwirtschaft charakterisierten Oberrhein-Region ermöglichen.

Der vorliegende Abschlussbericht stellt zusammenfassend dar, welche technischen Möglichkeiten zur Körnermaisstrohbergung in der Region verfügbar und gewinnbringend einsetzbar sind und welche Erkenntnisse aus dem Einsatz der verschiedenen Strohbergesysteme im Hinblick auf die Rohstoffqualität des Erntegutes als Substrat für Biogasanlagen gewonnen werden können.

4 Bezug des Vorhabens zu förderpolitischen Zielen

4.1 Nationale Forschungsstrategie ‚Bioökonomie 2030' und Landesstrategie ‚Nachhaltige Bioökonomie' Baden-Württemberg

Eine nachhaltige Rohstoff- und Energieversorgung aus Biomasse, der Erhalt und die Verbesserung der biologischen Vielfalt, die Förderung von Klima- und Umweltschutz sowie der Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit in der Wirtschaft stellen sowohl Wissenschaft als auch produzierende Bereiche in Deutschland vor große Herausforderungen (BMBF, 2010). Zur Umsetzung bedarf es neben gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und politischen Anstrengungen vor allem eines Systemwechsels in der Art und Weise, wie Rohstoffe und Güter nachhaltig produziert, genutzt und am Ende ihrer Lebensdauer in den Stoffkreislauf zurückgeführt bzw. energetisch verwertet werden.

Hier setzt das Projekt des Badenova-Innovationsfonds in Kooperation mit dem Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) an, um im Bereich nachhaltiger Verwertung landwirtschaftlicher Reststoffe die Machbarkeit aus pflanzenbaulicher, technischer und ökologischer Sicht abzuschätzen bzw. vorhandene Wissenslücken aufzuspüren und zu schließen. In einem ganzheitlichen Konzept von Bedarfsermittlung, Ernte- und Abfuhrleistung, effizienter Erntetechnik sowie vor dem Hintergrund boden- und grundwasserschonender Entnahme von Biomasse, werden sowohl die pflanzenbaulichen Grundlagen einer nachhaltigen Rohstoffproduktion und -bereitstellung gesichert und die Basis für den Anbau von Biomasse als Energieträger und nachwachsendem Rohstoff ausgebaut, als auch ein Beitrag zum Natur- und Umweltschutz geleistet sowie neue Verwertungsmöglichkeiten mit Blick auf eine Koppel- und Kaskadennutzung von Körnermaisstroh im Sinne einer wissensbasierten und wettbewerbsfähigen Bioökonomie unterstützt.

Mit dem Schwerpunkt auf der Entwicklung von Technologien und Systemen zur Bioenergiegewinnung und -nutzung berührt das Forschungsprojekt zugleich mehrere der herausgestellten Maßnahmen zum Erreichen strategischer Ziele sowohl der Nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie 2030 (BMBF, 2010) als auch der Landesstrategie ‚Nachhaltige Bioökonomie Baden-Württemberg' und fügt sich in Leitziele und -gedanken einer kreislauforientierten Bioökonomie ein, indem die Nutzung überschüssigen Körnermaisstrohs als erneuerbarer Ressource u.a.

- in nachhaltiger Nutzung unter Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit erfolgen soll,
- den Schutz des Klimas und der Umwelt in den Fokus stellt,
- Nutzungswege in ihren Wechselwirkungen betrachtet sowie
- die gesamte Wertschöpfungskette in den Blick nimmt.

5 Material und Methoden

5.1 Versuchsbeschreibung

5.1.1 Versuchslaufzeit

Die Versuchslaufzeit des Projektes erstreckte sich vom 01.09.2015 bis 31.12.2017.

5.1.2 Versuchsziel

Hauptziel des Pilotprojekts war es, das bei der Körnermaisernte in großen Mengen anfallende Stroh als landwirtschaftlichen Reststoff zu nutzen und hierfür intelligente und wirtschaftlich darstellbare Erntemethoden zu entwickeln. Mit dem Versuchsvorhaben sollten in Praxisversuchen einerseits die Einsatzmöglichkeiten und die Praxistauglichkeit der Erntetechnik und andererseits die quantitativen und qualitativen Aspekte (z. B. Ertrag, Gasausbeute, Rohstoffqualität) rund um das Erntematerial sowie der Boden- und Wasserschutz (N_{min}-Gehalte) betrachtet werden.

Folgende Fragestellungen sollten beantwortet werden:

- Welche Erntetechnik kann zur Bergung auf Praxisflächen grundsätzlich eingesetzt werden?
- Kann auf den vorhandenen Technikbestand bzw. auf in der Entwicklung befindliche Maschinen zurückgegriffen werden?
- Welche Logistikketten sind für die Bergung von Maisstroh mit der jeweiligen Technik nötig?
- Wie hoch ist die tatsächlich erzielbare Strohabfuhr der unterschiedlichen Bergetechniken gegenüber dem potenziell erntbaren Maisstrohertrag?
- Wie hoch sind die Gaserträge des silierten Körnermaisstrohs gegenüber Substraten aus der Silomaisernte?
- Welche Rolle spielt der späte Erntetermin im Hinblick auf die Gasausbeute?
- Wie wird die Substratqualität durch die jeweilige Erntetechnik, z. B. durch Verschmutzung beeinflusst?
- Wie setzt sich das geerntete Maisstroh stofflich zusammen?
- Welche Rolle spielt die Sortenwahl? Schneiden ‚Stay Green'-Sorten besser ab als ‚normale' Maissorten?
- Wieviel Stroh darf dem System entnommen werden, damit der Humushaushalt ausgeglichen bleibt?
- Welche Auswirkungen hat die Entnahme von Körnermaisstroh auf wasserschutzrelevante Aspekte wie beispielsweise die Nitratgehalte im Boden?
- Wie gestaltet sich die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Bergetechniken?

5.1.3 Beschreibung der Versuchsstandorte

WÄRME*PLUS* zeichnete verantwortlich für die Auswahl und Bereitstellung der Versuchsflächen. Dabei wurde auf die Bedingungen im Gebiet der Oberrheinebene fokussiert. Alle Technik-Prüfungen erfolgten deshalb in Südbaden im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald, in der Region Neuenburg am Rhein sowie in Müllheim und im Jahr 2016

zusätzlich mit einem Versuchsfeld in Raum Lörrach (Tab. 5-1). Eine ursprünglich angedachte Idee, auch Flächen im benachbarten Elsass mit einzubeziehen, wurde aus logistischen und finanziellen Gründen verworfen.

Im Versuch wurden On-Farm-Flächen mit diversen Technikvarianten und – im ersten Versuchsjahr – Praxis-Maisbestände unterschieden, denen lediglich Probenmaterial entnommen wurde. Die Standorte zeichneten sich, mit Ausnahme der Fläche in Lörrach, die eine Osthanglage aufwies, durch ebene Ackerflächen aus.

Die On-Farm-Flächen wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Sie sollten in der Nähe der Biogasanlage der Firma badenovaWÄRME*PLUS* GmbH & Co. KG (Gewerbepark Breisgau) und
- in einer Region mit hohem Anteil an Körnermaisflächen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche liegen.

Tab. 5-1: Standortbeschreibung

Jahr	Standort (Feld-Nr.)	Boden-Klima-Raum (Nr.)	Höhe über NN (m)	Niederschlag (mm) Jahressumme	Temperatur (°C) Jahresmittel	Bodenart
2015	Schliengen (1 und 2)	Rheinebene und Nebentäler (121)	237	550	12,6*	tu
	Müllheim (3)		224	550	12,6	ls
	Buggingen (4)		227	550	12,6	ls
2016	Müllheim (10)		223	806	11,8	ls
	Zienken (3)		220	806	11,8	ls
	Lörrach (5)		440	1005	10,2	lu
2017	Müllheim (1)		223	697	12,2	ls
	Zienken (2)		220	697	12,2	ls

5.1.4 Klimatische Verhältnisse

Der Oberrheingraben zählt zu den wärmsten Regionen Deutschlands und ist geprägt durch den klimatischen Gegensatz zwischen Grabensenke und Randgebirgen. Die Witterung variierte während des dreijährigen Prüfzeitraumes standort- und jahresabhängig. Abbildung 5-1 fasst die Monatsmitteltemperaturen und -niederschläge am Standort Müllheim 2015 bis 2017 in Relation zum langjährigen Standortmittel für die jeweiligen Versuchsjahre zusammen.

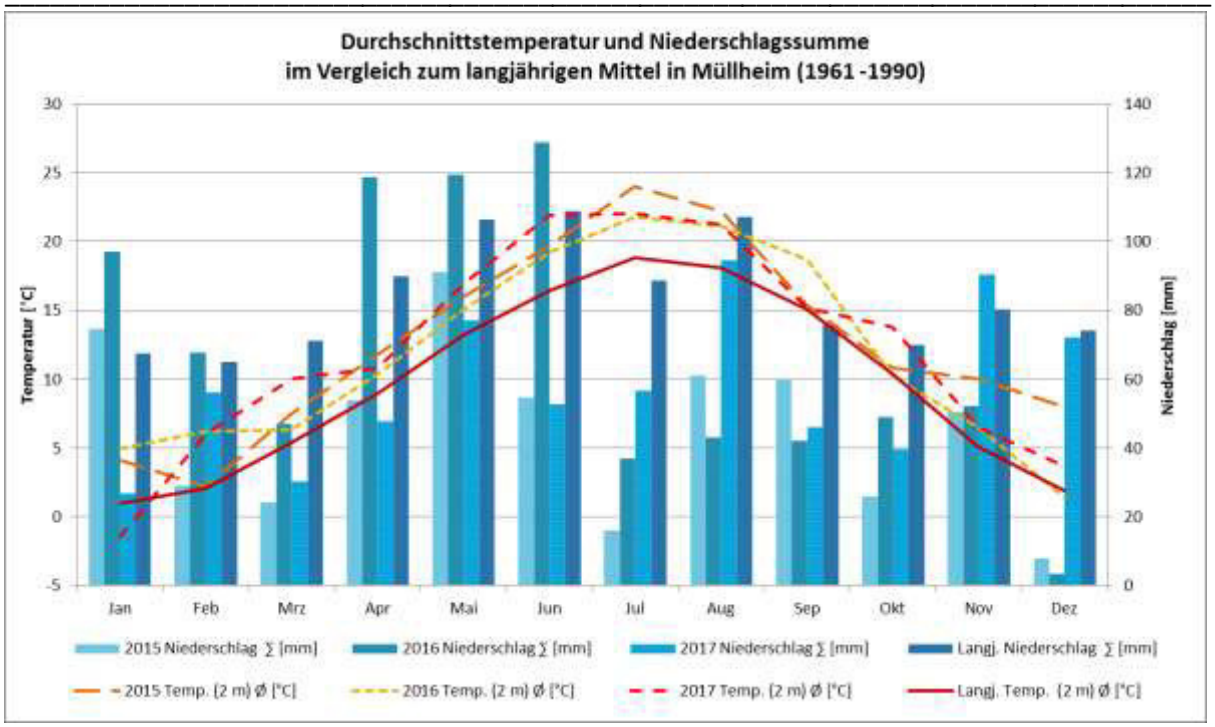

Abb. 5-1: Witterungsverlauf 2015-2017 (Standort Müllheim, LTZ Augustenberg Agrarmeteorologie BW, 2017)

Witterungsverlauf 2015

Das Jahr 2015 wird als überdurchschnittlich warmes Jahr angegeben. In Deutschland wurde eine Durchschnittstemperatur von 9,9 °C gemessen. Damit war es um 1,7 Grad wärmer als im Mittel der international gültigen Referenzperiode 1961 bis 1990. Südbaden verzeichnete ein warmes und sonnenscheinreiches Frühjahr, wobei die Monate März und April als zu trocken galten. Im Mai fielen ausreichende Niederschläge; im Süden wiederum war es eher feucht (DWD, 2015/1). Der Juni fiel zu Monatsbeginn und -ende sehr trocken aus. Trotz einiger lokaler Gewitter mit Starkregen blieb die Bodenfeuchtesituation insgesamt angespannt. Die Monate Juli und August verzeichneten hohe Temperaturen bis zu neuen Hitzerekorden; der Monat August ging als zweitwärmster Monat seit Wetteraufzeichnung in die Statistik ein.

Die Niederschlagsmenge blieb im Schnitt mit 688 Litern pro Quadratmeter um 13 Prozent unter dem Soll von 789 l/m². Die südlichen Regionen litten ab dem Sommer unter einer Dürre, die mit kurzen Unterbrechungen bis zur Ernteperiode andauerte. Mit 1.723 Stunden erreichte der Sonnenschein in der Region 113 Prozent des Solls von 1.528 Stunden. Nach Aufzeichnungen des DWD zeigte sich die Sonne mit mehr als 2000 Stunden im Breisgau am längsten. Die Erträge von Körnermais lagen aufgrund der klimatischen Bedingungen bei unterdurchschnittlichen 88,1 dt/ha im deutschlandweiten Vergleich und bei 84,3 dt/ha in Baden-Württemberg (DMK, 2017).

Witterungsverlauf 2016

Das feuchte Frühjahr in Baden-Württemberg, ungünstige Saatbedingungen in Verbindung mit einer Kälteperiode Ende April führte zu einem deutlich verzögerten Auflaufen der

Maispflanzen im Versuchsjahr 2016. Die darauf folgenden Monate waren wiederum durch Trockenheit und Hitze im Hochsommer gekennzeichnet (BUTZ, 2017). Die durchschnittlichen Erträge von Körnermais lagen mit 96,1 dt/ha in Baden-Württemberg 2016 etwas höher als 2015 (STATISTISCHES LANDESAMT BW, 2017/1).

Witterungsverlauf 2017

Der April war kühl und trocken, die günstigen Witterungsbedingungen Mitte April führten jedoch zu einem raschen Auflaufen der Maissaat im Jahr 2017. Spätfröste Ende des Monats fügten den jungen Pflanzen nur marginalen Schaden zu (BRUCKER, 2017). Im Mai zogen die Temperaturen rasch an, die Niederschlagsmenge blieb allerdings gering. Der Juni zeigte sich sehr warm und trocken und kurzzeitig auch feucht. Im Juli hielt die sommerliche Hochdruckphase an, es entluden sich jedoch auch heftige Gewitter. Insgesamt konnte ein relativ ungestörtes Wachstum bei Mais beobachtet werden (DWD, 2017/1). Im Monat August brachte der unbeständige Witterungsverlauf viele Niederschläge (DWD, 2017/2). Im September kühlten die Temperaturen ab und damit stagnierte auch das Wachstum beim Maises (BRUCKER, 2017). Der Körnermaisertrag für Baden-Württemberg lag bei 97,1 dt/ha und damit auf einem höheren Niveau als 2016 (STATISTISCHES LANDESAMT BW, 2017/3).

5.1.5 Versuchsanlage

Im technischen Teil des Projektes wurden Erntestreifen ohne Wiederholung in etablierte Maisbestände gelegt. Die Größe der Streifen betrug in jeder Variante ca. einen halben Hektar, um praxisrelevante Aussagen treffen zu können. Die Versuchsstandorte lagen alle im Boden-Klima-Raum 121, Rheinebene und Nebentäler, wurden betriebsüblich bestellt und bearbeitet und vor der Erntekampagne von WÄRME*PLUS*, basierend auf der Bereitschaft der Landwirte, Flächen für die Versuche zur Verfügung zu stellen, jährlich neu bestimmt. Dadurch lagen jedoch vor allem im Jahresvergleich keine einheitlichen Bedingungen vor. Es wurden unterschiedliche Vorfrüchte und Zwischenfrüchte angebaut, verschiedene Bewässerungs-, Düngungs- und Sortenstrategien angewendet und auch die Böden hatten in ihrer differenzierten Beschaffenheit Einfluss auf Erträge und Strohbergungspotenzial. So fuhr beispielsweise der Häcksler auf stark steinhaltigen Böden mit deutlich höher eingestelltem Pick-up-Vorsatz als auf steinarmen Flächen, um Verschleiß und Beschädigungen zu vermeiden, was sich auf die Stoppelhöhe und die geerntete Strohmenge auswirkte.

Die Erntetermine orientierten sich an der Druschreife der Körner (einheitliches BBCH-Stadium) und variierten dadurch von Jahr zu Jahr. Die Kornfeuchte lag zum Erntezeitpunkt zwischen 22 % und 28 %, der Trockenmassegehalt des Strohs bei 35 bis 66 %.

5.1.6 Erntetechnikversuch

Für die vergleichende Bewertung und Analyse von Ernteverfahren zur Maisstrohbergung hinsichtlich ihrer Bergungsraten sowie der erzeugten Maisstrohqualität, wurden im Versuchszeitraum insgesamt sieben Technikvarianten als zwei- bzw. dreistufige Verfahren verglichen (Tab. 5-2). Aus logistischen Gründen war es nicht möglich, alle Verfahren parallel in einem oder mehreren Jahren zu prüfen. Teilweise stand nur ein Prüfjahr je Technikvariante zur Verfügung. Lediglich die Techniklinien ‚Konventioneller Mähdrusch' und ‚Geringhoff Mais Star* Collect + Häcksler' wurden dreijährig verglichen, wobei vermerkt

werden muss, dass nach den ersten Erfahrungen im Jahr 2015 am Geringhoff-Vorsatz fortlaufend technische Anpassungen vorgenommen wurden, die in der Folge zu Verbesserungen der Leistung führten.

Tab. 5-2: Technik-Varianten in den Versuchsjahren

Variante	Erntetechnik	Jahr
1	Konventioneller Mähdrusch	2015-2017
2	Geringhoff Mais Star* Collect + Häcksler	2015-2017
3	Geringhoff Mais Star* Collect + Ladewagen	2016-2017
4	Konventioneller Mähdrusch (Unterflurhäcksler an) + Strohmax 5000	2016
5	Konventioneller Mähdrusch (Unterflurhäcksler aus) + Strohmax 5000	2016
6	Konventioneller Mähdrusch + Biochipper + Ladewagen	2017
7	Konventioneller Mähdrusch (Unterflurhäcksler aus) + Häcksler mit Claas Direct Disc 520	2017

5.1.7 Berechnung der Abfuhrraten und Ernteverluste

Den Technikvarianten wurden Kontrollvarianten gegenübergestellt, in denen die potenziell vorhandenen Strohmengen ermittelt wurden. Zur Bestimmung des Maisstrohpotenzials als Ausgangsparameter für die gesamte, nach dem Mähdrusch auf dem Feld verbleibende oberirdische Biomasse, wurden im stehenden Bestand der Versuchsvarianten aus zufällig ausgewählten Teilflächen je 20 Pflanzen von Hand geerntet (**Biomassepotenzial**). Vergleichbar mit pflanzenbaulichen Exaktversuchen, erfolgte die Quantifizierung der Stroherträge in Form einer Gesamtpflanzenernte abzüglich der Körner, die vor dem Wiegen aus den Kolben des Erntematerials gerebbelt und separiert wurden. Spindeln und Lieschen wurden dem Reststroh wieder beigefügt, um die Gesamtstrohmenge nach dem Mähdrusch zu simulieren.

Zur Abschätzung von Bergungsmengen und Ernteverlusten in den einzelnen Verfahrensketten erfolgte eine händische Ermittlung der Restbiomasse. Dazu wurden in ein- bzw. zweifacher Wiederholung die abgeschnittenen Maisreste von jeweils 30 m² auf den Flächen der Technik-Varianten mit Schwad-Ablage sowie nach dem konventionellen Mähdrusch in Big Bags eingesammelt, verwogen, gehäckselt und beprobt (Abb. 5-2 und 5-3) (**Theoretischer Reststrohertrag**).

In den Jahren 2016 und 2017 erfolgte auch die Erfassung des tatsächlich geernteten Maisstrohertrages mit Lade- bzw. Abfuhrwagen an der Hofwaage der Biogasanlage. Das Verhältnis von abgefahrener Strohmenge (**Realer Reststrohertrag**) und Maisstrohpotenzial (Biomassepotenzial) ermöglichte anschließend die Berechnung der Abfuhrraten der einzelnen Ernteverfahren. Aus der Differenz von Maisstrohpotenzial (Biomassepotenzial) und abgefahrenem Strohertrag (Realer Reststrohertrag) ließen sich die Ernteverluste ermitteln, die Bergungsverluste wiederum aus der Differenz der auf Schwad gelegten Strohmenge (Theoretischer Reststrohertrag) und der abgefahrenen Strohmenge (Realer Reststrohertrag).

➢ 20 Pflanzen	**Biomassepotenzial**	=	Maisstrohpotenzial (gesamte theoretisch erntbare Biomasse)
➢ 30 m²	**Theoretischer Reststrohertrag**	=	Erntereste nach Korndrusch (händisches Einsammeln in Big Bags, Verwiegung an mobiler Zugwaage)
➢ abgefahrene Strohmenge	**Realer Reststrohertrag**	=	Maschinelle Aufnahme und Abfuhr des Reststrohs aus dem Schwad mit Häcksler, Transportwagen, Ladewagen (Ertragsermittlung an Hofwaage der Biogasanlage)

Abfuhrraten	=	Realer Reststrohertrag / Biomassepotenzial
Ernteverluste	=	Biomassepotenzial - Realer Reststrohertrag
Bergungsverluste	=	Theoretischer Reststrohertrag - Realer Reststrohertrag.

Abb. 5-2: Entnahme der Erntereste aus 30 m²-Parzellen der Variante ‚Biochipper' (Foto: Stolzenburg)

Abb. 5-3: Entnahme der Erntereste aus 30 m²-Parzellen der Variante ‚Geringhoff' (Foto: Stolzenburg)

5.1.8 Batch-Versuche

Zur Bewertung der Rohstoffqualität wurden den Varianten Proben für die Methananalyse entnommen. Die für die Laborversuche verwendeten Substrate wurden direkt nach der Ernte eingefroren. Die Bestimmung des Methanproduktionspotenzials der Körnermaisstrohproben erfolgte mittels Batch-Verfahren an der Fachhochschule Offenburg nach VDI Richtlinie 4630. Die Gärversuche liefen in der Regel in Dreifachbestimmung; die Versuchsdauer betrug jeweils 28 Tage. Als Referenzsubstrat zur Prüfung der biologischen Aktivität des Impfschlamms wurde mikrokristalline Zellulose (Avicel ph 101) eingesetzt. Da in die 2-Liter-Batch-Behälter nur Strohteile kleiner 10 cm Länge eingebracht werden konnten und um einen reibungslosen Versuchsverlauf zu gewährleisten, erfolgte im Labor eine manuelle Einkürzung der ansonsten inhomogenen Fasern.

5.1.9 Mineralstoff- und N_{min}-Analysen

Zur Bewertung der Wasserschutzaspekte bei der Nutzung von Reststroh wurden N_{min}-Proben u.a. nach der Ernte bzw. zum sog. SchALVO-Termin (Vegetationsende) gezogen. Die Beprobung erfolgte mittels Krumenbohrer bzw. Bohrstock, System Pürckhauer, mit Nutdurchmesser 18 mm – Markierungen bei 30, 60, 90 cm – vorgenommen (Abb. 5-4 und Abb. 5-5). Die Beprobung erfolgte mit jeweils drei Einstichen je Versuchsparzelle. Das Probenmaterial wurde dem Bohrstock, getrennt nach den Bodenschichten 0-30 cm, 30-60

cm und 60-90 cm, entnommen und zu Mischproben zusammengefasst, wobei die tiefste Bodenschicht im Versuchszeitraum aus Gründen der fehlenden Bodenfeuchte nicht regelmäßig untersucht werden konnte. Im Anschluss an die Materialentnahme wurden die Proben umgehend auf minus 18 °C eingefroren, wenn sie im Labor des LTZ Augustenberg nicht zeitnah aufbereitet werden konnten.

Im ersten Versuchsjahr basierte die Flächenauswahl mehr oder weniger auf Ad-hoc-Entscheidungen, da die Planungsphase vor Projektbeginn überaus kurz war. So war auf einigen Schlägen auch nur eine nachträgliche Handernte aus einem Restbestand an Pflanzen möglich, da die maschinelle Ernte bereits erfolgt war bzw. nicht kurzfristig begleitet werden konnte. Eine N_{min}-Beprobung wurde hier nur stichprobenmäßig vorgenommen und folgte in der Regel einer konventionellen Körnermaisernte.

Die Untersuchungen erfolgten 2015 sowohl direkt nach der Ernte als auch zusätzlich zum SchALVO-Termin (15.10. bis 15.11.). Ab dem zweiten Versuchsjahr entfiel der Nacherntetermin; die N_{min}-Beprobungen wurden auf den SchALVO-Termin reduziert.

Abb. 5-4: Bodenprobennahme im badenova-Projekt (Foto: Stolzenburg, 2017)

Abb. 5-5: Bodenprobennahme im badenova-Projekt mit Nitrat-Raupe (Foto: Stolzenburg, 2017)

5.1.10 Beschreibung der eingesetzten Technik

WÄRME*PLUS* übernahm die Festlegung der Ernte- und Siliertechnik sowie die Beauftragung der jeweiligen Landwirte und Lohnunternehmer. Nachfolgend erfolgt eine detaillierte Beschreibung der eingesetzten Technikvarianten:

5.1.10.1 Konventionelle Ernte

Sowohl die konventionelle Maisernte als auch die Ernte mit Geringhoff-Vorsatz wurden in den Versuchsjahren 2015 bis 2017 mit einem ‚Claas Lexion 560' durchgeführt, der standardmäßig mit APS Dreschsystem und Multifinger-Separation-System (MSS), einer Trommel mit gesteuerten Zinken über den Schüttlern, ausgerüstet ist (CLAAS, 2017).

5.1.10.2 Geringhoff-Erntetechnik

Der Erntevorsatz ‚Mais Star* Collect' der Firma Carl Geringhoff Vertriebsgesellschaft mbH & Co. KG (Abb. 5-6) ermöglicht das Pflücken von Körnermais und die Ablage des Strohs im Schwad (Abb. 5-7) in einem Arbeitsgang. Herkömmliche Verfahren erfordern hierfür einen separaten Arbeitsschritt, durch den bei Aufnahme des Strohs vom Boden verstärkt zu Verunreinigungen sowie zu mehr Verschleiß beim Feldhäcksler kommen kann. Das Gerät verfügt über eine verstellbare Schneckenmulde, die in geöffnetem Zustand für Schwadablage, in geschlossenem Zustand für breitflächige Strohablage sorgt. Die Arbeitsbreite umfasste im Versuch 8 Maisreihen bzw. 6 m; die Schwadbreite betrug ca, 1,2 m.

Abb. 5-6: Mähdrescher mit Geringhoffvorsatz Mais Star* Collect (Foto: Naruhn)

Abb. 5-7: Stroh in Schwadablage mit Geringhoffvorsatz
(Foto: Naruhn)

5.1.10.3 Feldhäcksler

Der Strohschwad nach Mähdrusch mit Geringhoff-Vorsatz Mais Star* Collect wurde in einem absätzigen Arbeitsgang von einem Feldhäcksler aufgenommen, zerkleinert und in einen nebenher fahrenden Transportwagen überladen (Abb. 5-8). Im Projekt fuhr 2015 und 2016 ein Modell der Firma Maschinenfabrik Bernard Krone GmbH & Co. KG mit dem Pick-up-Vorsatz ‚EasyFlow'. Im Jahr 2017 kam das Modell ‚Jaguar' der Fima Claas KGaA mbH mit dem Vorsatz ‚PICK UP 300' zum Einsatz.

Abb. 5-8: Feldhäcksler mit Pick up
(Foto: Naruhn)

Abb. 5-9: Ladewagen ‚REPEX 33 K' der Firma Bergmann GmbH
(Foto: Naruhn)

5.1.10.4 Ladewagen

Mit dem Ladewagen wird das auf Schwad liegende Maisstroh aufgesammelt und mittels Schneidwerk zerkleinert. Der im Versuchsjahr 2016 eingesetzte Ladewagen stammt von der Firma B. Strautmann & Söhne GmbH u. Co.. Im Jahr 2017 kam ein Ladewagen der Firma Ludwig Bergmann GmbH, Model Repex 33 K zum Einsatz (Abb. 5-9).

5.1.10.5 Biochipper

Nach der konventionellen Ernte mit breiter Strohablage wurde im Jahr 2017 der Biochipper der Firma BioG GmbH eingesetzt (Abb. 5-10). Bei diesem Gerät handelt es sich um einen weiterentwickelten Standard-Schlegelmulcher, der mit einem Transportband versehen ist.

Das Stroh sowie die gemulchten Stoppeln wurden durch den von der Schlegelwelle erzeugten Sog aufgesaugt, gehäckselt und mittels Transportband als Schwad auf der Seite abgelegt. Dies ermöglichte die anschließende Aufnahme per Ladewagen. Der Biochipper wird mit Arbeitsbreiten von 3 bis 6 m angeboten und kann bei gegenläufigem Fahren Erntereste von bis zu 12 m Arbeitsbreite zu einem Schwad zusammenführen (Abb. 5-11). Die Arbeitsgeschwindigkeit beträgt bis zu 10 km/h.

Abb. 5-10: Biochipper
(Foto: Naruhn)

Abb. 5-11: Zusammengeführter Schwad des Biochippers (12 m Arbeitsbreite)
(Foto: Naruhn)

5.1.10.6 Strohmax 5000-2

Der Erntevorsatz ‚Strohmax 5000-2' der M&R / Maschinen und Fahrzeughandel GmbH (Abb. 5-13) kann laut Hersteller mit nur geringen Umbauten an herkömmlichen Feldhäckslern arbeiten. Das Gerät besitzt im Inneren eine rotierende Welle, an der sogenannte Schlegel befestigt sind, die das Maisstroh in beliebig verstellbarer Höhe von der Wurzel abschlagen und durch ein Sieb transportieren. Der durch das Rotieren der Welle entstehende Sog lässt das Gerät auch Kleinststoffe aufnehmen, die ebenfalls durch das eingebaute Sieb befördert werden. Das Erntegut wird anschließend der Häckseltrommel des Feldhäckslers zugeführt, die das Material zerkleinert und auf den Abtransport-Wagen verbringt. Die Sieblinie soll den Schmutzanteil im Erntegut je nach Fahrgeschwindigkeit auf unter 5 % reduzieren und eine Reststrohbergung von ca. 90 bis 95 % ermöglichen (M&R, 2018). Eingesetzt wird das Gerät absätzig nach der konventionellen Ernte mit breiter Strohablage. Die Arbeitsbreite beträgt 4,8 m bzw. 6 Reihen, die Ernteleistung bei ausgeschaltetem Unterflurhäcksler ca. 2 ha je Stunde.

Abb. 5-12: Vergleich Unterflurhäcksler an (links) und aus (rechts)
(Foto: Naruhn)

Abb. 5-13: Feldhäcksler mit Strohmax
(Foto: Naruhn)

5.1.10.7 Direct Disc

Ein weiteres Gerät, das nach der konventionellen Ernte mit breiter Strohablage und hoher Stoppel eingesetzt werden kann, ist der Feldhäckslervorsatz ‚Direct Disc 610' der Firma Claas KGaA mbH (Abb. 5-14 und 5-15). Die Maisstoppeln werden mit einem ‚MAX CUT'-Mähbalken geschnitten und das Pflanzenmaterial mittels höhenverstellbarer Paddelwalze der im Durchmesser 800 mm groß dimensionierten Einzugsschnecke zugeführt, was einen gleichmäßigen Gutfluss auch bei sehr kurz gewachsenem Erntegut ermöglicht.

Abb. 5-14: Feldhäcksler mit Direct Disc Vorsatz (Foto: Naruhn)

Abb. 5-15: Feldhäcksler mit Direct Disc Vorsatz und Hänger
(Foto: Naruhn)

5.1.10.8 Stationäre Zerkleinerer

Im dritten Versuchsjahr wurde an der Biogasanlage ein stationärer Zerkleinerer der Firma BHS Sonthofen GmbH installiert (Abb. 5-16). Der ‚Biogrinder Typ RBG 08' zerkleinert Maisstroh und andere pflanzliche bzw. tierische Rohstoffe mechanisch. Das Substrat wird dem Biogrinder mittig von oben zugeführt (Abb. 5-17) und durch Zerkleinerungswerkzeuge mittels Prall-, Schlag- und Schwerkraft stark aufgefasert. Über die Rotordrehzahl und die Anzahl der eingebauten Schlegel kann der Zerkleinerungsgrad eingestellt werden (BHS, 2018). Im Versuch kamen statt vier nur zwei Schlegel zum Einsatz und die Drehzahl des Rotors wurde so angepasst, dass das Material nicht zu fein ausfiel. Im Ergebnis wird ein

homogen zerkleinertes, flockiges und stark aufgefasertes Substrat mit großer Partikeloberfläche erzeugt. Im Fermenter wird dadurch die Gasproduktion beschleunigt und der gesamte Fermentationsprozess stabilisiert. Weitere Vorteile ergeben sich beim Rühraufwand und der Reduzierung von Schwimmschichten.

Abb. 5-16: Biogrinder (Foto: Naruhn)

Abb. 5-17: Befüllung des Biogrinder (Foto: Naruhn)

5.1.11 Erntetermine

Der Fokus im Maisstroh-Projekt lag diesbezüglich auf dem Korndrusch, so dass die Erntetermine und die Versuche zur Bergung des Reststrohs, also des Nebenproduktes, der optimalen Abreife der Körner angepasst waren. Die Erntetermine schwankten somit im Jahresvergleich witterungs- wie auch standortbedingt (Tab. 5-3 bis 5-5).

Tab. 5-3: Erntetermine 2015

	Ernte Einzelpflanzen	konv. Ernte, normale Stoppel	konv. Ernte, hohe Stoppel	Geringhoff, normale Stoppel	Geringhoff, hohe Stoppel	Geringhoff + Pick up + Häcksler
Landwirt 1	13.10.2015	13.10.2015	13.10.2015	13.10.2015	13.10.2015	13.10.2015
Landwirt 2	13.10.2015	13.10.2015		13.10.2015		13.10.2015
Landwirt 3	14.10.2015	14.10.2015		14.10.2015		14.10.2015
Landwirt 4	16.10.2015	16.10.2015		16.10.2015		16.10.2015
Landwirt 5	15.12.2015		15.12.2015			
Landwirt 6	14.09.2015					
Landwirt 7	14.09.2015					
Landwirt 8	21.09.2015					
Landwirt 9	21.09.2015					
Landwirt 10	14.09.2015					

Tab. 5-4: Erntetermine 2016

	Ernte Einzelpflanzen	Geringhoff-Ernte	Geringhoff + Pick up + Häcksler	konv. Ernte, Ufh. an	konv. Ernte, Ufh. aus
Feld 2	05.10.2016	05.10.2016	05.10.2016		
Feld 3	06.10.2016	06.10.2016	06.10.2016		
Feld 5	21.11.2016			21.11.2016	21.11.2016

Tab. 5-5: Erntetermine 2017

	Ernte Einzelpflanzen	Ernte der diversen Varianten
Feld 1	26.09.2017	26.09.2017
Feld 2	27.09.2017	27.09.2017

5.1.12 Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Verfahrensketten erfolgte zudem eine Erfassung von Wegstrecken und Fahrtzeiten auf dem Feld und zwischen Feld und Biogasanlage. Die Berechnung wurde durch WÄRMEPLUS durchgeführt.

6 Ergebnisse

Um die Höhe und Qualität des potenziell erntbaren Körnermaisstrohs bestimmen und den Einfluss verfahrenstechnischer Einflüsse bei verschiedenen Ernteverfahren unter Praxisbedingungen ermitteln zu können, wurden während der gesamten Projektlaufzeit das Biomassepotenzial sowie die Reststroherträge ermittelt. Zudem wurden für das potenziell erntbare Maisstroh u.a. die stoffliche Zusammensetzung, die Methanausbeuten und Methanhektarerträge sowie als weitere Zielgrößen auch der TM- und der Rohaschegehalt ermittelt sowie der Zerkleinerungsgrad des geernteten Maisstrohs als Qualitätsparameter nach der Bergung beurteilt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im folgenden Abschnitt (Kapitel 6) dargestellt.

6.1 Reststroherträge

Ein direkter Vergleich der Ergebnisse aus dem ersten (2015) mit den beiden folgenden Versuchsjahren war nicht möglich, da die unter 5.1.5 beschriebenen Bedingungen im Versuch wechselten und zudem keine Wiederholungen vorgesehen waren. Die für das Jahr 2015 erhobenen Werte müssen demnach einzeln betrachtet werden. In den Jahren 2016 und 2017 erfolgte der Erntetechnikvergleich dann auf dem gleichen Schlag mit dem Ergebnis, dass die Versuchsvarianten ‚Geringhoff-Handernte (30 m²)' (Theoretischer Reststrohertrag), ‚Geringhoff mit Häcksler' und ‚Geringhoff mit Ladewagen' (Realer Reststrohertrag) im Jahresvergleich sehr homogen abschnitten. Im Jahr 2017 lagen die Versuchsvarianten ‚Biochipper' und ‚Direct Disc' (Realer Reststrohertrag) mit 4,4 bzw. 3,8 t TM ha^{-1} im Ertrag etwas höher (Abb. 6-1), allerdings fehlt hier mindestens ein weiteres Vergleichsjahr für eine Evaluierung der Daten.

Das Korn-Stroh-Verhältnis wurde im Versuchszeitraum nicht erhoben, da die Feststellung des Kornertrages in den einzelnen Technikvarianten aufgrund der Logistik nicht durchführbar gewesen wäre und auch nicht Bestandteil des Versuchsplanes war.

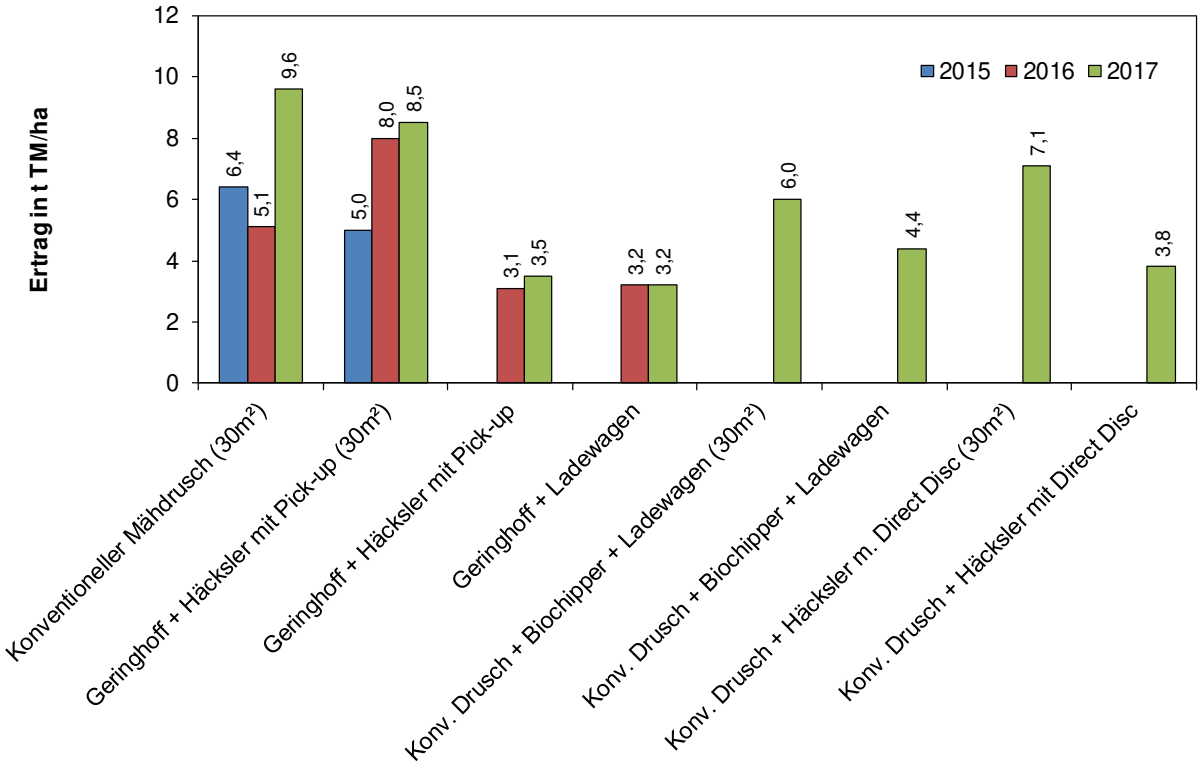

Abb. 6-1: Maisstroherträge bei unterschiedlicher Strohbergetechnik (2015 bis 2017, Theoretischer und Realer Reststrohertrag)

6.1.1 Biomassepotenzial (Stroherträge Handernte, 20 Pflanzen/Parzelle)

Bei einer Koppelnutzung von Körnermais spielen neben dem Kornertrag und dem TM-Gehalt der Körner beim Drusch auch Ertragsparameter des Maisstrohs eine entscheidende Rolle. Der im stehenden Bestand der Versuchsvarianten anhand von jeweils 20, von Hand geernteten Pflanzen bestimmte, potenziell erntbare Biomasseanteil (Biomassepotenzial) sollte dabei möglichst hoch sein. Das Trockenjahr 2015 mit durchschnittlich 6,9 t TM ha^{-1} unterschied sich dabei kaum vom Folgejahr mit 6,8 t TM ha^{-1} (Abb. 6-2 und 6-4). Im Jahr 2017 wurde wiederum ein deutlich höheres Biomassepotenzial von ca. 15,5 t TM ha^{-1} ermittelt (Abb. 6-6).

Ein direkter Sortenvergleich fand nicht statt. In den Praxisbeständen wurde mit Ausnahme der Sorte ‚Koherens' mit nur ca. 3,5 t TM ha^{-1} im Jahr 2015 bei allen angebauten Sorten ein hohes Biomassepotenzial von bis zu 8 t TM ha^{-1} ermittelt (Abbildung 6-3). Im Versuchsjahr 2016 lag die Sortenmischung mit 8,6 t TM ha^{-1} über Kamaris und DKC 4621 mit je nur 5,9 t TM ha^{-1} (Abb. 6-5). Im letzten Jahr wurden mit 18,6 t TM ha^{-1} in der Sortenmischung die höchsten Biomasseanteile bestimmt (Abb. 6-7).

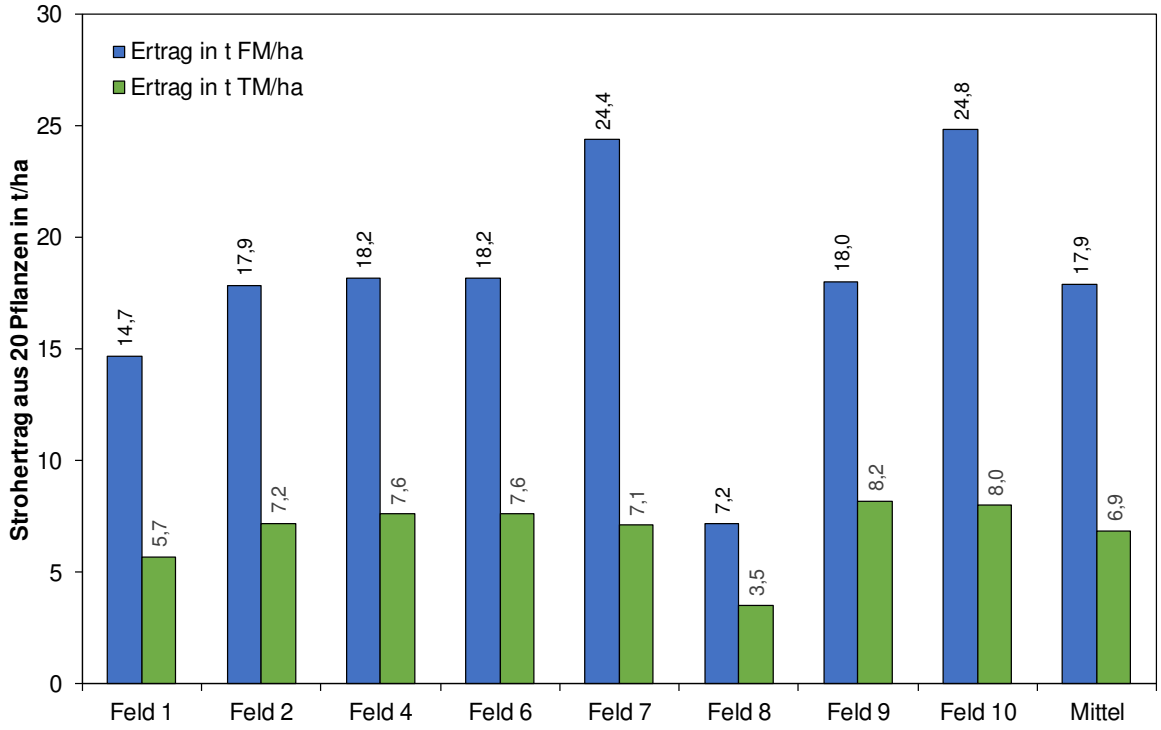

Abb. 6-2: Biomassepotenzial 2015 (Maisstroherträge von 20 Pflanzen je Feld)

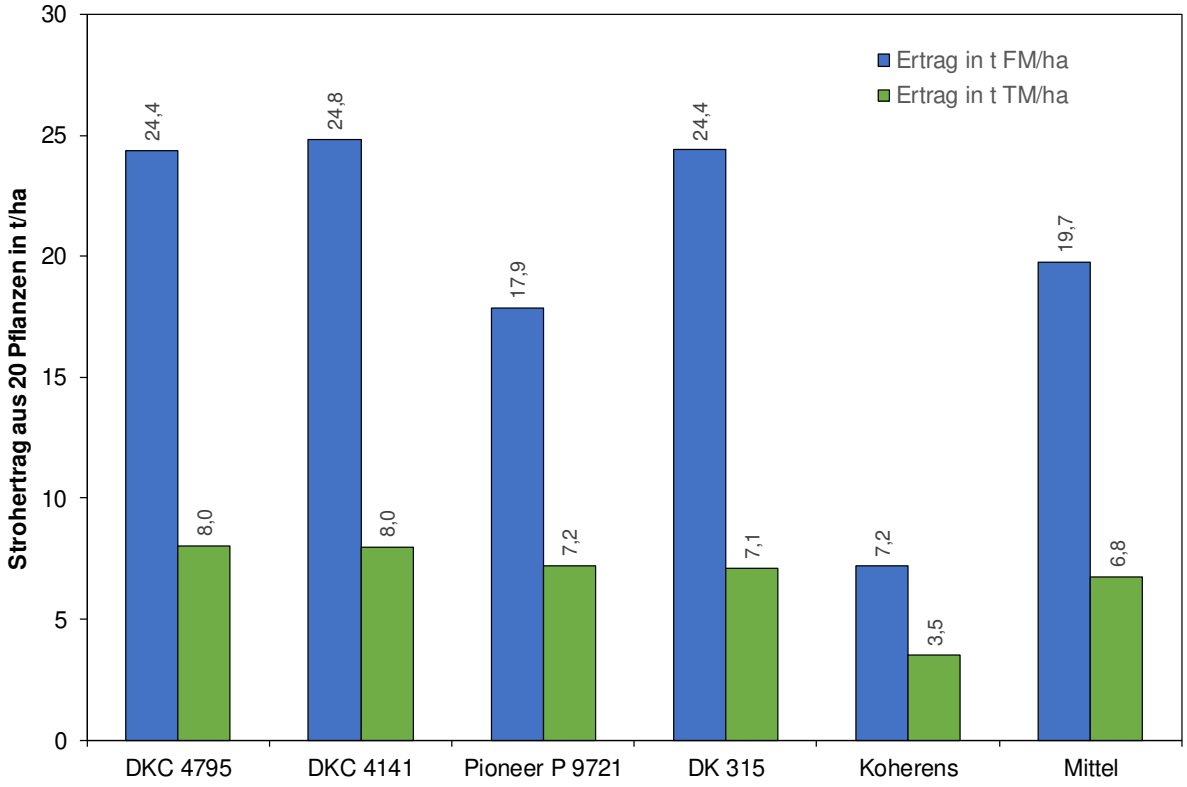

Abb. 6-3: Biomassepotenzial verschiedener Maissorten 2015 (Maisstroherträge von je 20 Pflanzen je Feld)

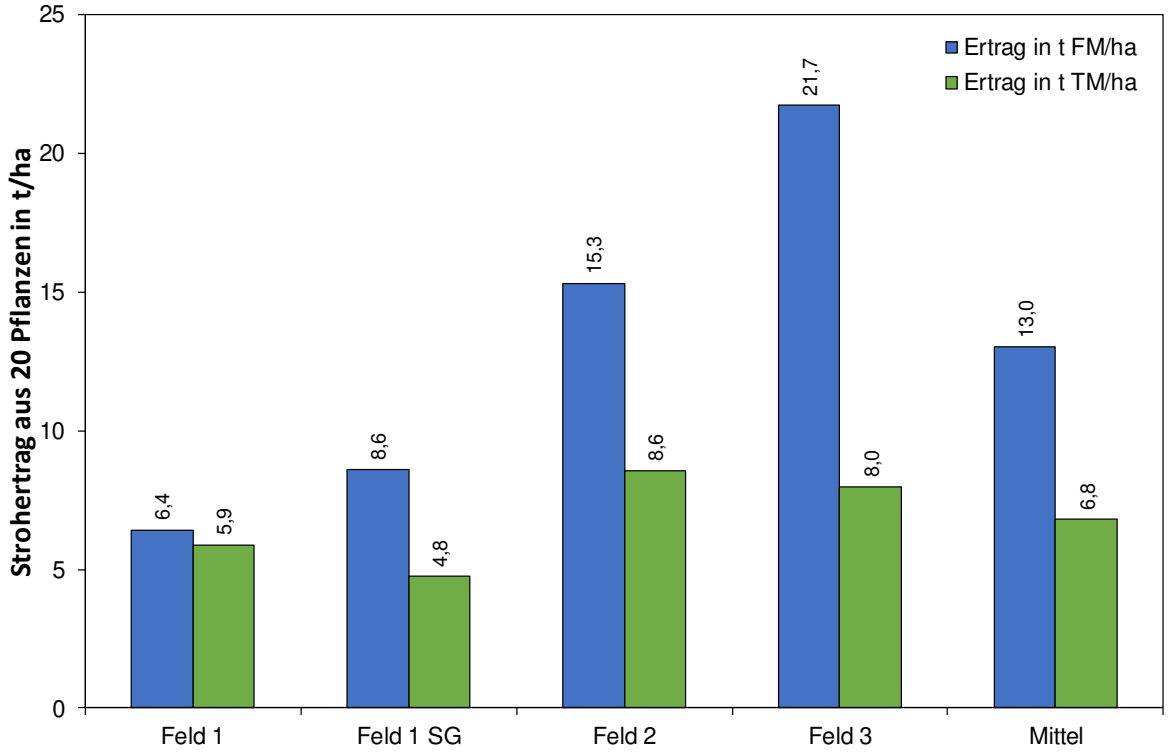

Abb. 6-4: Biomassepotenzial 2016 (Maisstroherträge von 20 Pflanzen je Feld)

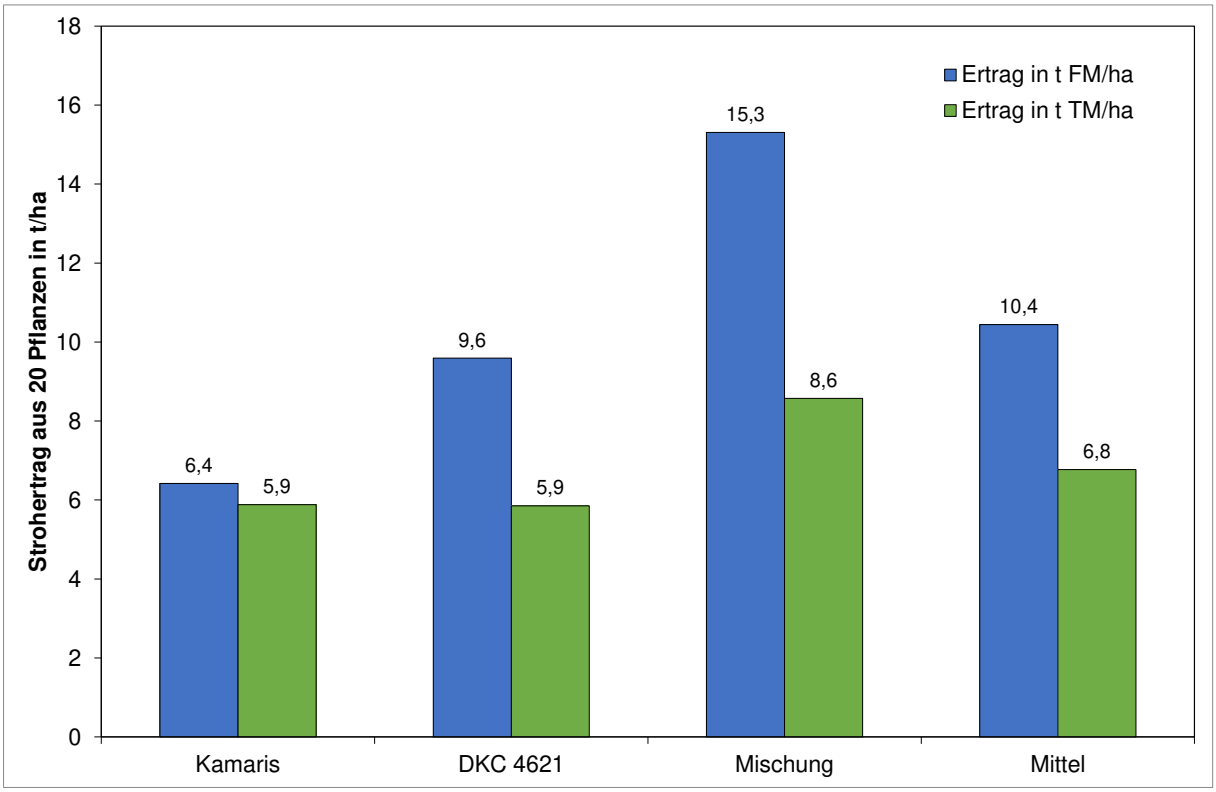

Abb. 6-5: Biomassepotenzial verschiedener Maissorten 2016 (Maisstroherträge von je 20 Pflanzen je Feld)

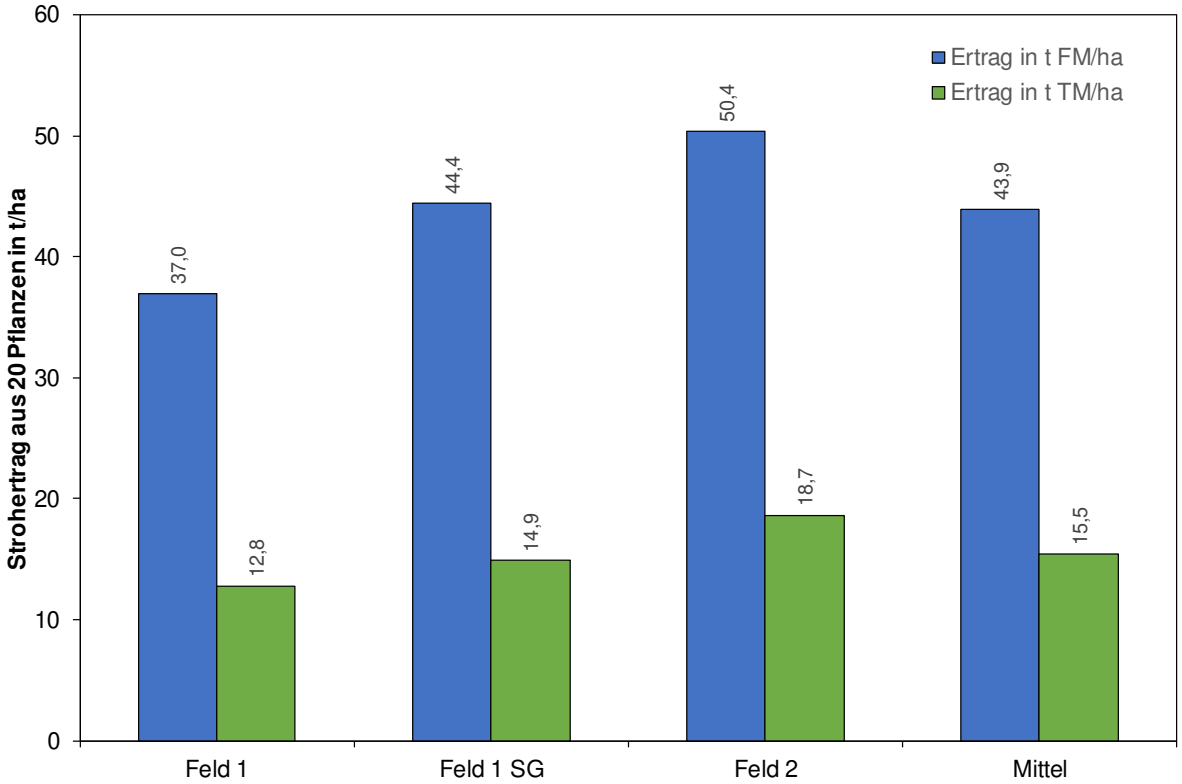

Abb. 6-6: Biomassepotenzial 2017 (Maisstroherträge von 20 Pflanzen je Feld)

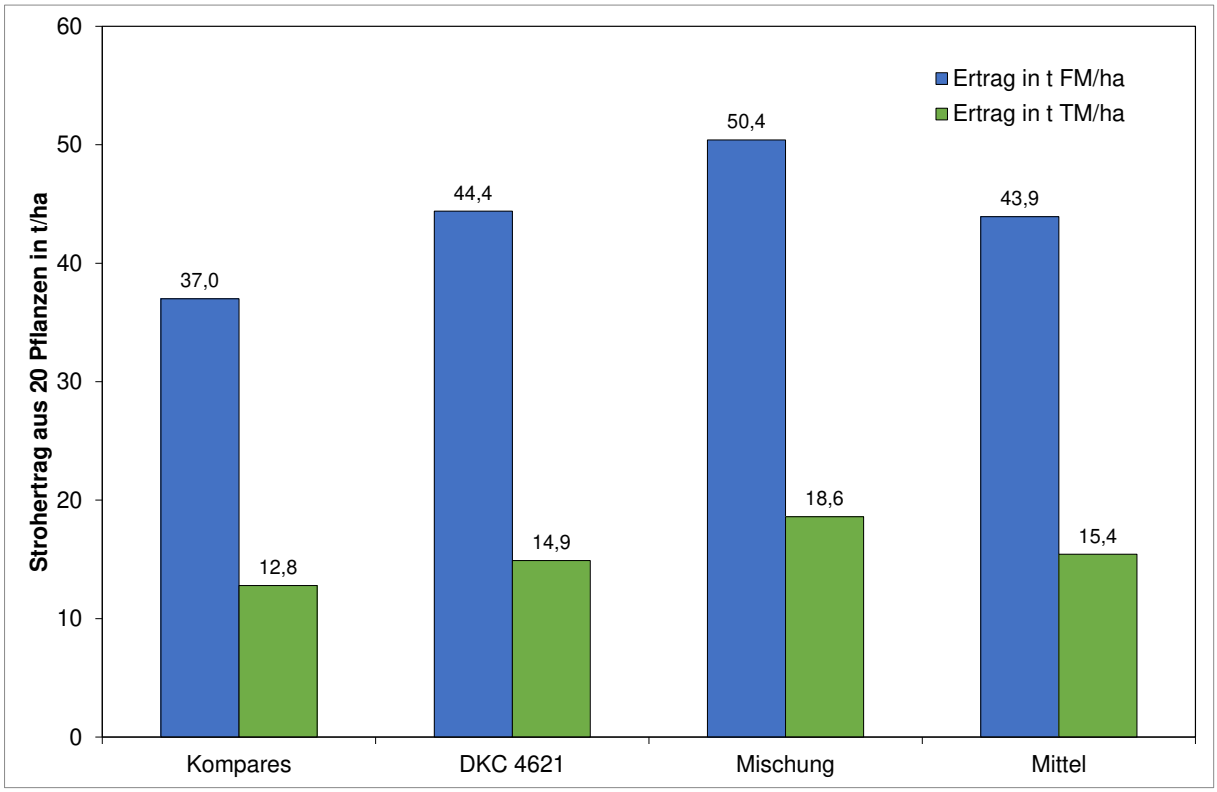

Abb. 6-7: Biomassepotenzial verschiedener Maissorten 2017 (Maisstroherträge von je 20 Pflanzen je Feld)

6.1.2 Theoretischer Reststrohertrag (Stroherträge Handernte, 30 m²-Parzellen)

Im Jahr 2015 kam neben der herkömmlichen Mähdruschtechnik lediglich die Geringhoff-Erntetechnik zum Einsatz. Die auf 30 m² ermittelten Reststroherträge (Theoretischer Reststrohertrag) nach der Kornernte beliefen sich in der Mähdruschvariante auf 6,4 t, in der Geringhoff-Variante auf 5,0 t TM ha^{-1} (Abb. 6-8). Der ‚Mais Star* Collect' von Geringhoff wurde in den drei Versuchsjahren fortwährend optimiert, wodurch u.a. die anfangs noch recht hohe Schnitthöhe, die vermutlich für den niedrigen Reststrohertrag im ersten Jahr verantwortlich zeichnet, deutlich reduziert und der theoretisch erzielbare Reststrohertrag um ca. 3 t TM ha^{-1} erhöht wurde. Bei den TM-Erträgen ist zu berücksichtigen, dass die Biomasse der Stoppeln nicht enthalten ist, da die Mindestschnitthöhe über dem Boden aus technischen Gründen nicht unterschritten werden konnte.

Der 'Strohmax' wurde lediglich 2016 geprüft. In den Jahren 2015 und 2017 stand die Maschine für einen Einsatz im Projekt unter Praxisverhältnissen nicht zur Verfügung. Da das Gerät zur Haupternte aus technischen Gründen nicht einsatzfähig war, erfolgte auch die Ernte 2016 erst in der zweiten Novemberdekade und damit ca. sechs Wochen nach der Strohbergung durch die restlichen Ernteketten. Erträge, Trockenmassegehalte sowie die qualitative Zusammensetzung des Erntegutes müssen deshalb eigenständig betrachtet und können nicht direkt mit den Ergebnissen der restlichen Versuchsvarianten verglichen werden. Stroherntemengen und Bergungspotenzial sind in Abbildung 6-8 und 6-9 dargestellt.

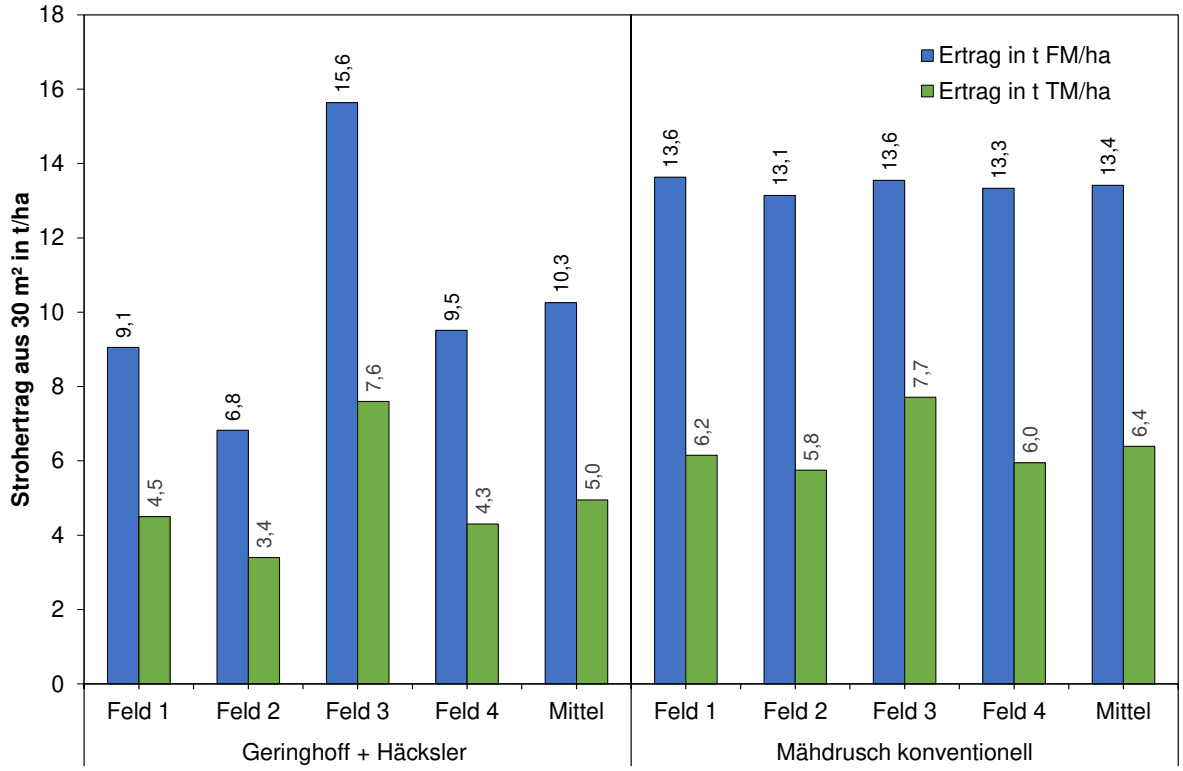

Abb. 6-8: Theoretischer Reststrohertrag 2015 (Maisstroherträge von 30m², konventioneller Mähdrusch vs. Geringhoff Mais Star* Collect + Häcksler)

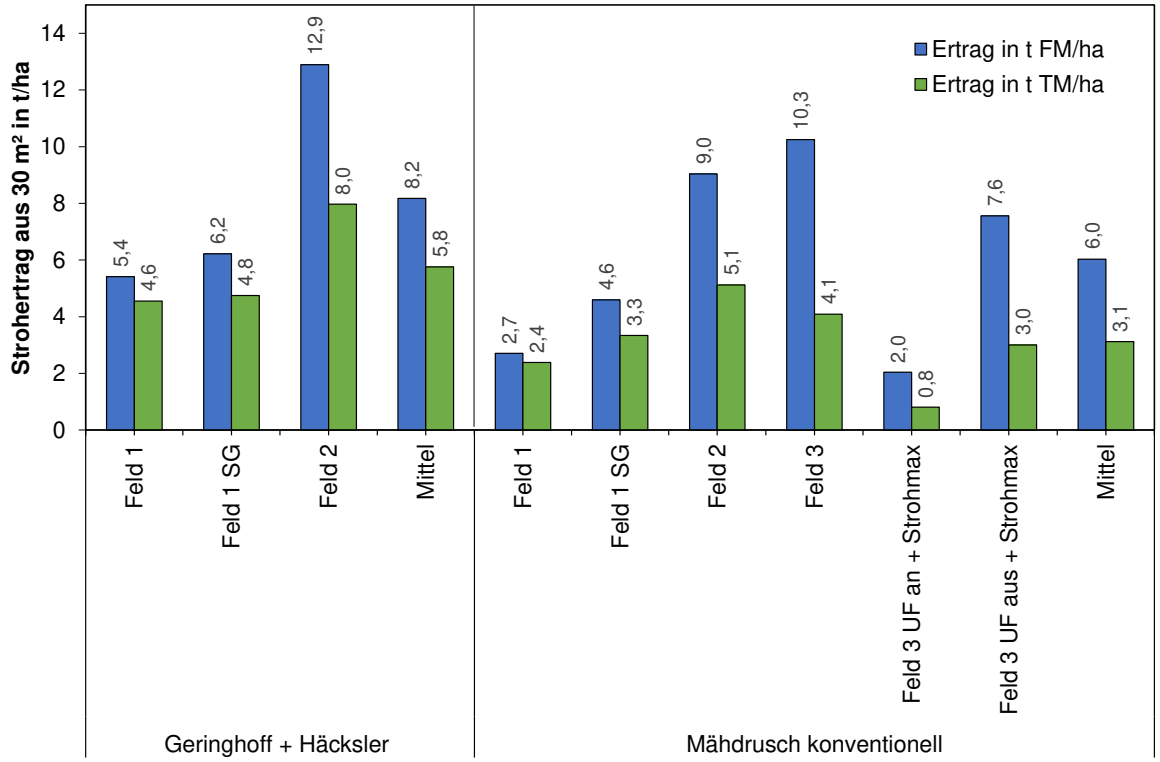

Abb. 6-9: Theoretischer Reststrohertrag 2016 (Maisstroherträge von 30m², konventioneller Mähdrusch vs. Geringhoff + Häcksler und Strohmax)

Der ‚Theoretische Reststrohertrag' spiegelt die Erntemengen, die sowohl in den Parzellen mit ‚Unterflurhäcksler an' als auch mit ‚Unterflurhäcksler aus' in 30 m^2-Parzellen erhoben wurden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass durch die spezifische Arbeitsweise des Gerätes und den entstehenden Sog auch kleinteiliges und sehr leichtes Material aufgenommen wird und in den Häcksler gelangt. Der Unterflurhäcksler des vor ihm fahrenden Mähdreschers sollte optimalerweise ausgeschaltet sein, da das Reststroh ansonsten bodennah abgelegt wird und von dort im folgenden Arbeitsschritt technisch kaum erfasst werden kann bzw. bei ungünstiger Witterung zu viel Material mit hohem Schmutzbesatz in das Silo gelangt (Abb. 5-12).

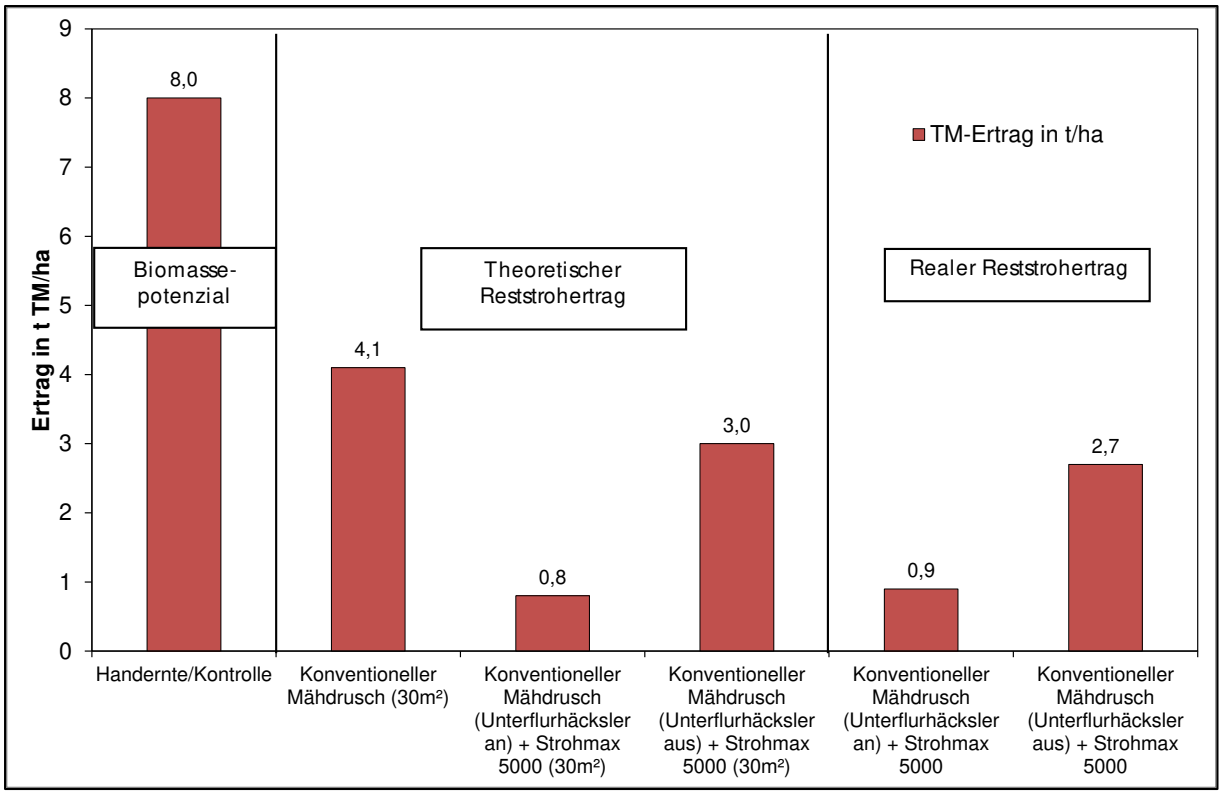

Abb. 6-10: Theoretischer und realer Reststrohertrag im Vergleich zum Biomassepotenzial beim Einsatz des Strohmax 5000 (November, 2016)

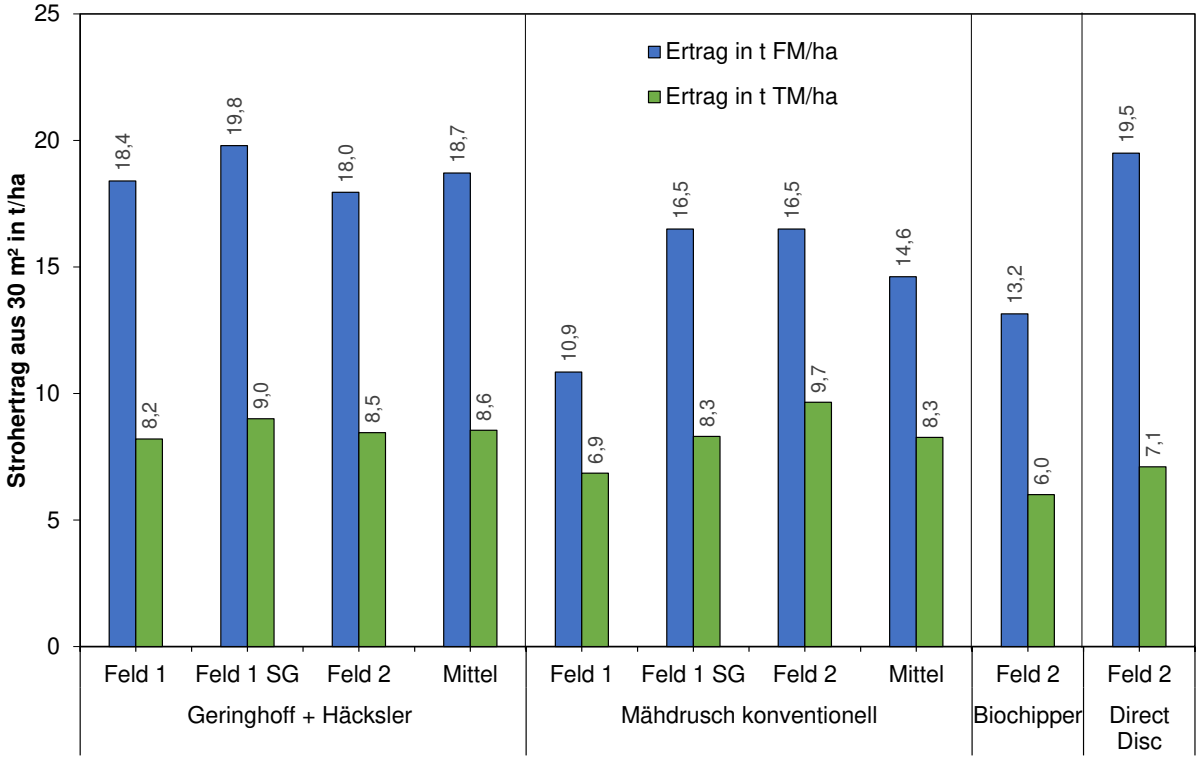

Abb. 6-11: Theoretischer Reststrohertrag im Technikvergleich 2017 (Maisstroherträge von 30m², konventioneller Mähdrusch vs. Geringhoff + Häcksler, Biochipper und Direct Disc)

In den Jahren 2016 und 2017 wurden in direkter Gegenüberstellung Flächen mit konventionellem Mais und Mais einer Sorte des ‚Stay green'-Typs verglichen. ‚Stay green'-Sorten weisen laut DMK (2018) oft bis über die Körnerreife hinaus grüne Blätter und Stängel auf und haben bei einem relativ weiten Erntezeitfenster ein geringes Risiko rascher Verstrohung. Die optimale Silierreife, also die Kombination aus guter Silierfähigkeit, hohem Ertrag und hoher Futterqualität, bleibt damit theoretisch über einen längeren Zeitraum erhalten. Die beprobten Schläge unterschieden sich in der Beregnungsmöglichkeit, so dass die Wasserverfügbarkeit für Mais im ersten Jahr geringer war als im zweiten. Die aus 30 m² hochgerechneten ‚Theoretischen Reststroherträge' ergaben in beiden Jahren eine um 20 bis 100 % höhere Strohmenge nach Einsatz der Geringhoff-Technik, wobei die Differenz in der ‚Stay Green'-Variante in beiden Jahren geringer ausfiel als nach konventionellem Mähdrusch (Abb. 6-6 und 6-9).

6.1.3 Abgefahrener Strohertrag und Abfuhrraten

Die Strohabfuhrrate (Realer Reststrohertrag / Biomassepotenzial) lag beim ‚Mais Star* Collect' im Mittel zwischen ca. 38 und 40 %, wobei aufgrund der sehr vergleichbaren Pick up-Technik keine deutlichen Unterschiede zwischen der Bergung durch einen Häcksler und einem Ladewagen bestanden. Die Abfuhrraten bei ‚Biochipper' und bei ‚Direct Disc' lagen mit ca. 73 bzw. 54 % deutlich darüber, wurden allerdings nur einjährig geprüft. Im Vergleich der ‚Stay Green'-Sorten lag die Abfuhrrate in der Geringhoff-Variante 2016 ohne Beregnung zwischen 28 und 36 % und 2017 mit Beregnung zwischen 50 und 52 %. Diese Bergungsraten sind mit den von FLESCHHUT et al. (2016) erzielten Werten vergleichbar.

Abb. 6-12: Biochipper (2015-2017, Foto: Stolzenburg)

Die Ergebnisse können trotzdem nur als Tendenz gewertet werden. Belastbarere Daten bei der Bestimmung von Ernteverlusten und Abfuhrraten erfordern einheitliche Bedingungen, eine systematische Erfassung und einen längeren Versuchszeitraum. Dies war in der kurzen Projektlaufzeit nicht realisierbar.

6.2 Pflanzenlänge zum Erntezeitpunkt

Im Jahresvergleich stach lediglich das Jahr 2016 mit insgesamt etwas größeren Pflanzenlängen hervor (Abb. 6-13). Der ‚Strohmax' wurde 2016 auf einer separaten Fläche und erst im Spätherbst geprüft, was die Wuchshöhenabweichung erklärt.

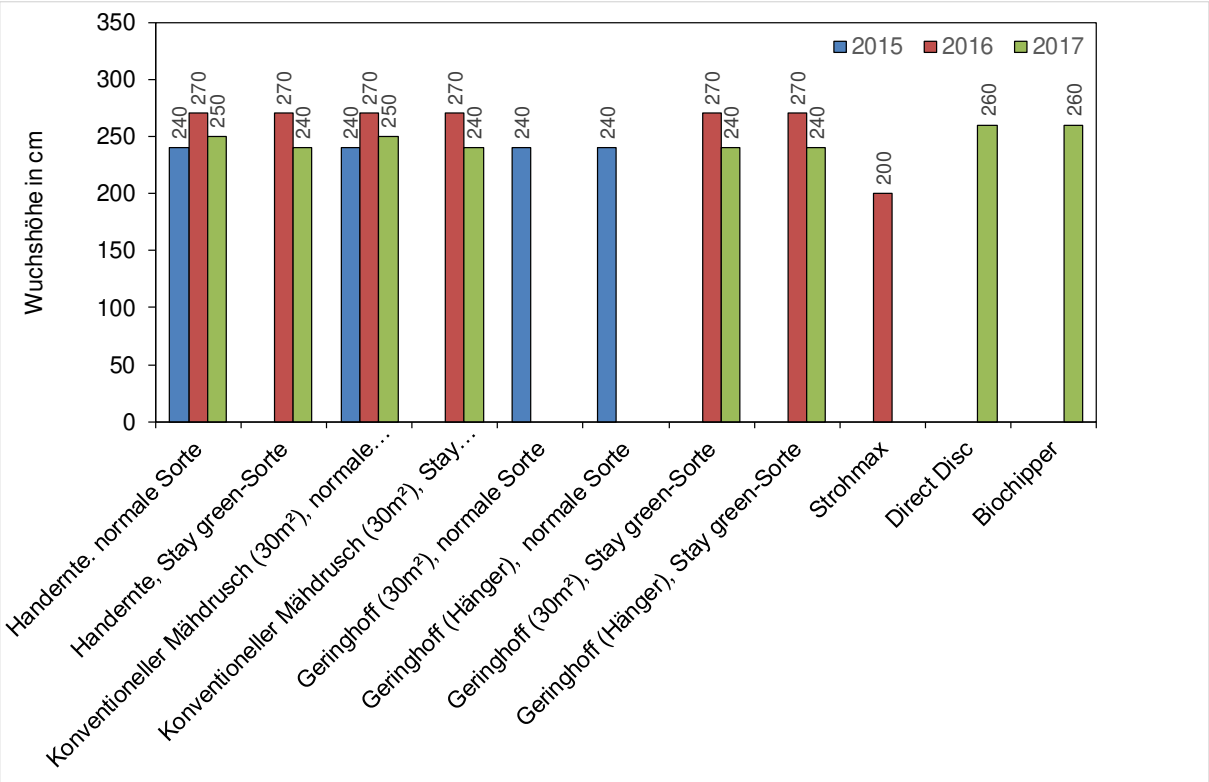

Abb. 6-13: Wuchshöhe zum Erntezeitpunkt (2015-2018)

6.3 Trockenmassegehalt

Die Erntetermine im ersten Versuchsjahr lagen recht spät, Mitte Oktober, im zweiten Jahr in der ersten Oktober- und im dritten Jahr in der letzten Septemberwoche. Diese Schwankungen spiegelten sich auch in den TM-Gehalten wider. Die Datenlage erlaubte in den einzelnen Jahren keine Berechnung der Wärmesummen, so dass ein Zusammenhang, basierend allein auf Erntetermin und TM-Gehalt, im Jahresvergleich nicht festgestellt werden konnte (Abb. 6-14).

Im Jahr 2016 wurden in den Technikvarianten fast durchweg höhere TM-Gehalte gemessen und auch die in der Handernte (Kontrolle) ermittelten Werte lagen 2016 mit 56,2 % am höchsten. Die Jahre 2015 (35,3 %) und 2017 (37,1 %) wiesen zum Erntezeitpunkt vergleichbare TM-Gehalte im Maisstroh auf.

Im Mittel über alle Standorte und Jahre wurden etwa 48 % TM im Körnermaisstroh ermittelt. Diese Werte werden in der Literatur bestätigt. Beispielsweise ermittelten LIZOTTE et al. (2015b) für manuell geerntetes Maisstroh zum Zeitpunkt der physiologischen Kornreife einen durchschnittlichen TM-Gehalt von 48 %, wobei die Einzelwerte zwischen 37 und 59 % schwankten. In diesem Bereich lag auch der von SHINNERS & BINVERSIE (2007) festgestellte TM-Gehalt von 53 %. HUANG et al. (2012a) erzielten für das potenziell erntbare Maisstroh TM-Gehalte von 49 %, wobei die TM-Gehalte zum Zeitpunkt der physiologischen Kornreife bei nur 32 % lagen, sodass sie einen deutlichen Anstieg im Verlauf der Abreife verzeichneten.

Die unterschiedlichen Technikvarianten hatten keinen erkennbaren Einfluss auf den TM-Gehalt im Erntegut (Abb. 6-14). Rohasche- und Trockenmassegehalte waren auf der geringen Datenbasis meist schwach positiv korreliert: je abgereifter die Stängel desto höher lagen die Aschegehalte (Abb. 6-15).

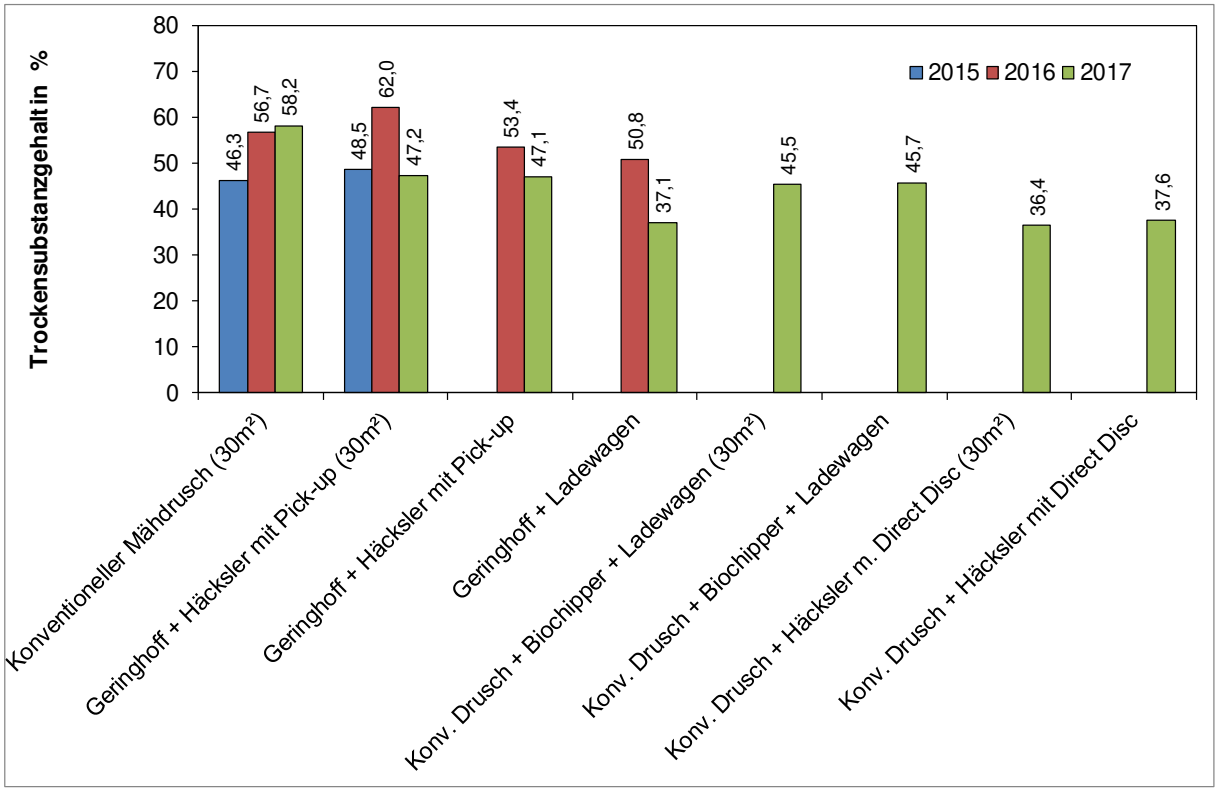

Abb. 6-14: Trockenmassegehalt in Körnermaisstroh (2015-2018)

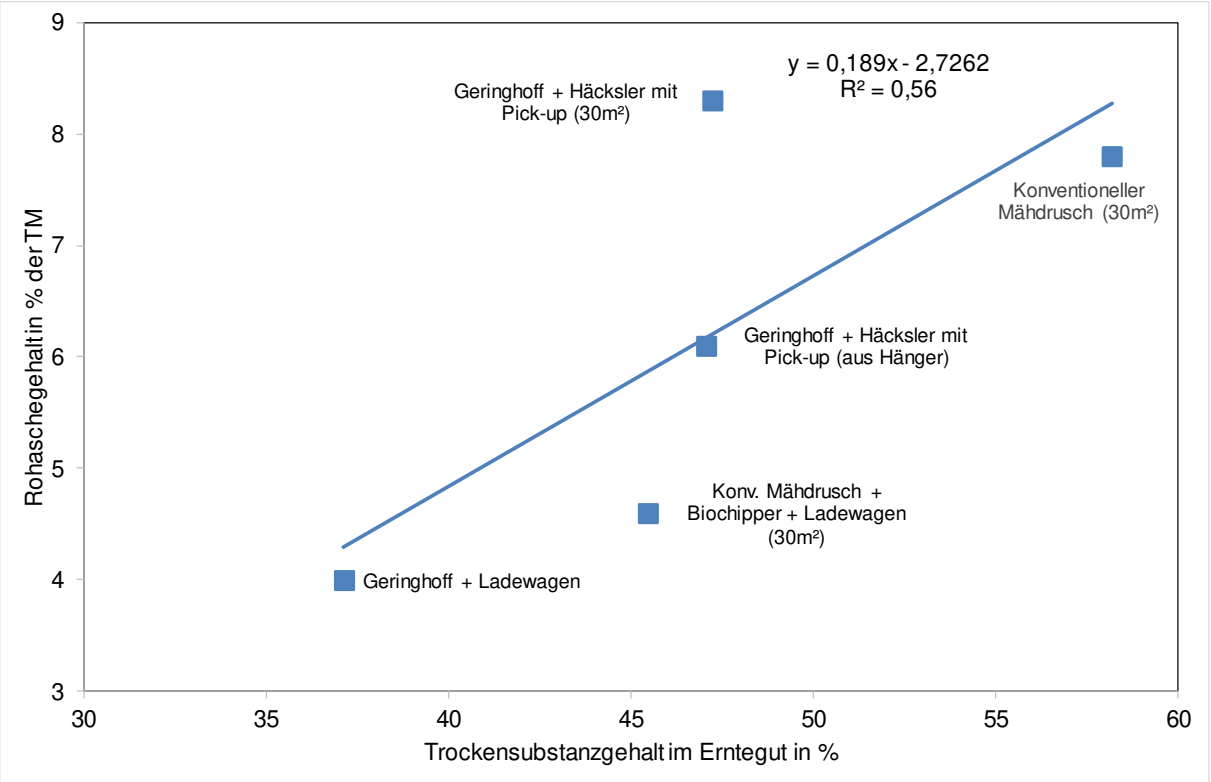

Abb. 6-15: Zusammenhang zwischen Trockenmasse- und Rohaschegehalt in Körnermaisstroh (2015-2018)

Im Projekt wurden herkömmliche Körnermaissorten mit ‚Stay green'-Sorten auch hinsichtlich ihrer TM-Gehalte verglichen (Abb. 6-14). Im Vergleich zu normalen Maissorten weisen sogenannte ‚Stay green'-Sorten in der Regel oft bis über die Körnerreife hinaus grüne Blätter und Stängel auf.

Die Werte aus der Handernte- (Theoretischer Reststrohertrag) bzw. aus der Kontrollvariante (Biomassepotenzial) wiesen in beiden Jahren die erwarteten höheren TM-Gehalte bei ‚normalen' Sorten auf, wobei die deutliche Differenz aus dem Jahr 2016 in 2017 nicht bestätigt wurde. Im Vergleich der Sorten im konventionellen Mähdrusch lag der TM-Gehalt im ersten Versuchsjahr in der ‚Stay green'-Sorte höher; auch in der ‚Geringhoff'-Variante lagen die TM-Gehalte der ‚Stay green'- über denen der ‚normalen' Sorten. Im Folgejahr traten wiederum die erwarteten niedrigeren Werte bei ‚Stay green'-Sorten auf (Abb. 6-16).

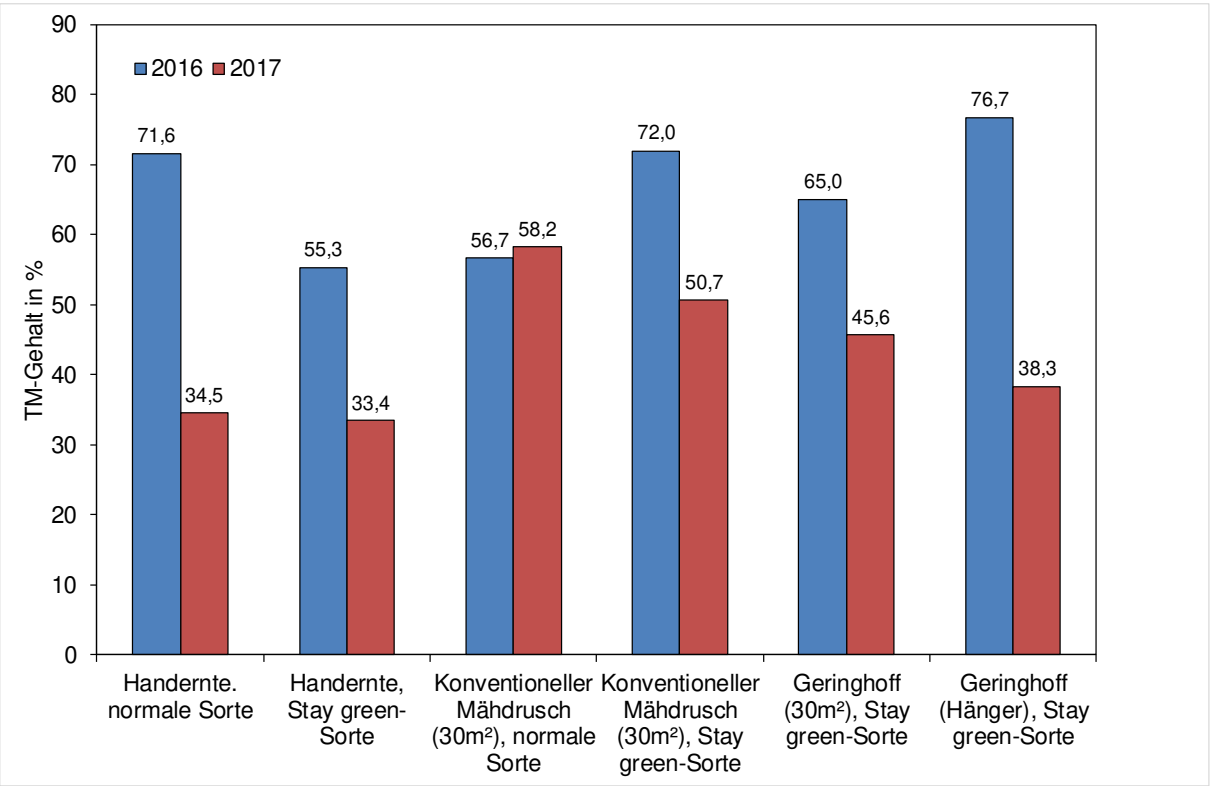

Abb. 6-16: Trockenmassegehalt in Körnermaisstroh von konventionellen Sorten vs. Stay Green-Sorten (2015-2018)

6.4 Verschmutzungen im Erntegut

Der im Labor ermittelte Rohascheanteil lag in den untersuchten Proben bis zu 9 % in der TM (Abb. 6-18). Werden zum Vergleich Analysen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) für Körnermaisstroh herangezogen, die zwischen 6,2 und 7,9 % rangieren (STROBL, 2016), zeigen die Ergebnisse aus dem badenova-Projekt insgesamt eine höhere Schwankungsbreite, machen aber zugleich auch deutlich, dass keine der untersuchten Erntetechniken mit übermäßigem Eintrag an Erde bzw. Sand im Erntegut verbunden und auch keine der Varianten deutlich im Vor- oder Nachteil war. Eine verschmutzungsarme Bergung mit Rohaschegehalten unter 10 % war in allen Versuchsparzellen gegeben.

Erwartet wurde, dass die Einzelpflanzenproben (20 Pflanzen je Variante, Biomassepotenzial) im Vergleich die niedrigsten Rohaschewerte aufweisen, da sie dem stehenden Bestand direkt entnommen wurden und nicht mit dem Boden in Berührung kamen. Die ermittelten Werte zwischen 2,8 und 5,8 % der TM unterschieden sich im Vergleich zu den restlichen Erntevarianten allerdings nicht.

Im direkten Vergleich der ‚Geringhoff'-Varianten lagen die Ergebnisse bei 'Geringhoff Mais Star* Collect mit Häcksler' (zwischen 3,4 und 6,1 % der TM) und bei ‚Geringhoff Mais Star* Collect mit Ladewagen' (zwischen 4,0 und 6,0 % der TM) gleich.

Das Erntegut der Varianten ‚Strohmax' und ‚Biochipper', das aus technischer Sicht prädestiniert für stärkere Schmutzanhaftungen wäre, wies mittlere Rohaschegehalt von jeweils 4,3 % und daher gleichermaßen niedrige Verschmutzungswerte auf.

Abb. 6-17: Boden nach der Überfahrt mit dem Biochipper (2015-2018, Foto: Stolzenburg)

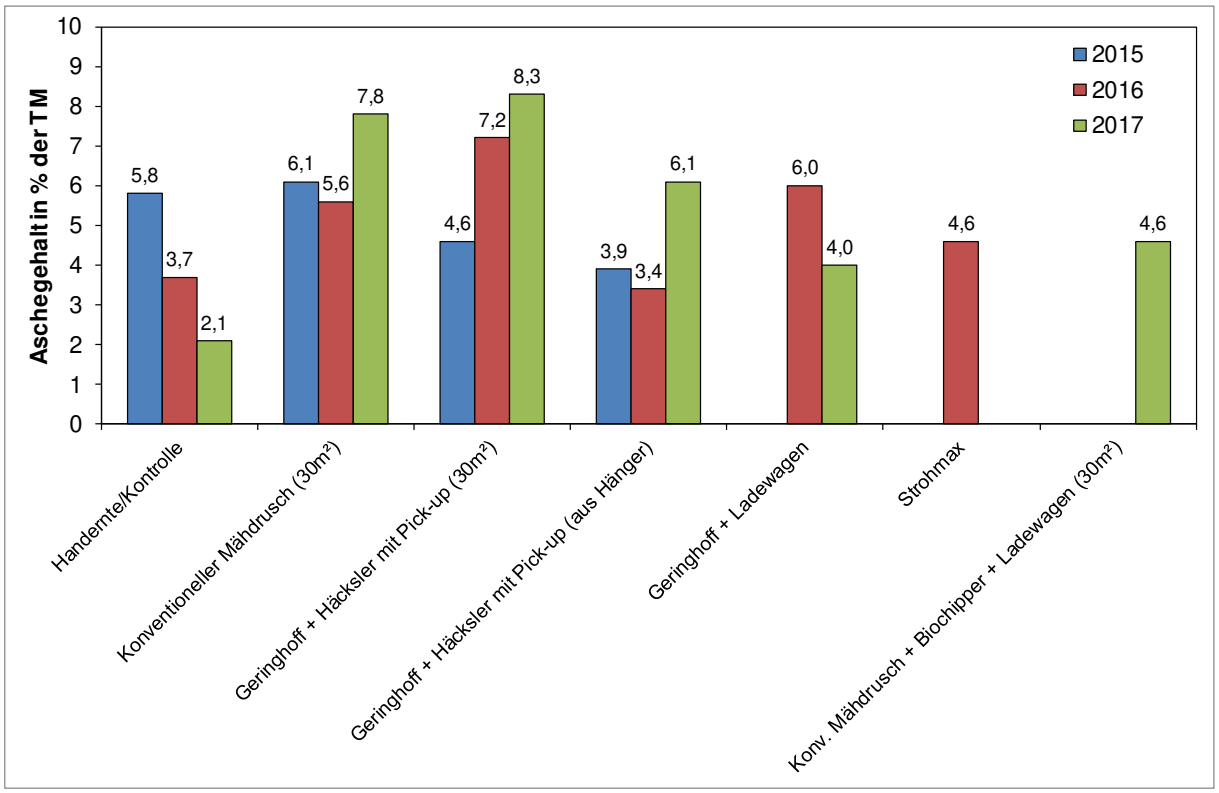

Abb. 6-18: Rohaschegehalt im Körnermaisstroh (2015-2018)

6.5 Strohhäcksellänge (Zerkleinerungsgrad)

Eine exakte Bestimmung der Häcksellänge auf dem Feld war nicht Teil der vorgesehenen Untersuchungen. Der Oberflächenanteil des Ausgangssubstrates spielt jedoch im Hinblick auf Quantität und Qualität der Vergärung eine bedeutende Rolle. Durch die Zerkleinerung und Zerfaserung des Materials wird im Fermenter mehr Angriffsfläche geschaffen und dadurch der Abbau bzw. die Biogasproduktion beschleunigt. Zugleich sinkt das Risiko der Bildung von Sink- und Schwimmschichten im Fermenter.

In einigen Versuchsvarianten wurde das Maisstroh durch einen Feldhäcksler aufgenommen und zerkleinert, so dass das Erntematerial bereits ab Feld günstige Siliereigenschaften und später auch keine Probleme bezüglich der Pumpfähigkeit des Gärsubstrats in der Biogasanlage aufwies. Nach der Aufnahme durch den ebenfalls geprüften Ladewagen war das Stroh allerdings grob strukturiert und wies viele lange Halmstücke und Lieschblätter auf. Es erfüllte die Anforderungen an ein optimales Substrat für die Biogasanlage nicht und erforderte eine bessere Zerkleinerung (BRUCKER, 2017).

Im letzten Versuchsjahr (2017) wurde deshalb an der badenova-Biogasanlage im Gewerbepark Breisgau ein stationärer Zerkleinerer installiert, dem u.a. auch das Maisstroh aus den Technikvarianten zugeführt wurde (siehe auch unter 5.1.10 ‚Stationäre Zerkleinerer'). Die Abbildungen 6-19 und 6-20 zeigen eine Gegenüberstellung der Strohlänge vor und nach dem Zerkleinerungsvorgang und die deutlich intensivere Auffaserung des Erntematerials nach der Bearbeitung. Zu erkennen ist vor allem, dass das Erntegut entlang der Faser aufgespalten wurde und einen deutlich höheren Feinanteil aufwies. Die Stängel wurden stark zerkleinert, sodass längere Stängelstücke über 10 cm Länge im Häckselgut nicht mehr vorhanden waren.

Abb. 6-19: Biochipper und Ladewagen, links nicht zerkleinert und rechts nach Zerkleinerer (Foto: Naruhn)

Abb. 6-20: Geringhoff-Technik und Ladewagen, links nicht zerkleinert und rechts nach Zerkleinerer (Foto: Naruhn)

6.6 Methanertrag

Der Erntezeitpunkt hat auf Biogas- und Methanausbeuten in der Regel einen deutlichen Einfluss. Mit fortschreitendem Alter der Pflanzenbestände nimmt die Methanausbeute üblicherweise ab, da insbesondere steigende Rohfasergehalte die maximal mögliche Biogasmenge begrenzen. Rohfaser besteht überwiegend aus Hemizellulose und Lignin, die beide unter anaeroben Bedingungen eine geringe Abbaubarkeit aufweisen. Zudem sinken mit zunehmender Abreife die Gehalte an den methanbildenden Komponenten Rohprotein und Rohfett im Biomasseaufwuchs.

Körnermaisstroh wies trotz des späten Erntezeitpunktes im labortechnischen Maßstab eine hohe Vergärbarkeit auf und lieferte vergleichsweise hohe spezifische Methanausbeuten (Abb. 6-21). Im mehrjährigen Gesamtdurchschnitt wurde für Maisstroh eine spezifische Methanausbeute von durchschnittlich 324 Normliter je kg organischer TM ermittelt, wobei sich die Werte zwischen einem Minimum von 281 Nl CH_4 je kg oTM und einem Maximum von 379 Nl CH_4 je kg oTM bewegten. Untersuchungen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in einem vergleichbaren Projekt bestätigen diese Ergebnisse. Bei einem Silomais-Standard von etwa 350 Nl/kg oTM (EDER et al., 2012) liegen die Methanausbeuten in einem Bereich von 300 bis 330 l je kg oTM und erreichen bis zu 90 % der Silomais-Methanwerte. Im Vergleich mit zahlreichen alternativen Substraten (wie zum Beispiel Biogas-Blühmischungen, Durchwachsene Silphie, Igniscum etc.) ist das Methanertragspotenzial überdurchschnittlich hoch zu bewerten und teilweise vergleichbar mit klassischen Substraten wie Gras oder Getreide-GPS. Es ist demnach anzunehmen, dass die Restpflanze auch bei einer Ernte ab der Körnerreife noch einen hohen Anteil an hoch verdaulichen Bestandteilen

aufweist und die fehlende Stärke möglicherweise weitestgehend durch vergärbare Faserbestandteile kompensiert wird. Das gesamte vorhandene Maisstrohpotenzial ohne Ernteverluste weist Methanhektarerträge von rund 3.000 bis 3.500 Nl CH_4 je ha auf, etwas weniger als die Hälfte von Silomais.

Die Höhe des Methanertrages wird allerdings weniger über den spezifischen Methanertrag als viel mehr über die produzierte Biomasse/ha bestimmt. In der Regel kann im Energiepflanzenanbau von einer direkten Korrelation zwischen Methanhektarertrag und Biomasseertrag ausgegangen werden (NERLICH et al., 2013; STOLZENBURG, 2014). Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen dies (Abb. 6-22). Mit $R^2 = 0,65$ kann zwar nur von einem mittleren linearen Zusammenhang ausgegangen werden, es besteht allerdings hinsichtlich der erzielten Abfuhrraten ein Optimierungspotenzial. Je später geerntet wird, desto geringer sind jedoch die Methanhektarerträge, weil einerseits die spezifischen Methanausbeuten mit zunehmender Abreife sinken und andererseits das Maisstrohpotenzial und damit die für die Biogasanlage nutzbare Substratmenge abnehmen. Vermutlich müssen dafür auch Blatt-Bröckelverluste verantwortlich gemacht werden (FLESCHHUT & STROBL, 2017). Auch die Sortenwahl könnte eine Rolle spielen, wie der Vergleich mit den ‚Stay green'-Sorten zeigte.

Der Methanhektarertrag rangiert bei den direkt an der Biogasanlage verwogenen Erntetechnikvarianten ‚Geringhoff mit Häcksler' bzw. ‚Geringhoff mit Ladewagen' zwischen ca. 800 und 1400 m³/ha (Abb. 6-21). Die Ergebnisse der 30 m²-Parzellen (Theoretischer Reststrohertrag) machen jedoch deutlich, dass eine Steigerung des Gasertrages möglich wäre, wenn die auf dem Feld verbleibenden Strohverluste, vorbehaltlich eines ausgeglichenen Humushaushaltes, minimiert werden könnten.

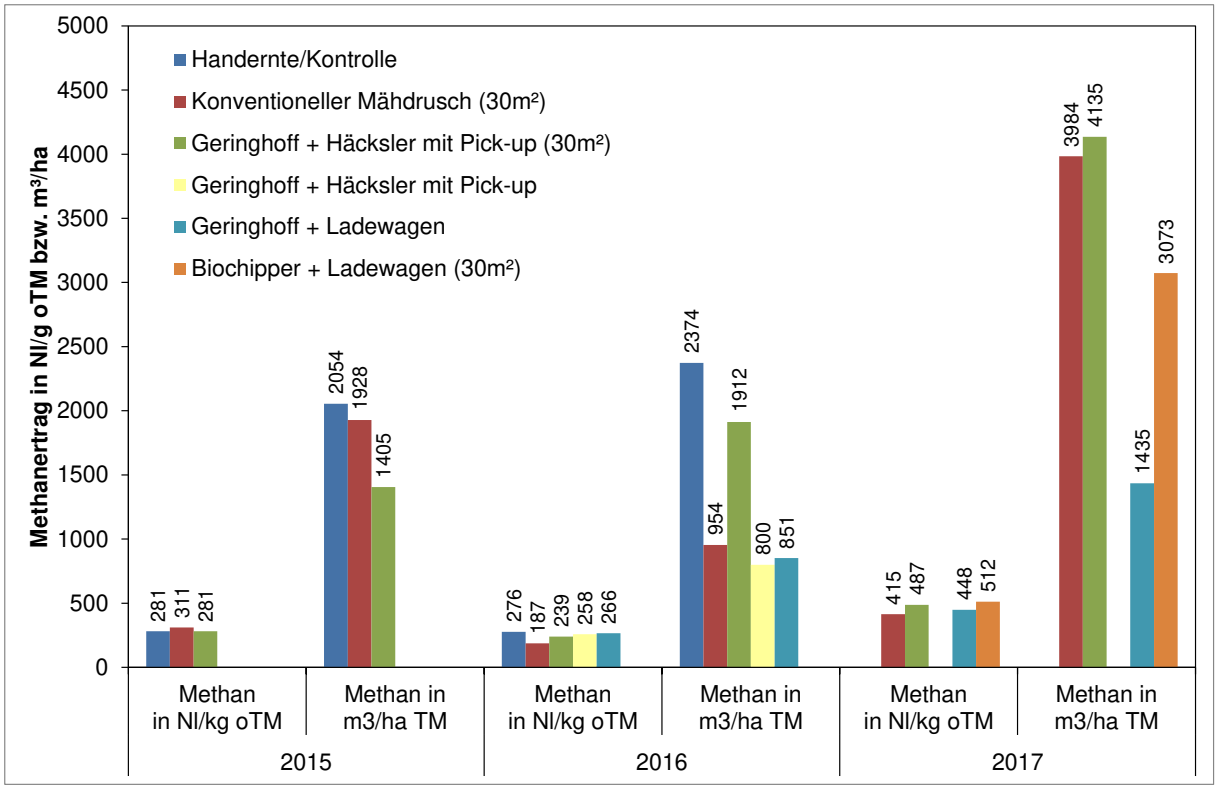

Abb. 6-21: Methanertrag verschiedener Ernteketten (2015 bis 2017)

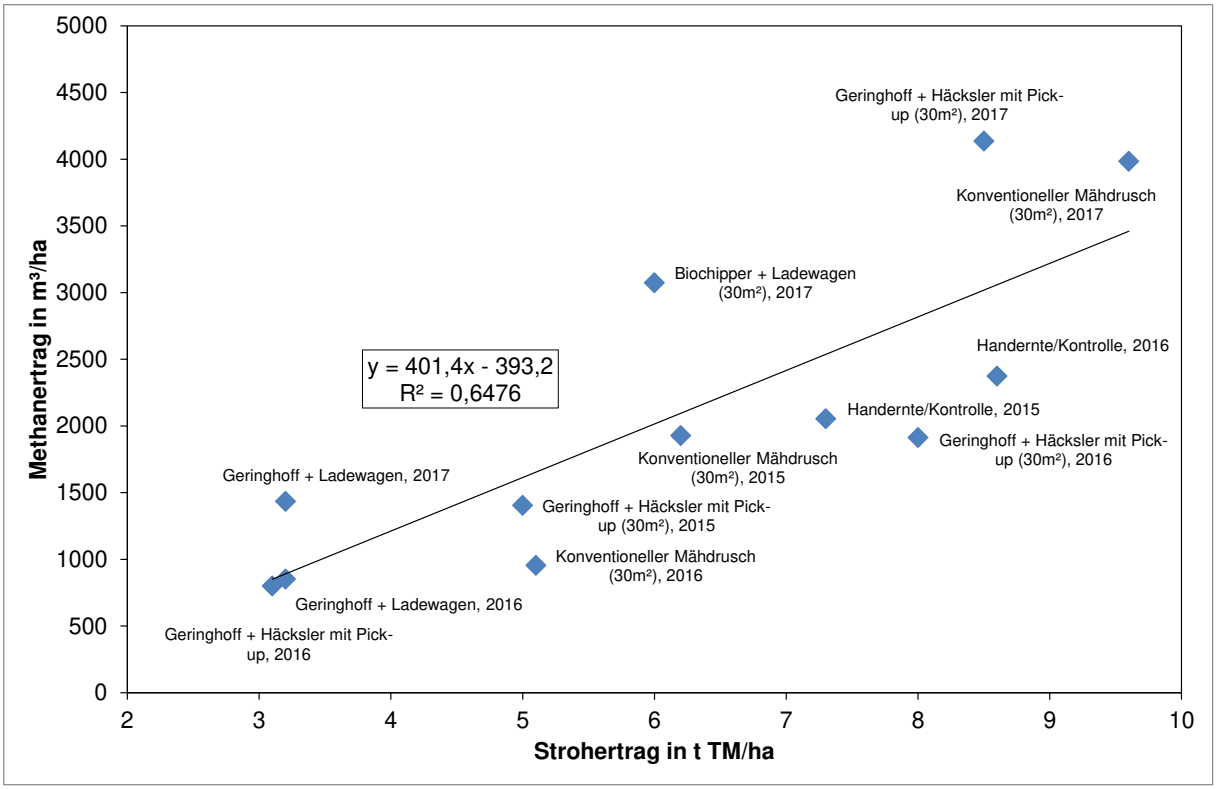

Abb. 6-22: Verhältnis von Maisstrohertrag zu Methanertrag bei unterschiedlichen Erntevarianten (2015 bis 2017)

6.7 Energiegehalt

Zur Berechnung von Energiegehalt und Heizöläquivalent von Körnermaisstroh wurde die Kalkulationsübersicht ‚Faustzahlen Biogas' herangezogen (FNR, 2015). Der Vergleich des Energiegehalts mit dem anderer Energiepflanzen zeigt, dass Maisstroh ähnliche Werte wie Grünland (Basis: 23 bis 43 t FM) und Sudangras (Basis: 35 bis 55 t FM) aufweist (STOLZENBURG et al., 2016). Das Potenzial liegt allerdings höher, wie die Ergebnisse aus der Handernte (Biomassepotenzial) bzw. der 30 m²-Vergleichsparzellen (Theoretischer Reststrohertrag) vermuten lassen, und könnte sich auch im Bereich von Getreide-GPS (Basis: 30 bis 50 t FM), Zuckerrüben (Basis: 55 bis 75 t FM) und Silomais (Basis: 40 bis 60 t FM) bewegen (Abb. 6-23).

Das aus dem Methanertrag errechnete Heizöläquivalent fällt mit ca. 800 bis 1500 Litern allerdings deutlich geringer aus, als es für andere Energiepflanzen angegeben wird (Abb. 6-23).

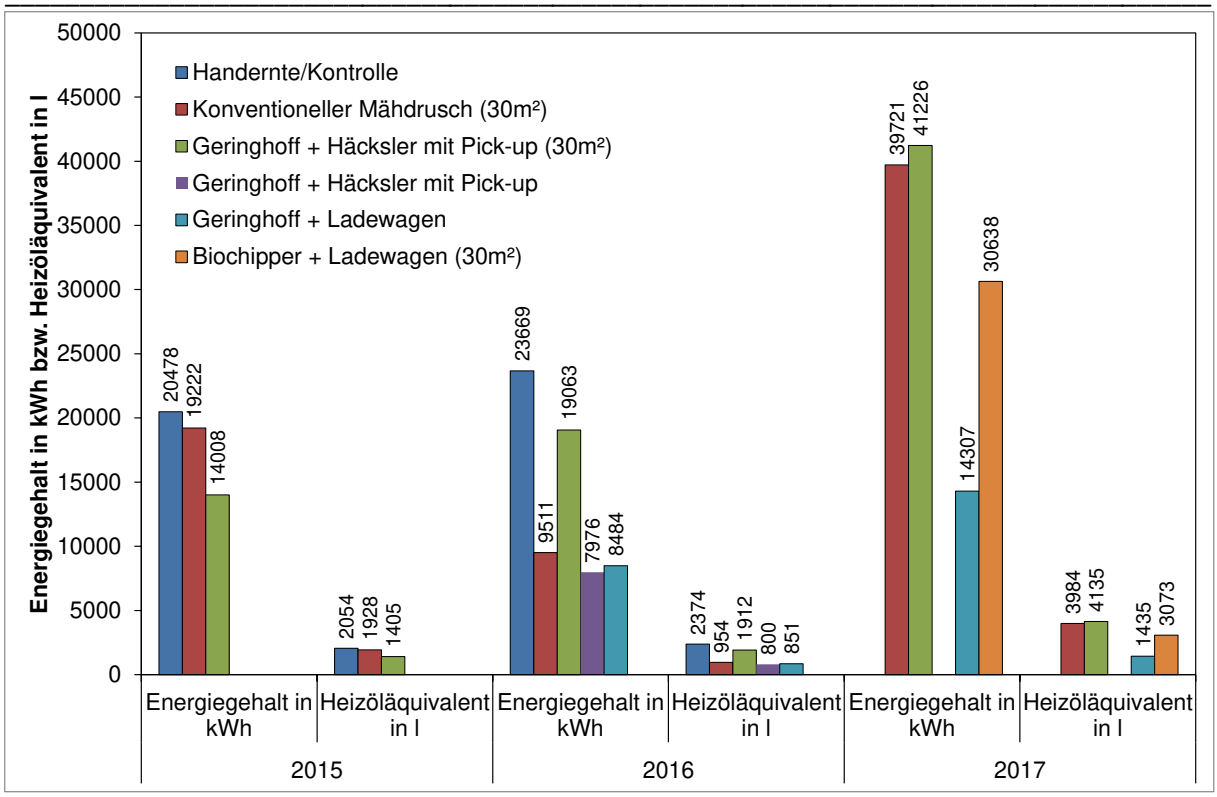

Abb. 6-23: Energiegehalt und Heizöläquivalent von Körnermaisstroh

Berechnungen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft ergaben, dass die Vollkosten der Maisstrohsilage-Bereitstellung ‚frei Fermenter' lediglich rund 5 Cent je kWh elektrisch betragen, wenn Maisstroh kostenfrei als Reststoff anfällt (STROBL, 2016). Damit wäre Körnermaisstroh ein wettbewerbsfähiges Substrat.

6.8 Mineralstoffgehalt

Die Abbildungen 6-24 bis 6-26 fassen Mineralstoffgehalte, -entzug und -abfuhr der geprüften Technikvarianten zusammen. Der Stickstoffgehalt lag mit Werten zwischen 0,2 und 0,8 % in der TM z.T. deutlich unter dem in der Literatur angegebenen Mittel von ca. 0,9 % (LFL, 2019; SCHÖNBERGER, 2020). Der P-Gehalt rangierte ebenfalls überwiegend unter den in der Literatur angegebenen Werten für Körnermaisstroh (SCHIEMENZ, 2011; LFL, 2019). Eine plausible Zuordnung zu einzelnen Technikvarianten ließen die Daten nicht zu.

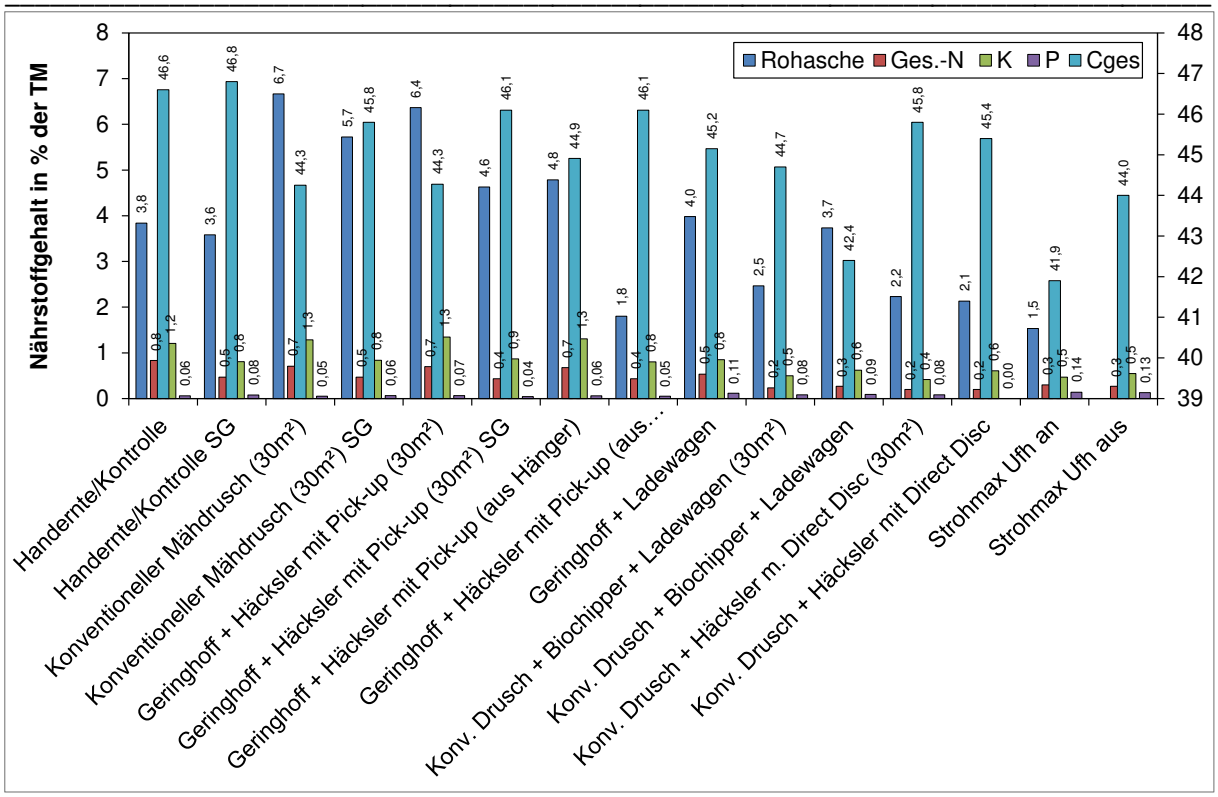

Abb. 6-24: Nährstoffgehalt im Körnermaisstroh verschiedener Erntetechnikvarianten
(Mittel der Jahre 2015 bis 2017)

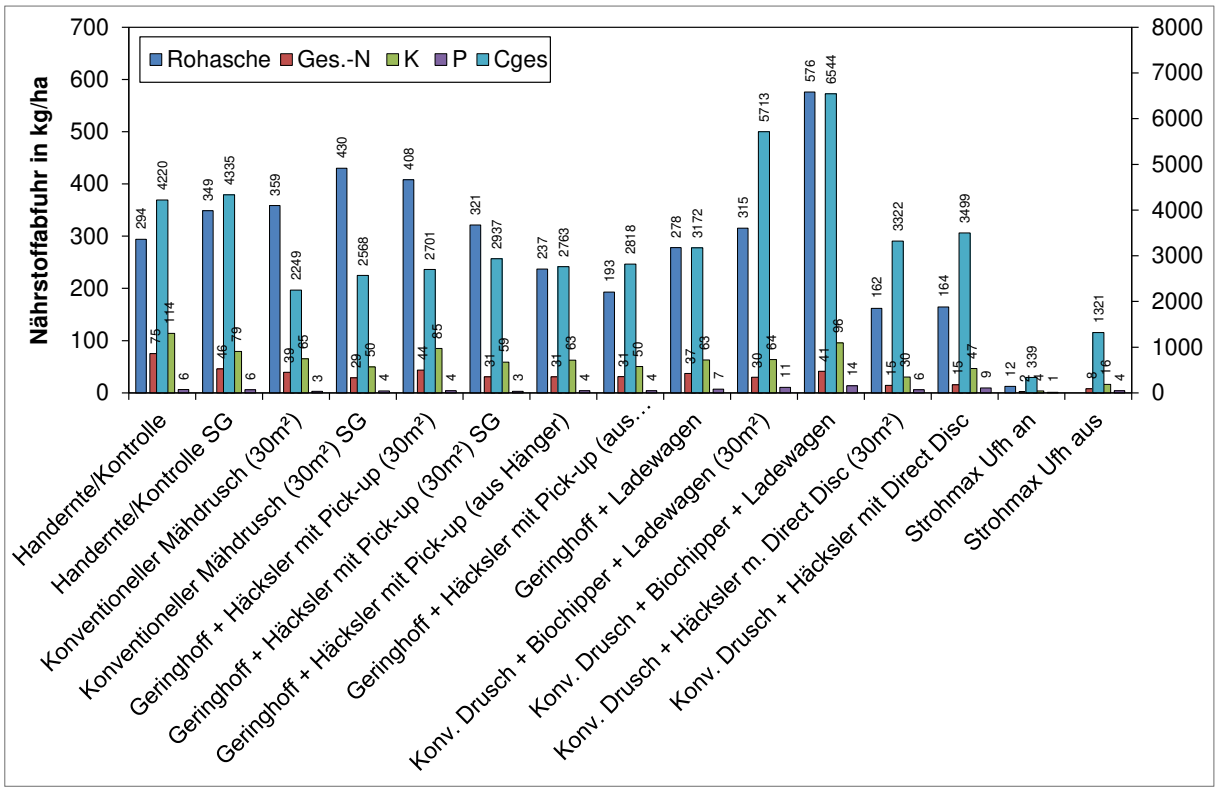

Abb. 6-25: Nährstoffabfuhr mit Körnermaisstroh verschiedener Erntetechnikvarianten
(Mittel der Jahre 2015 bis 2017)

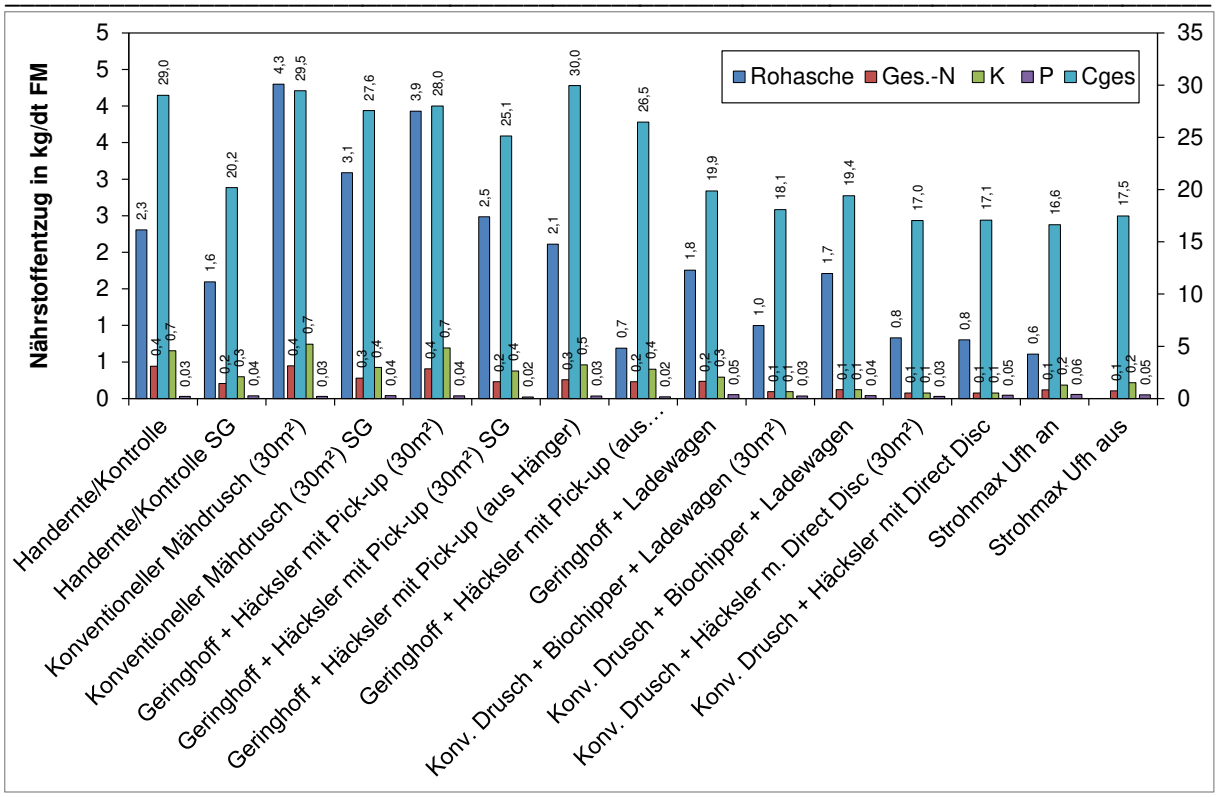

Abb. 6-26: Nährstoffentzug mit Körnermaisstroh verschiedener Erntetechnikvarianten (Mittel der Jahre 2015 bis 2017)

6.9 Humus

Eine tragfähige Bilanzierung des Humusgehaltes im Boden nach dem Einsatz verschiedener Strohbergetechniken (mit unterschiedlichen und differenzierten Erträgen und Bergeverlusten) war aufgrund der kurzen Projektlaufzeit und der wechselnden Flächen nicht möglich. Anhand der Abfuhrraten und der in der Literatur hinterlegten Angaben für die Humusreproduktionsleistung, lässt sich eine Entwicklung jedoch grob abschätzen. Es wird dabei eine Humusreproduktionsleistung von 100 kg Humus-C je Tonne Maisstroh unterstellt (JACOBS, 2011). Wenn, wie beim Silomais, kein Rückfluss an Ernteresten erfolgt, weil die gesamte oberirdische Masse abgefahren wird, muss mit einer negativen Humusbilanz (-560) gerechnet werden. Werden bei der Körnermaisstrohnutzung, wie im Beispiel ‚Geringhoff - Mais Star* Collect', allerdings nur zwischen 38 und 40 % des Reststrohs abgefahren, verbleiben zwischen 2,5 und 4,5 t Stroh auf dem Feld zurück. Hinzugerechnet werden kann ggf. auch die nicht geerntete Stoppelbiomasse, die nach Berechnungen der LfL Bayern bei einer mittleren Schnitthöhe/Stoppellänge von 22 cm auf 1,2 t TM ha^{-1} geschätzt wird (FLESCHHUT, 2017). Damit kämen insgesamt zwischen 3,7 und 5,7 t Maisstroh zusammen, die in eine Haben-Rechnung einfließen könnten. Bei einem mittleren Bergungsverlust (Stroh, das nach der Bergung auf dem Feld zurückbleibt) von ca. 4,7 t/ha und 100 kg Humus-C je t Stroh, liefert die auf dem Feld verbleibende Restbiomasse noch ein Plus von ca. 470 kg/ha Humus-C.

Parallel dazu wurden die C_{ges}-Gehalte im Erntematerial gemessen und die C_{ges}-Abfuhr berechnet (Abb. 6-27 und 6-28).

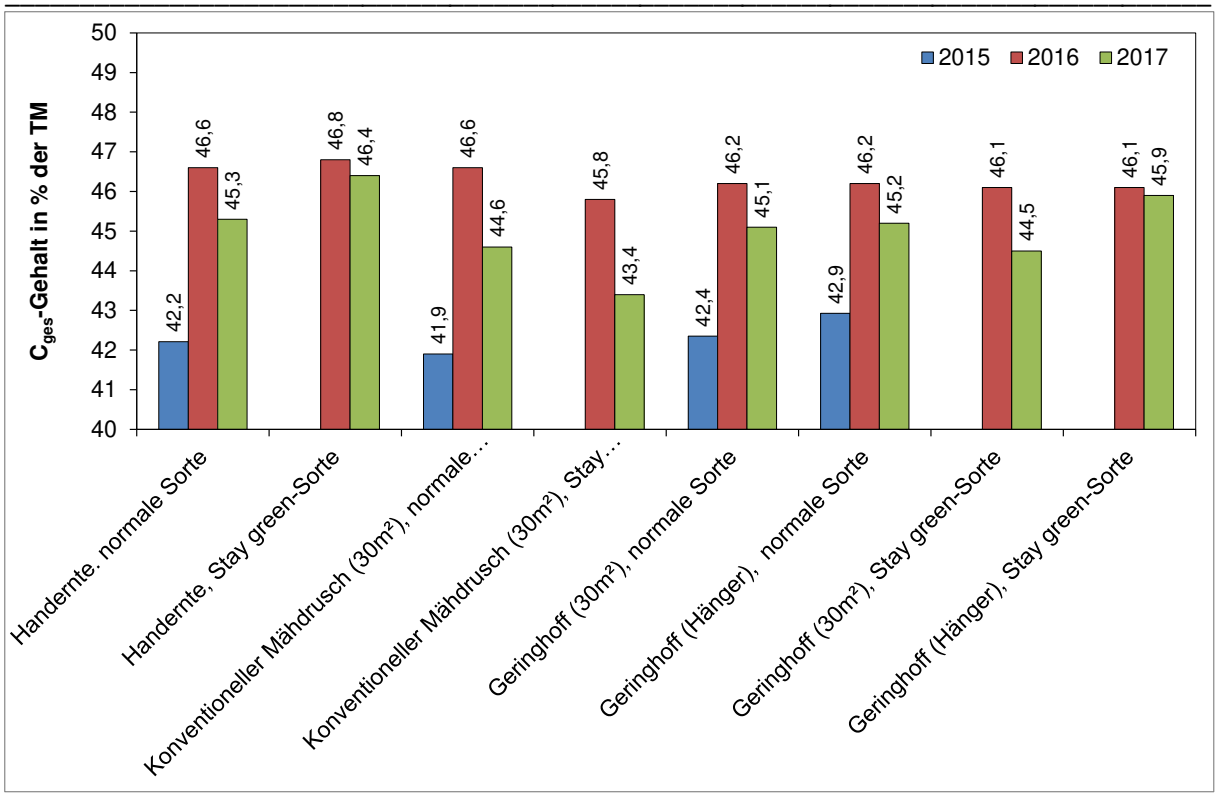

Abb. 6-27: Kohlenstoffgehalt in Körnermaisstroh

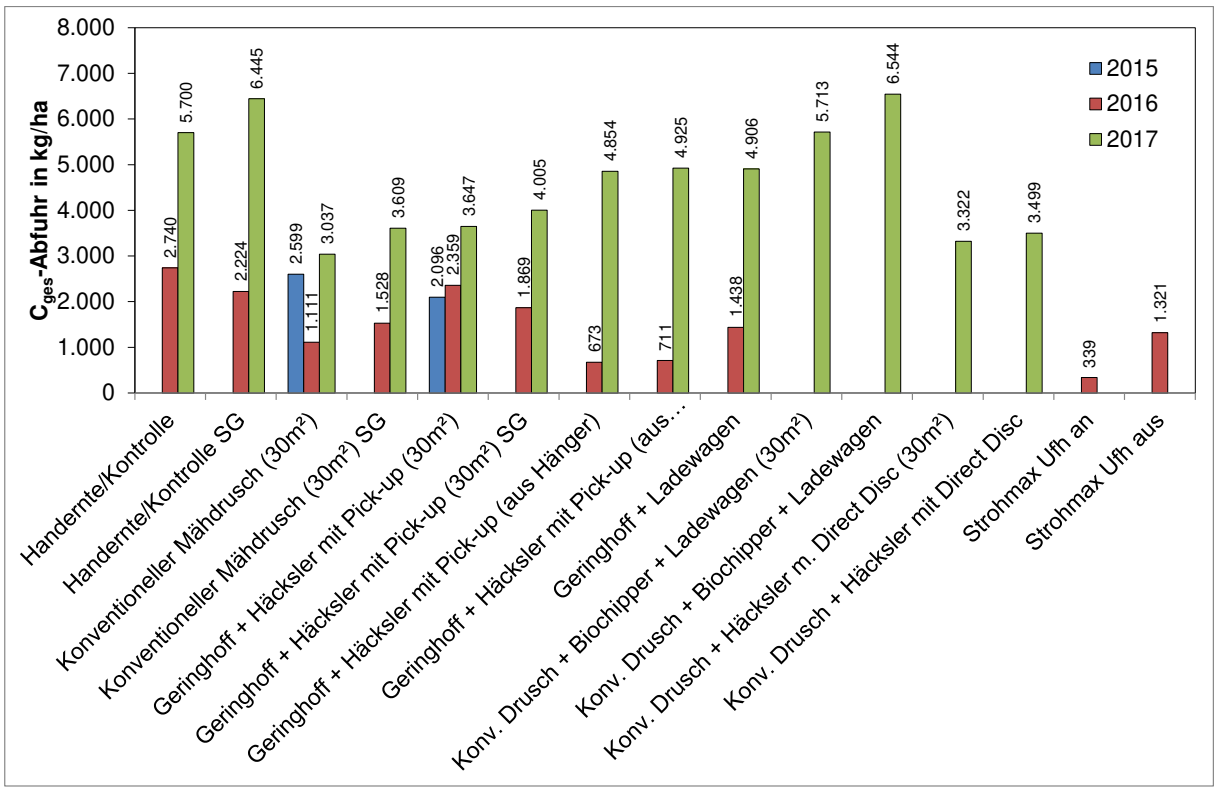

Abb. 6-28: Kohlenstoffabfuhr mit Körnermaisstroh

Die C_{ges}-Abfuhr in den Kontrollvarianten (Biomassepotenzial) lag zwischen ca. 2,2 bzw. 2,7 Tonnen und 5,7 bzw. 6,4 Tonnen je ha und muss als Ausgangswert für die Abfuhr durch

diverse Bergetechnikverfahren gelten. Über alle Technikvarianten kann im Versuchszeitraum eine Abfuhr zwischen 15 und 80 % des Kohlenstoffs angenommen werden. Zwischen 20 und 85 % des C-Inputs durch das Reststroh blieben auf der Ackerfläche zurück.

Als Faustzahl für eine Abfuhrbegrenzung gilt, nicht mehr als durchschnittlich 50 % des Strohanfalls zu entnehmen (KOLBE, 2019). Die in der Wirtschaftlichkeitsberechnung relativ günstig bewertete ‚Ladewagen'-Variante lag mit einer mittleren Abfuhr zwischen 38 und 40 % in einem optimalen, hinsichtlich der Entnahme von organischem Restmaterial unproblematischen Bereich. Mehr Beachtung diesbezüglich müsste Technikvarianten gewidmet werden, die auch Stoppeln ernten, kleinteilige Strohteile bergen und hohe Abfuhrraten erzielen, wie beispielsweise der ‚Biochipper'. Im Projekt wurden in diesem Verfahren im Jahr 2017 Abfuhrraten von über 70 % gemessen, die allerdings nicht evaluiert werden konnten. Bestätigen sich diese Ergebnisse in der Praxis, müsste ggf. auf einen adäquaten Ausgleich durch Gärrestrückführung geachtet werden.

Die Kenntnis der Abfuhrraten und Ernterückstände verschiedener Ernteverfahren könnte darüber hinaus auch eine wesentliche Voraussetzung für die nachfolgende Einschätzung ökologischer Effekte sein. So nehmen WILHELM et al. (2007) beispielsweise an, dass aus ökologischer Sicht mindestens 5 t ha^{-1} als Ernterückstände notwendig sind.

6.10 C/N-Verhältnis im Stroh

Die Umsetzung von Ernteresten auf dem Feld wird u.a. von seinem C/N-Verhältnis beeinflusst. In der Literatur wird das mittlere C/N-Verhältnis von Maisstroh mit einer Spanne von 30-65:1 (KRATZ, 2009), mit 50:1 (PROPLANTA, C/N-Verhältnis | Agrar-Lexikon, 2019) bzw. mit 56,8 (SCHROPP, 2016) angegeben. Im Projektzeitraum lag der Wert im Mittel der untersuchten Varianten bei 58:1, unterlag jedoch im Jahresvergleich deutlichen Schwankungen (Abb. 6-29). Aufgrund dieses günstigen C/N-Verhältnisses und einer im Spätherbst einsetzenden Rotte wird eine N-Ausgleichsdüngung zu Mais nicht als notwendig erachtet.

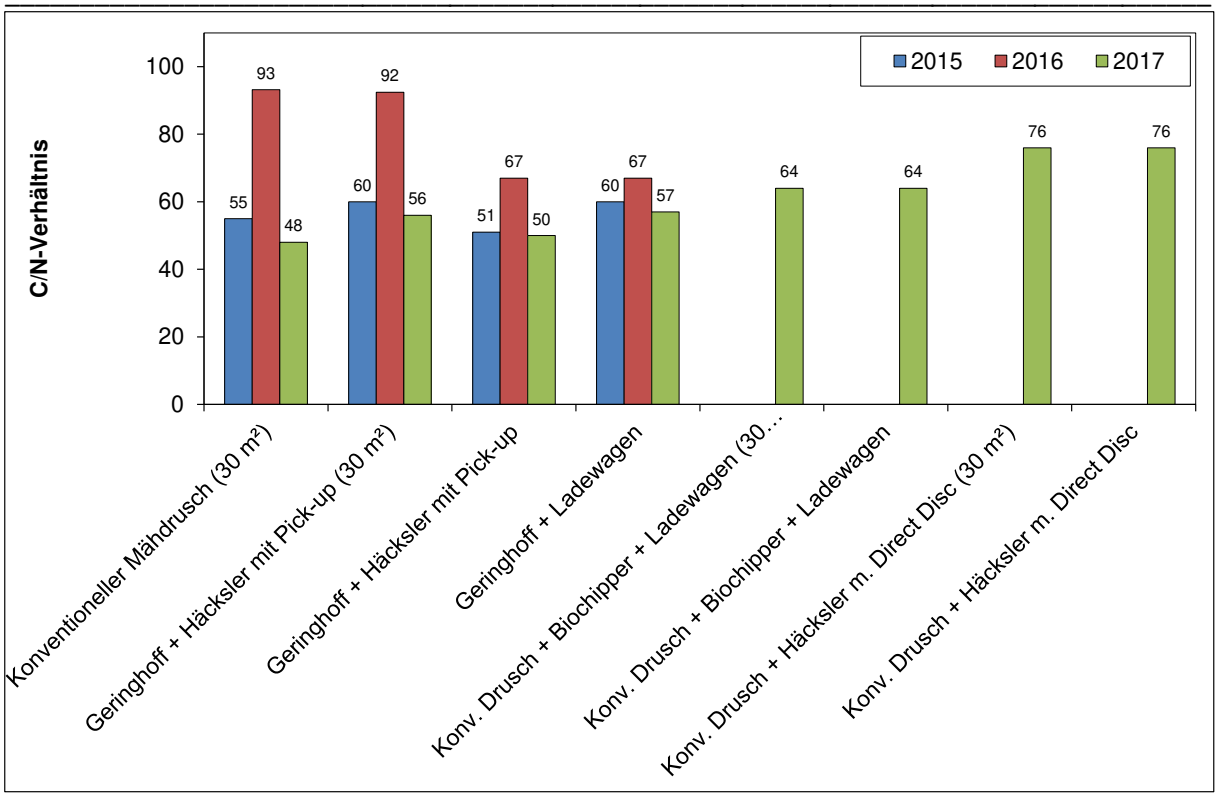

Abb. 6-29: C/N-Verhältnis von Körnermaisstroh (2015-2017)

6.11 Nitrat-Untersuchungen

Die Kombination aus verschiedenen Ackerflächen, unterschiedlicher Bewirtschaftung und den klimatischen Verhältnissen führte im Jahr 2015 zu einer hohen Schwankungsbreite der Ergebnisse und z.T. extrem hohen Nachernte- bzw. Herbst-N_{min}-Werten, die teilweise auch die unterste Bodenschicht betrafen (Abb. 6-30). Aufgrund der anhaltenden Sommertrockenheit konnten zudem nicht alle Flächen in drei Schichten untersucht werden. Ein Bezug zur eingesetzten Erntetechnik konnte nicht gefunden werden.

Zur Einordnung der Werte wurden die Ergebnisse der SchALVO-Herbstkontrollaktion in Baden-Württemberg herangezogen. Mit einem mittleren Nitratgehalt von 67 kg N/ha (0 - 90 cm) waren 2015 im Jahresvergleich ebenfalls hohe Werte gemessen worden (FINCK, 2016). N_{min}-Mengen von z.T. über 200 kg/ha deuten darauf, dass die Düngung teilweise deutlich über dem Pflanzenbedarf erfolgte und vermutlich nur zum Teil der Trockenheit in den Böden zuzuschreiben waren.

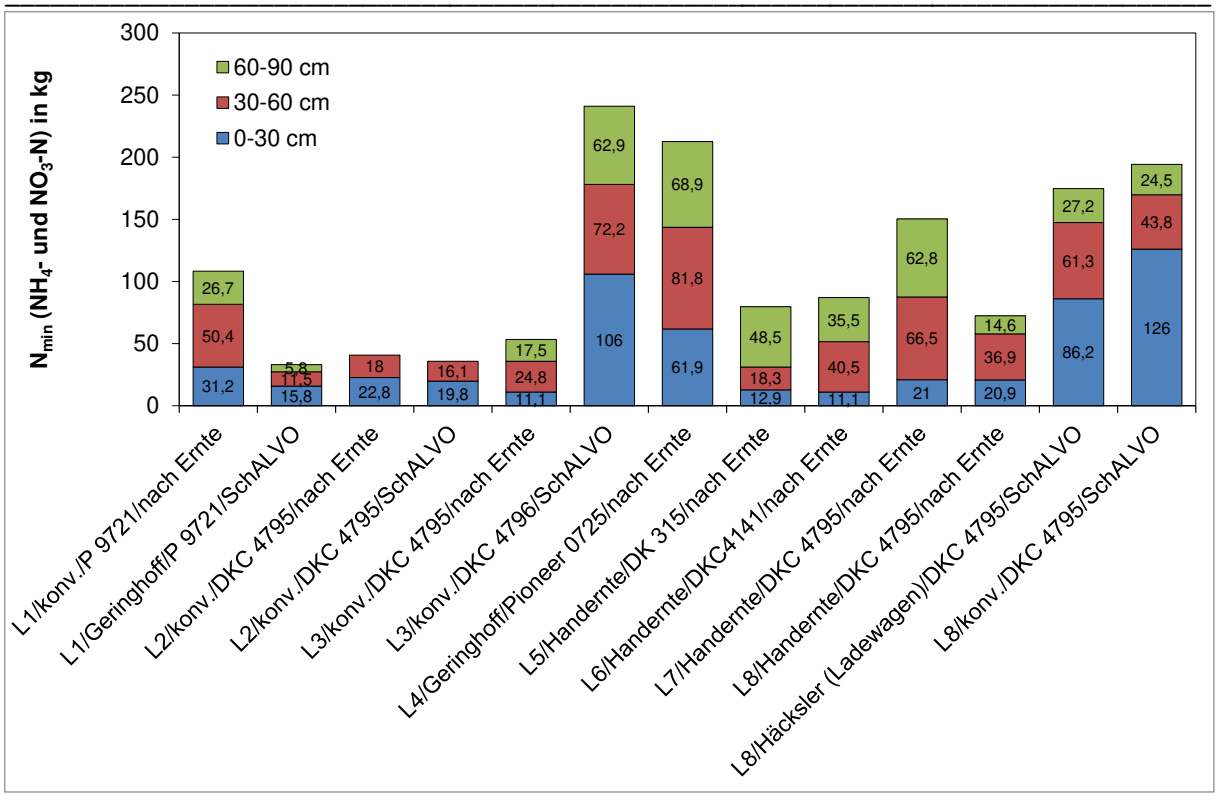

Abb. 6-30: N_{min} im Boden nach Ernte bzw. zum SchALVO-Termin (badenova-Projekt, 2015)

Im zweiten Versuchsjahr traten insgesamt deutlich geringere Schwankungen in den N_{min}-Werten auf. Die als ‚Feld 2' ausgewiesene Fläche wurde zudem 2016 und 2017 für den Technikvergleich genutzt, so dass hier eine Betrachtung über zwei Jahre erfolgen konnte. Hohe Gehalte wie im Vorjahr wurden nicht beobachtet; der Maximalwert lag bei moderaten 35 kg N/ha. Dieser Wert stimmt mit den Ergebnissen der SchALVO-Herbstkontrollaktion 2016 überein, bei der für Baden-Württemberg ein durchschnittlicher Nitratgehalt von 36 kg N/ha ermittelt wurde (Finck, 2017). Auffällig war der im Feld 2 in beiden Jahren etwas erhöhte N_{min}-Wert zum SchALVO-Termin in der Variante ‚nach konventioneller Ernte' im Vergleich zu den mitgeprüften Technikvarianten (Abb. 6-31 und 6-33).

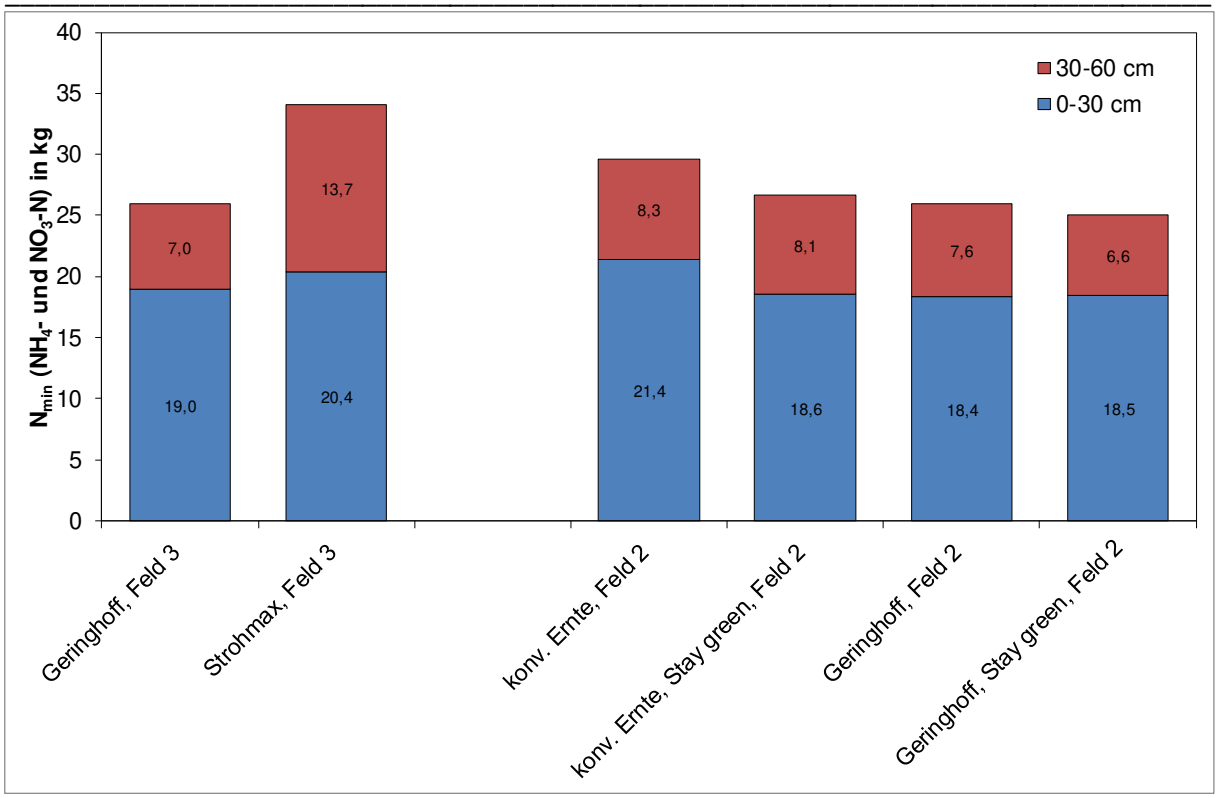

Abb. 6-31: N_{min} im Boden zum SchALVO-Termin (2016)

Auf dem Feld 3 wurden 2016 neben der konventionellen Maistechnik auch die Varianten ‚Geringhoff' und ‚Strohmax' untersucht. Zum SchALVO-Termin wies die ‚Strohmax'-Parzelle geringfügig höhere N_{min}-Werte auf als die ‚Geringhoff'-Parzelle. Mit < 35 kg/ha war die N-Menge jedoch in beiden Technikvarianten als gering einzuschätzen, wobei die Bodenschicht 0-90 cm nicht untersucht werden konnte.

Auf dieser Fläche wurden 2017 zu Vegetationsbeginn ebenfalls Bodenproben gezogen, um eventuelle Nachwirkungen unterschiedlich hoher Bergeverluste der verschiedenen Prüfvarianten auf den N_{min}-Gehalt untersuchen zu können (Abb. 6-32). Die Werte schwankten zwischen 23 und 47 kg N/ha, gaben jedoch keinen Hinweis auf einen Einfluss einer bestimmten Erntetechnik.

Zum Herbstkontrolltermin 2017 wurden beide Versuchsfelder (1 und 2) untersucht. Beprobt werden konnten allerdings wiederum nur die beiden oberen Bodenschichten. Feld 2, das auch 2016 bereits in die Prüfung der Technikvarianten einbezogen wurde, wies moderate Werte auf, mit Ausnahme der Variante ‚konventioneller Mähdrusch' (knapp 67 kg/ha in einer Bodentiefe von 0-60 cm). Im Vergleich dazu lagen die Werte für Körnermais in der Region laut Nitratinformationsdienst in Baden-Württemberg bei durchschnittlich 62 kg N/ha (0-90 cm) (HECKELMANN & GRIMM, 2017).

Auf einer weiteren Prüffläche (Feld 1) dagegen schwankten die N_{min}-Mengen um ca. 80 kg/ha (0-60 cm). Ein Bezug zur Erntetechnik kann nicht abgeleitet werden. Sowohl die diversen Bergetechniken als auch der Vergleich von ‚Stay green'- zu ‚konventioneller' Maissorte zeigten jeweils differenzierte Ergebnisse. Die Flächen mit sehr hohen bzw. sehr niedrigen Mengen grenzten allerdings direkt aneinander, so dass davon ausgegangen

werden kann, dass hier bereits vor der Ernte ein unterschiedliches Nährstoffniveau im Boden vorlag (Abb. 6-33).

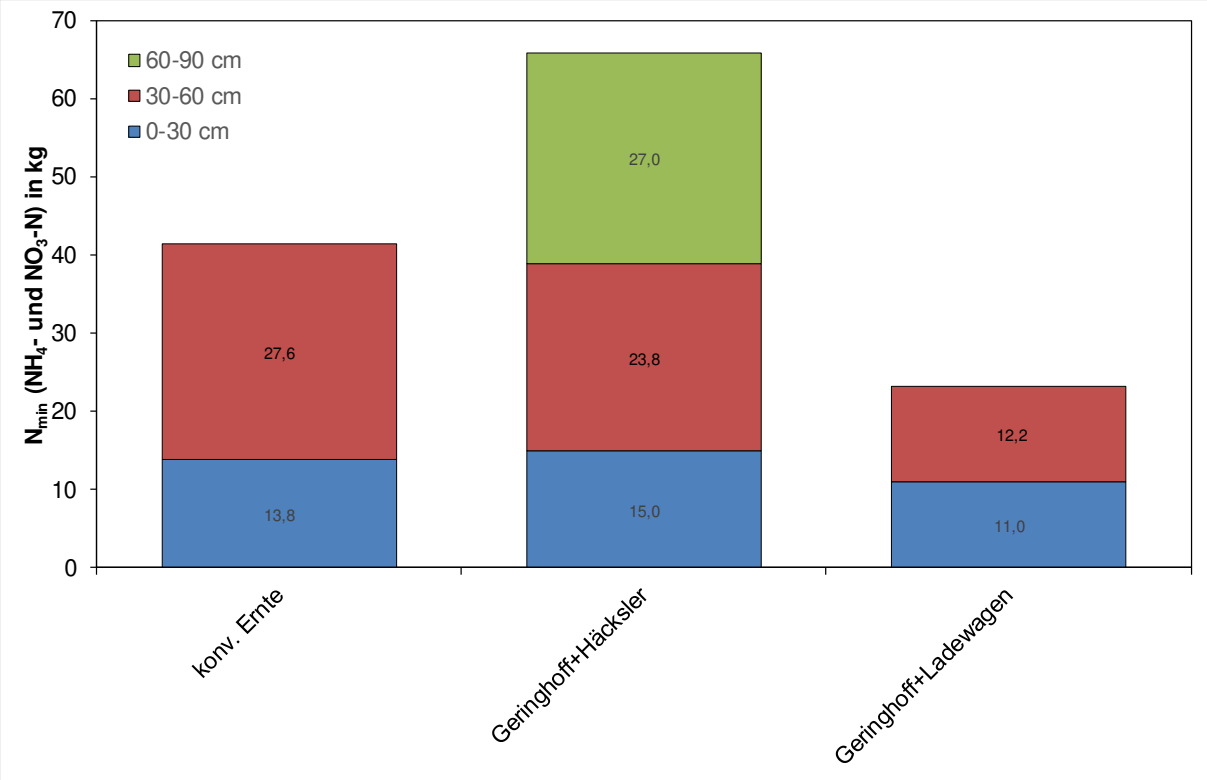

Abb. 6-32: N_{min} im Boden zu Vegetationsbeginn (2017)

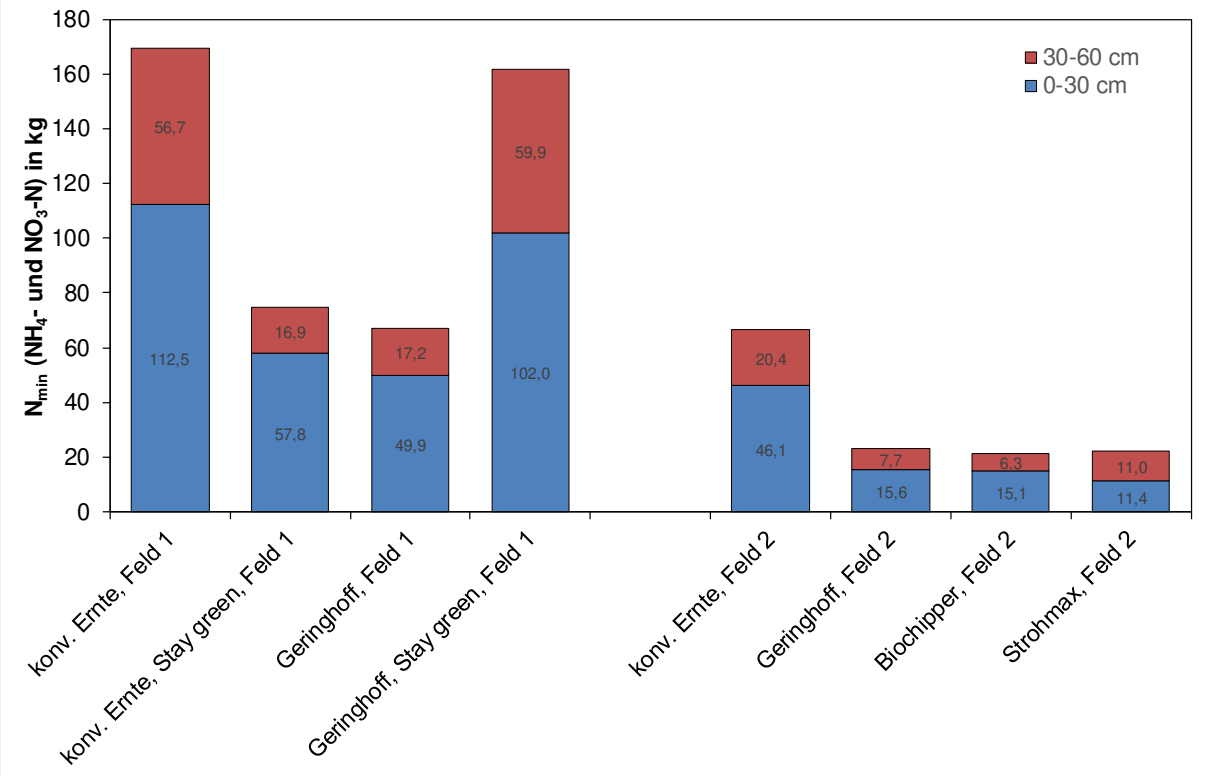

Abb. 6-33: N_{min} im Boden zum SchALVO-Termin (2017)

7 Wirtschaftliche Betrachtung

Im Projektzeitraum wurden in den Jahren 2016 und 2017 in der Gemarkung Neuenburg in Südbaden auf jeweils dem gleichen Schlag verschiedene Ernte-, Logistik- und Zerkleinerungsverfahren zur Bergung von Maisstroh erprobt. Dazu erfolgte eine Unterteilung des Feldes in jeweils etwa einen halben Hektar große Parzellen, in denen unter Praxisbedingungen sowohl Erträge ermittelt als auch die Fahrzeiten der einzelnen Ernteketten erhoben wurden. In die Auswertung gingen vier Verfahren ein, wobei zwei Varianten einjährig und zwei weitere in zwei Jahren geprüft wurden. In den Verfahren ‚Geringhoff Mais Star* Collect +Häcksler mit Pick-up' bzw. bei ‚Geringhoff Mais Star* Collect + Ladewagen' werden Mittelwerte aus beiden Jahren verglichen. Gegenübergestellt wurden in der Berechnung neben den Kosten für die Entschädigung des Landwirtes in Form von 25 m³ Gärrest frei Feld zudem die reale Entfernung des Versuchsfeldes von der Biogasanlage (Abb. 7-1) und eine theoretische, praxisüblichere Variante mit 10 km (Abb. 7-2). Die Kosten verringern sich dadurch geringfügig, es kommt aber zu keiner relevanten Verschiebung der Relationen zwischen den Varianten bei Felddistanzen von 10 bzw. 17 km.

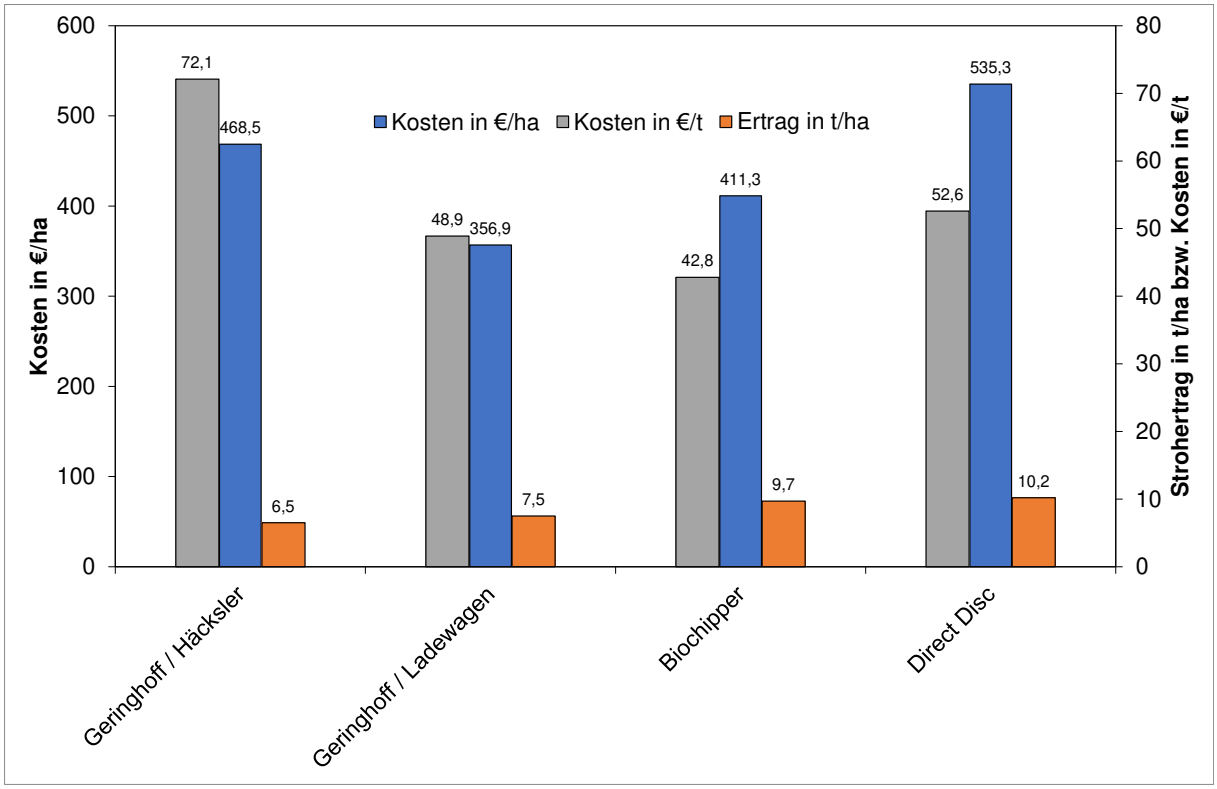

Abb. 7-1: Ertrags- bzw. Kostentendenzen bei einer Entfernung von 17 km zwischen Feld und Biogasanlage

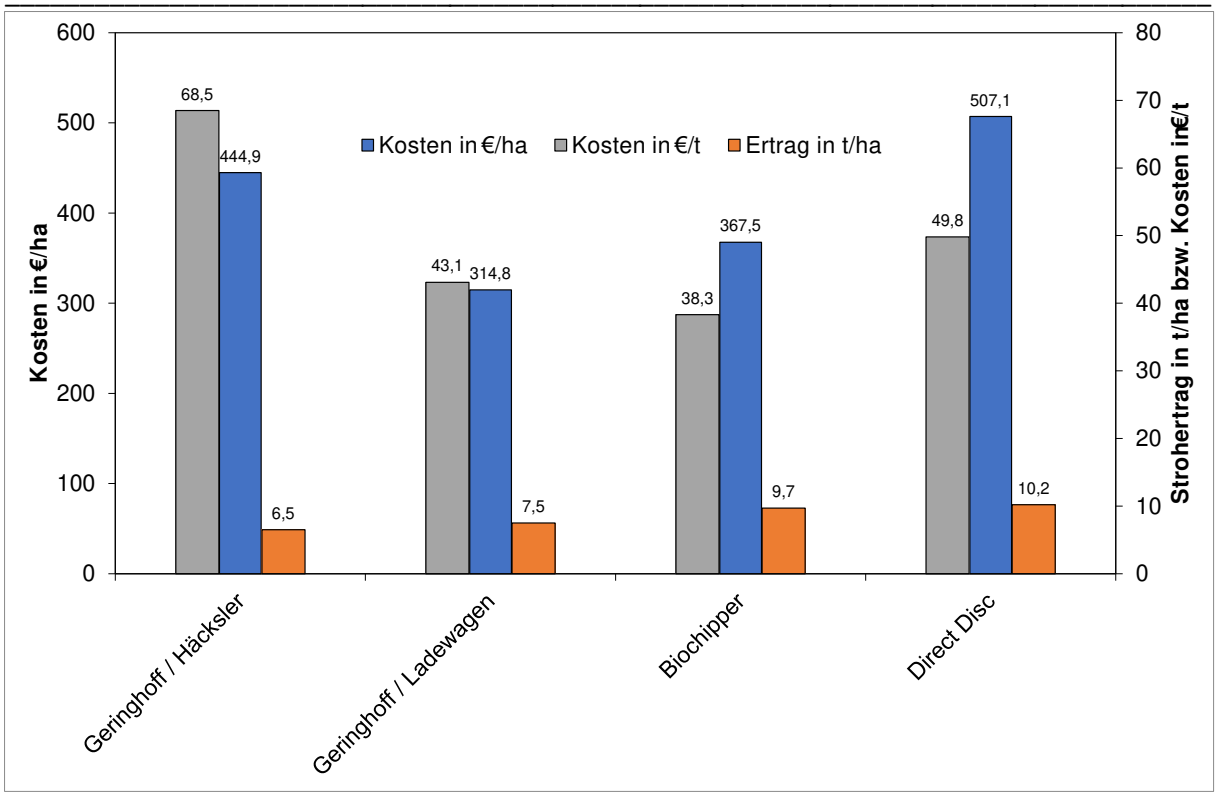

Abb. 7-2: Ertrags- bzw. Kostentendenzen bei einer Entfernung von 10 km zwischen Feld und Biogasanlage

Der vermeintliche Vorteil, durch die Strohbergung mit einem Feldhäcksler den Arbeitsschritt des stationären Zerkleinerns vor der Siloeinbringung einsparen zu können, wird in der kiesbesetzten Oberrheinebene durch hohe Maschinenkosten und insbesondere durch sehr hohen Verschleiß zunichte gemacht. Die standortspezifische Situation könnte sich jedoch hinsichtlich der Abnutzung auf steinärmeren Schlägen verbessern. Das Optimierungspotenzial am hohen Anteil der Maschinenkosten je geernteter Tonne dürfte jedoch gering sein. Im Vergleich zur Silomaisernte wurde bei der Maisstrohernte mit einem Feldhäcksler auch festgestellt, dass ca. 20 % des Materials unzerkleinert in den Transportanhänger aufgenommen werden. Obwohl der Preisunterschied je Tonne zwischen der Logistikkette mit dem ‚Geringhoff'-Gebiss ‚Mais Star* Collect' und dem ‚Biochipper' nicht hoch ist, dürften insbesondere in der deutschen Oberrhein-Region die kleinteiligen landwirtschaftlichen Strukturen gegen einen Einsatz des ‚Geringhoff'-Verfahrens sprechen, da der Transport häufig auf öffentlichen Straßen und Wegen stattfindet und dazu das Gebiss ab- und am Ziel-Standort neu angehängt werden muss. Die hierbei entstehenden Zusatzkosten bzw. die verringerte Schlagkraft je Arbeitsstunde sind in der o.g. Betrachtung noch nicht berücksichtigt. Im Gesamtvergleich war kostenseitig das Verfahren mit dem ‚Biochipper' am ungünstigsten zu bewerten.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Vorrangiges Ziel der Untersuchungen war es, geeignete Technikverfahren zum Bergen des Reststrohs zu ermitteln sowie für Körnermaisstroh anhand von ertrags- und

qualitätsbestimmenden Faktoren das ackerbaulich vorhandene und technisch realisierbare Potenzial zu quantifizieren. Folgende Schlussfolgerungen können gezogen werden:

- Beim Anbau von Körnermais fallen in Deutschland mit bis zu 4 Mio. Tonnen a^{-1} erhebliche Mengen an Reststoffen bzw. Koppelprodukten an, die für eine energetische oder stoffliche Verwertung zur Verfügung stehen. Die Nutzung der Biomasse unterliegt im novellierten EEG keiner gesetzlichen Restriktion und kann als Nebenprodukt kostengünstig bereitgestellt werden.
- Zwischenzeitlich stehen praktikable Ernteverfahren zur Verfügung, die für die Bergung von Körnermaisstroh grundsätzlich geeignet erscheinen. Die spezifisch kleinteiligen landwirtschaftlichen Strukturen in Baden-Württemberg und das damit verbundene häufige Umsetzen der Maschinen in der Erntekampagne stellen allerdings besondere Anforderungen an die Technik, so dass nicht alle verfügbaren Verfahren in allen Regionen empfohlen und eingesetzt werden können. In die Entscheidungsfindung diesbezüglich spielen logistische Gründe ebenso hinein wie eine wirtschaftliche Betrachtung.
- Der theoretisch erzielbare Maisstrohertrag lag im Projektzeitraum, abhängig von der gewählten Technik und den vorherrschenden Erntebedingungen, zwischen 3,0 und 5,0 t TM ha^{-1}, wobei insbesondere ‚Stay green'-Sorten mit einem Mehrertrag von bis zu 1,4 t TM ha^{-1} Stroh gegenüber herkömmlichen Maissorten einen deutlich höheren Ertrag aufwiesen. Eine grundsätzliche Überlegenheit dieser Sorten war nach zwei Versuchsjahren jedoch nicht abschließend zu klären.
- Abfuhrraten zwischen 30 und 70 % deuten auf erhebliche Unterschiede in der Effektivität der getesteten Bergungstechnik hin und zeigen, dass die Ernteverluste aktuell z.T. noch hoch sind und optimiert werden könnten. Zugleich muss jedoch darauf geachtet werden, dass die Bergeverluste mit der weiteren Optimierung der Technik nicht zu stark minimiert werden, um ausreichend organisches Material für die Humusreproduktion auf der Fläche zu belassen. Mit den Bergungsverlusten wird auch eine ausgeglichene Humusbilanz gewährleistet.
- Der Zerkleinerungsgrad des Erntematerials ab Feld erwies sich im Hinblick auf die Siliereigenschaften bei der Bergung mit einem selbstfahrenden Feldhäcksler als optimal geeignet im Gegensatz zur Aufnahme durch einen Kurzschnittladewagen, bei dem das grob strukturierte Stroh eine Nachbearbeitung in einer stationären Einrichtung an der Biogasanlage erforderte.
- Eine schmutzarme Bergung mit Rohaschegehalten unter 10 % ist möglich.
- Die Abfuhr überschüssigen Körnermaisstrohs kann mit zahlreichen Vorteilen verknüpft sein, wie beispielsweise einer Erleichterung von Strohmanagement und Bodenbearbeitung sowie einer Verbesserung phytosanitärer Aspekte. Einige der geprüften Technikvarianten ernteten zugleich auch Teile der Stoppeln und zerkleinerten das Maisstroh, so dass insbesondere die Maiszünslerbekämpfung gefördert bzw. ein zusätzlicher Arbeitsgang diesbezüglich eingespart werden kann. Als besonders geeignet können in dem Zusammenhang die im Projekt geprüften Verfahren ‚Biochipper' und ‚Strohmax' gelten.
- Die Höhe der Methanerträge in den einzelnen Projektjahren hing z.T. stark mit dem Zeitpunkt der Maisernte zusammen. Frühere Ernte- bzw. Bergetermine waren in der Regel mit einer höheren Gasausbeute sowie einer Steigerung der potenziell erntbaren Strohmenge gekoppelt. Inwieweit daraus Rückschlüsse auf Faktoren wie dem Einfluss von Sortenwahl, Standort- und Witterungsbedingungen oder die

Wärmesumme in der Vegetationszeit gezogen werden können, könnte Thema späterer Untersuchungen sein.

- Maisstroh wies in den Untersuchungen ein hohes Methanbildungspotenzial auf und kann als aussichtsreiches Biogassubstrat gelten. Die berechneten Methanhektarerträge lagen bei 20 bis 25 Prozent im Vergleich zu Silomais. Mit der Bergung des Strohs von 1 ha Körnermais ergibt sich überschlägig - ohne zusätzlichen Flächenbedarf und Produktionsaufwand - ein Substitutionspotenzial von bis zu einem Viertel einer speziell für die Substratproduktion etablierten Silomaisfläche. Die Nutzung von Reststroh kann einen gewissen Beitrag zur Überwindung der Problematik von Flächenkonkurrenzen leisten.

Die Ergebnisse der dreijährigen Untersuchungen im Rahmen des Projektes ‚Energetische Nutzung von Maisstroh' konnten zeigen, dass Körnermaisstroh als Reststoff ein qualitativ gut geeignetes und mit verfügbarer Bergetechnik nutzbares Biogassubstrat darstellt, das den Substratmix einer Biogasanlage kostengünstig ergänzen und dazu beitragen kann, speziell angebauten Silomais zu substituieren.

9 Literaturverzeichnis

AGRAVIS. (2019). *Futterverschmutzung durch angepasstes Grundfuttermanagement vermeiden*. Silierung: https://www.silierung.de/de/silierung_de/silierung/problembehebung/standard_224.html

badenovaWÄRMEPLUS. (2017). *Aus Maisstroh effizient Energie gewinnen*. badenovaWärmeplus: https://www.badenovawaermeplus.de/repository/Detailseiten/News/1009728_DE/aus-maisstroh-effizient-energie-gewinnen?back=true

BECKER, H., & SCHMIDT, W. (2014). *Züchtung von Maissorten für die Koppelnutzung Körner- und Biogasproduktion - Maissorten für „Teller und Tank“ -*. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=2ahUKEwjxtaOW_rHfAhVELVAKHU-xAJEQFjAEegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fwww.uni-goettingen.de%2Fde%2Fvortrag%2Bmais%2Btank%252Bteller%2B2014%2B%2F500779.html&usg=AOvVaw02eeBlsEaApRcCXnsu5lhZ

BENSMANN, M. (2017). Maisstroh macht Bakterien froh. *Biogas Jounal 2/2017*, 34-36.

BERG, E. (2014). *Nachhaltige Biogaserzeugung in Baden-Württemberg. Leitfaden.* https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=40&ved=2ahUKEwilxuLvxLPfAhVEblAKHTKHAKA4HhAWMAl6BAgCEAI&url=https%3A%2F%2Fwww.landwirtschaft-bw.info%2Fpb%2Fsite%2Flel%2Fget%2Fdocuments%2FMLR.LEL%2FPB5Documents%2Fmlr%2Fpdf%2FBiogas%2FNachhalt.

BERGMANN. (2018). *REPEX 33 K*. https://www.bergmann-goldenstedt.de/produkte/produktprogramm/lade-silierwagen/repex/repex-33-k.html

BHS, S. (2018). *Biogrinder (RBG)*. https://www.bhs-sonthofen.de/de/produkte/recyclingtechnik/biogrinder.html

BIOG. (2017). *BIOG*. http://www.biog-biogas.com/de/reststoffverwertung/erntetechnik/einbringtechnik-reststoffe-organische-abfaelle-biogastechnik-1123.html

BIOGAS-INNOVATIONSKONGRESS. (2017). *Biogas-Innovationskongress*. Vergabe der Biogas-Innovationspreise der Deutschen Landwirtschaft 2017.: http://www.biogas-innovationskongress.de/

BMWI. (2013). *Informationsportal Erneuerbare Energien*. Bioenergie: http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Technologien/Bioenergie/bioenergie.html

BOCKHOLT, K. (2018). *https://www.agrarheute.com*. Mais für Biogas: Unabhängige Versuchsergebnisse zur Sortenwahl: https://www.agrarheute.com/pflanze/mais/mais-fuer-biogas-unabhaengige-versuchsergebnisse-sortenwahl-550473

BOEHM, R. (2010). *Maisstroh*. Nachwachsende Rohstoffe BIZ: http://www.nachwachsende-rohstoffe.biz/zucker-und-starke-liefernde-pflanzen/maisstroh/

BÖRNECKE, S. (2010). Mais, Mais und noch mal Mais. *Frankfurter Rundschau*, http://www.fr.de/wirtschaft/energie/energiepflanzen-mais-mais-und-noch-mal-mais-a-1053491.

BPB. (2012). *Debatte um Bioenergie und Lebensmittelpreise*. Bundeszentrale für politische Bildung: http://www.bpb.de/politik/hintergrund-aktuell/142729/debatte-bioenergie-und-lebensmittelpreise-22-08-2012

CLAAS. (2017). *CLAAS 510-560. Schüttlertechnologie nach Maß*. CLAAS Vertriebsgesellschaft mbH: http://www.claas-group.com/blueprint/servlet/blob/153498/22fc70f5155a73bf448ed54fe2e02470/prospekt-lexion-500-data.pdf

CLAAS. (2018). *DIRECT DISC 600 P / 500 P DIRECT DISC und 600 / 500*. http://www.claas.de/produkte/feldhaecksler/jaguar-vorsatzgeraete-2018/direct-disc

CLAAS. (2018). *Jaguar Vorsatzgeräte*. https://www.claas.de/produkte/feldhaecksler/jaguar-vorsatzgeraete-2018/pick-up?subject=CVG_de_DE

DETER, A. (2017). *Film „Der Bauer und sein Klima" spaltet den Berufsstand*. top agrar: https://www.topagrar.com/news/Home-top-News-Film-Der-Bauer-und-sein-Klima-spaltet-den-Berufsstand-8420394.html

DEUTSCHER BUNDESTAG. (2007). *Biomasse vs. Nahrungsmittelproduktion*. Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages: https://www.bundestag.de/blob/424958/c0b9d7ba2bdcd917d38d8f76d7d95ed4/wd-5-105-07-pdf-data.pdf

DMK. (2017). *Anbaufläche Körnermais* . Deutsches Maiskomitee e.V. (DMK): https://www.maiskomitee.de/Fakten/Statistik/Europ%C3%A4ische_Union

DMK. (2019). *Silomaiserträge (inkl.Biogasnutzung) Deutschland in dt/ha, 2015-2019, nach Bundesländern.* https://www.maiskomitee.de/Fakten/Statistik/Deutschland/Fl%C3%A4chenertr%C3%A4ge.

DMK. (2020). *Flächenerträge*. https://www.maiskomitee.de/Fakten/Statistik/Deutschland/Fl%C3%A4chenertr%C3%A4ge

EDER, J., & THURNER, S. (2017). *Verwertung von Körnermaisstroh für die Biogaserzeugung*. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): https://www.lfl.bayern.de/ipz/mais/076707/

FLESCHHUT, M., & STROBL, M. (2017). Körnermaisstroh – ein Substrat, das Hoffnungen weckt. *BIOGAS JOURNAL. 2/2017*, 27-33.

FLESCHHUT, M., THURNER, S., OSTERTAG, J., & EDER, J. (2017). *Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Verwertung von Körnermaisstroh für die Biogasproduktion (N/14/07).* https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/07_fleschhut_2017.pdf: LfL Bayern.

FLESCHHUT, M., THURNER, S., OSTERTAG, J., BAUER, A., STROBL, M., & SCHWARZ, F. (2016). *Körnermaisstroh als Biogassubstrat.* https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ilt/dateien/tagungsband_infotag_koernermaisstroh_2016.pdf: LfL Bayern.

FLESCHHUTH, M. (2015). Doppelernte beim Körnermais. *Innovation 4/2015*, https://www.magazin-innovation.de/export/sites/magazin-innovation.de/extras/dokumente/innovation-ab-1-15/2015-4-doppelernte-koernermais.pdf.

FNR. (2013). *Bioenergie - die vielfältige erneuerbare Energie.* https://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr_brosch_re_bioenergie_2013_dt._web.pdf: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR).

FNR. (2014). *Leitfaden Feste Biobrennstoffe.* https://mlr.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mlr/intern/bilder/Bio%C3%B6konomie___Nachwachsende_Rohstoffe/leitfadenfestebiobrennstoffe2014-09.pdf: FNR.

FNR. (2017). *BASISDATEN BIOENERGIE Deutschland 2017.* Güstrow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).

FNR. (2017). *bioenergie.fnr.de*. Biomasse-Potenziale: https://bioenergie.fnr.de/bioenergie/biomasse/biomasse-potenziale/

FNR. (2019). *Maisanbau in Deutschland .* https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas/maisanbau-in-deutschland.html: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).

GARMEISTER, R. (2018). Mischsilage: Eine Alternative zum Mais. *top agrar online*, https://www.topagrar.com/energie/news/mischsilage-eine-alternative-zum-mais-9835502.html.

GAUL, T. (2018). Wie aus Stroh ein Biogassubstrat wird (Teil 1). https://www.agrarheute.com/landundforst/betrieb-familie/energie/stroh-biogassubstrat-teil-1-544425.

GERINGHOFF. (2018). *Geringhoff.de*. http://www.geringhoff.de/mais-star-collect.html

GOLUB, M., MARTINOV, M., BOJIC, S., VISKOVIC, M., DJATKOV, D., DRAGUTINOVIC, G., & DALLEMAND, J. (2016). Investigation on Possibilities for Sustainable Provision of Corn Stover as an Energy Source: Case Study for Vojvodina. . *Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America 47 (4)*, 7–15.

GRAHAM-ROWE, D. (2012). *Tank gegen Teller*. Spektrum.de: http://www.spektrum.de/news/tank-gegen-teller/1142590

HARTMANN, A. (2008). Wie viel Fläche wird für Biogas benötigt? *Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 7/2008*, http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Service/Veroeff/Monatshefte/PDF/Beitrag08_07_08.pdf.

HARTMANN, A. (2014). *Mais – Anbautrend ist ungebrochen*. https://www.statistik-bw.de/Service/Veroeff/Monatshefte/20140904?path=/Landwirtschaft/Ernte/

HERBES, C., PUSTISEK, A., McKENNA, R., & BALUSSOU, D. (2014). Überraschende Diskrepanz bei Biogas: lokal akzeptiert, global umstritten. *ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE TAGESFRAGEN 64. Jg. (2014) Heft 5. https://www.hfwu.de/fileadmin/user_upload/ISR/Dokumente/Publikationen_Herbes/ET_5_14-Herbes_Balussou.pdf*, 53-56.

HESSEN, L. (2008). *Getreide und Körnermais*. Nährstoffgehalte pflanzlicher Produkte: http://pflanzenproduktion.llh-hessen.de/ngh_pp/ngh_ausgabe.php

HOLZHAMMER, A. (2016). *Maisstroh in den Gärbehälter: Ein Landwirt berichtet*. agrar heute: https://www.agrarheute.com/management/maisstroh-gaerbehaelter-landwirt-berichtet-527618

HÜGER, M. (2017). *Aus Maisstroh effizient Energie gewinnen*. https://www.badenova.de/repository/Detailseiten/News/1009728_DE/aus-maisstroh-effizient-energie-gewinnen

JACOBS, G. (2011). Zehrt der Maisanbau an den Humusvorräten? *mais 3/2011 (38. Jg.)*, 118-121. http://download.maisfakten.de/mais_03-2011_Jacobs_Humusvorraete.pdf

JÄNICKE, H. (2011). Grobfutter- und Substraterzeugung in: Praxishandbuch Futter- und Substraterzeugung. 8. Aufl. DLG. 23-50.

JURIS. (2017). *juris GmbH, Juristischen Informationssystem für die BRD*. Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2017), § 39h Besondere Zahlungsbestimmungen für Biomasseanlagen: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/__39h.html

KALTSCHMITT, M., HARTMANN, H., & HOFBAUER, H. (2016). *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren.* Springer-Verlag.

KNEBEL, A., KUNZ, C., SCHÖNLEBER, N., & ZEDDIES, J. (2014). *Metaanalyse Potenziale der Bioenergie. Forschungsradar Energiewende.* Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

KOLBE, H. (2019). *Humus 2: Humus – Grundlage der Bodenfruchtbarkeit*. https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Boden/_Texte/Humus-GrundlageBodenfruchtbarkeit.html

KOLBE, H., & ZIMMER, J. (2015). *Leitfaden zur Humusversorgung.* https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwi6nfbA8rHfAhVM1ywKHetTCqoQFjACegQIBxAC&url=https%3A%2F%2Fpublikati

onen.sachsen.de%2Fbdb%2Fartikel%2F25484%2Fdocuments%2F35267&usg=AOvVaw3AUmZ5PBat91-AcbVD7Wgm: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

KRATZ, S. (2009). *Humusdünger?* http://boden-fruchtbarkeit.de/wp-content/uploads/Humus09_Gibt-es-Humusd%C3%BCnger_Sylvia-Kratz.pdf

KRONE. (2018). *Comprima X-treme*. https://landmaschinen.krone.de/deutsch/produkte/rundballenpressen/comprima-x-treme/pick-up-easyflow/

LEHMANN, T., & FRIEDRICH, E. (2012). *Stroh statt Feldfrüchte*. Lehmann Maschinenbau GmbH & Fraunhofer IKTS: http://www.lehmann-maschinenbau.de/uploads/media/1200321_Stroh_statt_Feldfruechte.pdf

LFL. (2019). *Basisdaten*. https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/basisdaten_20190131.pdf

LINDNER, R. (2013). Überlegungen zum Projektbericht 'Energie aus Biomasse - eine Chance für die Landwirtschaft?'. In H. FLAIG, & H. MOHR, *Energie aus Biomasse: — eine Chance für die Landwirtschaft* (S. 350). Springer-Verlag.

LÜTKE ENTRUP, N., BREITSCHUH, T., & MEßNER, H. (2011). *Studie 'Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Betriebe mit Maisanbau'.* http://download.maisfakten.de/Nachhaltigkeitsstudie_-_Langfassung-Okt_2011.pdf: DMK.

M&R. (2018). *Strohmax - Der Maisstroh Sammler*. https://www.strohmax.de/maschine.html

MAIER, J. (2006). *Energie aus Biomasse – Konkurrenz zur Nahrungsproduktion?* http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj0yZLb1ePYAhVSsBQKHV_VBHQQFggvMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.dlg-verlag.de%2Fmisc%2FfilePush.php%3Fid%3D832%26name%3Dleseprobe_el-dt-06-06.pdf&usg=AOvVaw0ZsVNFXZVTOtbfoL-Q8C

MENARDO, S., AIROLDI, G., CACCIATORE, V., & BALSARI, P. (2015). Potential biogas and methane yield of maize stover fractions and evaluation of some possible stover harvest chains. . *Biosystems Engineering 129*, 352–359.

MENRAD, H., & KÖNIG, A. (2013). *https://books.google.de/books?id=sXS1BgAAQBAJ&dq=Maisstroh+Reststoffe&hl=de&source=gbs_navlinks_s.* https://books.google.de/books?id=sXS1BgAAQBAJ&dq=Maisstroh+Reststoffe&hl=de&source=gbs_navlinks_s: Springer-Verlag.

MÜHLENHOFF, F. (2013). *Reststoffe für Bioenergie nutzen. Potenziale, Mobilisierung und Umweltbilanz*. Agentur für Erneuerbare Energien e.V.: https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/165.64_Renews_Spezial_Reststoffe_fuer_Bioenergie_nutzen_apr13.pdf

MÜHLENHOFF, J. (2013). *Reststoffe für Bioenergie nutzen. Potenziale, Mobilisierung und Umweltbilanz.* https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/165.64_Renews_Spezial_Reststoffe_fuer_Bioenergie_nutzen_apr13.pdf: Agentur für Erneuerbare Energien e. V.

NERLICH, K., WURTH, W., & ZÜRCHER, A. (2013). *Energiepflanzen für Biogasanlagen. Baden-Württemberg / 2.1 Energiemais.* https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/ltz_ka/Arbeitsfelder/Nachwachsende%20Rohstoffe/Kulturinformationen/Brosch%C3%BCren_DL/FNR-Brosch%C3%BCre/Brosch%C3%BCre%20-%20Energiepflanzen%20f%C3%BCr%20Biogasanlag: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR).

NESTLER, R. (2012). Mais, Mais, Mais ist keine gute Idee. *https://www.tagesspiegel.de/wissen/interview-mais-mais-mais-ist-keine-gute-idee/6086918.html*.

NEUMANN, H. (2014). Maisstroh: Ein günstiges Biogassubstrat. *https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi50Y_-hbXZAhWKOxQKHVYHCO4QFgg0MAE&url=https%3A%2F%2Fwww.topagrar.com%2Farchiv%2FMaisstroh-Ein-guenstiges-Biogassubstrat-1716137.html%3Faction%3Ddownload&usg=AOvVaw0t2*, 26-28.

NEUMANN, H. (2014). *top agrar*. top agrar 1/2014: https://www.topagrar.com/archiv/Auch-Stroh-und-Spindeln-liefern-Energie-1316299.html

NEUMANN, H. (2017). *Achten Sie auf das richtige C/N-Verhältnis im Fermenter.* https://www.topagrar.com/energie/news/achten-sie-auf-das-richtige-c-n-verhaeltnis-im-fermenter-9477502.html.

NEUMANN, H. (2017). *Auch Biokraftstoffe der ersten Generation sind nachhaltig*. top agrar: https://www.topagrar.com/news/Energie-Energienews-Auch-Biokraftstoffe-der-ersten-Generation-sind-nachhaltig-8687929.html

NEUMANN, H. (2017). *Stroh ersetzt Maissilage*. top agrar online: https://www.topagrar.com/news/Energie-Energienews-Stroh-ersetzt-Maissilage-8442582.html

OSTERTAG, J., & FLESCHHUT, M. (2016). Stroh silieren? Untersuchungen zur Siliereignung von Körnermaisstroh. In M. FLESCHHUT, & et al., *Körnermaisstroh als Biogassubstrat* (S. 28-35). Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).

OSTERTAG, J., & FLESCHHUT, M. (2016). Untersuchungen zum Einfluss von Sorte, Erntetermin und Ernteverfahren auf den Ertrag und die Eignung von Maisstrohsilage als Substrat für die Biomethanerzeugung. *Futterkonservierung und Fütterung*, 65.

PACAN, B., & DRÖGE, S. (2010). *Abschlussbericht zum Forschungsprojekt: Stoffliche und energetische Nutzung von Stroh.* http://www.pfi-biotechnology.de/uploads/media/Stoffliche_und_energetische_Nutzung_von_Stroh_01.pdf: PFI Germany.

PEYKER, W. (2008). *Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Körnermais. Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.*

PEYKER, W. e. (2008). *Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Körnermais.* Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.

PEYKER, W., DEGNER, J., ZORN, W., & GÖTZ, R. (2017). *Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Körnermais.* Jena: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.

PIETZSCH, J. (2017). *Bioökonomie für Einsteiger.* https://books.google.de/books?id=9SzCDgAAQBAJ&dq=Maisstroh+Reststoffe&hl=de&source=gbs_navlinks_s: Springer-Verlag.

PROPLANTA. (2019). *C/N-Verhältnis*. proplanta: https://www.proplanta.de/Agrar-Lexikon/C-N-Verh%E4ltnis_ll1140798706.html

SCHIEMENZ, K. (2011). *Nutzung von Biomasseaschen für die Phosphor-Versorgung im Pflanzenbau.* http://rosdok.uni-rostock.de/file/rosdok_disshab_0000000823/rosdok_derivate_0000004874/Dissertation_Schiemenz_2012.pdf.

SCHOBER, C. (2008). *Untersuchungen zum Einsatz technischer und mikrobiell hergestellter Enzymsysteme zur Hydrolyse der Lignocellulose in Maissilage.* https://books.google.de/books?id=HzT0FBh4dCAC&pg=PA2&lpg=PA2&dq=Maisstroh+Reststoffe&source=bl&ots=POIEOww-vu&sig=A4d_xMXmi5eUsGP_2V__Zi9rW9E&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwjiu8b8trnZAhWSsKQKHcvuB0g4ChDoAQgxMAM#v=onepage&q=Maisstroh%20&f=false: Logos Verlag Berlin GmbH.

SCHÖNBERGER, H., ROHLMANN, A., & BRÖKER, M. (2020). *Das Ziel der N-Startgabe (Bestandesdüngung) ist:*. topagrar online: https://www.topagrar.com/acker/aus-dem-heft/das-ziel-der-n-startgabe-bestandesduengung-ist-10268319.html

SCHROPP, D. (2016). *Anaerobe Vergärung von Reststoffen der lebensmittelproduzierenden Industrie.* https://oparu.uni-ulm.de/xmlui/bitstream/handle/123456789/4304/Dissertation.pdf?sequence=1&isAllowed=y: Dissertation.

SCHÜTZ, G. (1977). *Ackerbauliche Varianten der Kombination von Gülle- und Strohdüngung zu Zuckerrüben und Sommergerste bei industriemäßiger Produktion in der LPG 'Vereinte Kraft' in Vieppachedelhausen.* Dissertation. MLU Halle-Wittenberg.

SHINNERS, K., BENNETT, R., & HOFFMAN, D. (2012). Single- and two-pass corn grain and stover harvesting. . *Transactions of the ASABE 55 (2)*, 341–350.

STATISTA. (2018). *Aufkommen verschiedener landwirtschaftlicher Reststoffarten im Zeitraum von 1999 bis 2007 (in Millionen Tonnen)*. Von Das Statistik-Portal: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/207175/umfrage/aufkommen-verschiedener-landwirtschaftlicher-reststoffarten/ abgerufen

STRAUTMANN. (2018). *Leistungsstark und leichtzügig - Die Strautmann Ladewagen*. Von http://www.strautmann.de/Produkte/Ladewagen.html abgerufen

STROBL, M. (2016). *Körnermaisstrohnutzung - eine erste Einschätzung*. http://www.itada.org/deutsch/pdf-upload/PPT%20ITADA%20Forum%2025%20Okt%202016%20Teil3.pdf

STROBL, M., & FLESCHHUT, M. (2018). *Wirtschaft & Steuern, 2/2018*. Körnermaisstroh in Biogasanlagen: http://www.bubbv.de/fileadmin/user_upload/Buchstelle/Downloads/wirtschaftsteuern-2-2018.pdf

SUNTROP, C. (2016). *Chemiestandorte: Markt, Herausforderungen und Geschäftsmodelle.* https://books.google.de/books?id=FVO-CwAAQBAJ&dq=Maisstroh+Reststoffe&hl=de&source=gbs_navlinks_s: John Wiley & Sons.

THRÄN, D., & PFEIFFER, D. (2013). *Methodenhandbuch: Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseffekte. Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung" BAND 4.* https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Ver%C3%B6ffentlichungen/04_Methodenhandbuch_2013.pdf: BMU.

UNIVERSITÄT HOHENHEIM. (2012). *Akademie für Natur-und Umweltschutz beim Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft*. Im Spannungsfeld zwischen Energie, Ernährung, Klimaschutz und Biodiversität: Biomasseerzeugung nachhaltig entwickeln. 38. Hohenheimer Umwelttagung am 16. Februar 2012, Universität Hohenheim: https://www.uni-hohenheim.de/uploads/media/Diskussionspapier_Hohenheimer_Umwelttagung_2012.pdf

WEDEMEYER, H. (2017). *EEG 2017*. https://www.efzn.de/fileadmin/Veranstaltungen/EEG-Workshop-2016/Vortrag_H._Wedemeyer_-_Landvolk_Niedersachsen.pdf

WEISER, C. (2014). Einflüsse auf den Getreidestrohertrag als Voraussetzung der Bestimmung des nachhaltigen Strohpotenzials. . *TATuP-Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis, 23(2)*, 66-70.

WILHELM, W., JOHNSON, J., KARLEN, D., & LIGHTLE, D. (2007). Corn Stover to Sustain Soil Organic Carbon Further Constrains Biomass Supply. *Agronomy Journal 99 (6), 1665*, https://www.researchgate.net/publication/43266546_Corn_Stover_to_Sustain_Soil_Organic_Carbon_Further_Constrains_Biomass_Supply.

ZELLER, V., & al., e. (2012). *DBFZ Report Nr. 13. Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung.* https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_13.pdf: DBFZ.

ZELLER, V., & et al. (2012). *DBFZ-Report Nr. 13: Basisinformationen für eine nachhaltigeNutzung von landwirtschaftlichenReststoffen zur Bioenergiebereitstellung.*

https://docslide.net/documents/deutschland-strohpotenzial-2012.html: DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum.

ZORN, W., HEß, H., & ULLMANN, E. (kein Datum). *Handschriftliche N- und P-Düngebedarfsermittlung nach Düngeverordnung (DüV) vom 26.05.2017.*