

Karoline Röper<sup>1</sup>, Franz-Ferdinand Gröblichhoff<sup>1</sup>, Harald Laser<sup>1</sup>, Ralf Pude<sup>2</sup>, Bernhard Carl Schäfer<sup>3</sup>

## Einfluss der Seneszenz auf die Differenzierung der Inhaltsstoffe von Körnerleguminosenstroh als Grundlage für die Berechnung theoretischer Biogaspotentiale

Influence of senescence on the differentiation of the ingredients of grain legume straw as a basis for the calculation of theoretical biogas potentials

510

### Zusammenfassung

Der Einsatz von Getreidekorn oder Mais als Substrat für die Biogasanlage wird durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zukünftig schrittweise auf maximal 44 % begrenzt (EEG, 2017, § 39 h). Zusätzlich hierzu wird bei den meisten bestehenden und neuen Anlagen die Festvergütung entfallen, was eine weitere Herausforderung hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit von Substraten darstellt. Koppelprodukte aus der Landwirtschaft stellen eine bisher weitestgehend ungenutzte, kostengünstige Alternative dar. Für einen erfolgreichen Einsatz von strohartigen und damit lignozellulosereichen Substraten in Biogasanlagen ist es jedoch notwendig, Daten zum Biogaspotential zu generieren. Den bisherigen hauptsächlichen Anbaureiz bei Körnerleguminosen stellt der Vorfruchtwert der Kultur dar (ZERHUSEN-BLECHER et al., 2016). Die Nutzung dieses Koppelprodukts in Biogasanlagen könnte einen zusätzlichen Anbaureiz schaffen und die Wirtschaftlichkeit von Körnerleguminosen verbessern. Um die Auswirkung der zunehmenden Seneszenz auf die Inhaltsstoffe des Stroh bei Körnerleguminosen zu prüfen, wurden jeweils drei Genotypen von Futtererbsen *Pisum sativum* L. und Ackerbohnen *Vicia faba* L. in zwei Jahren, an zwei Standorten in vierfacher Wiederholung zu unterschiedlichen Terminen geerntet und als Stroh oder Strohsilage konserviert. Die Termine sollten die Zeitspanne von einer beginnenden Druschreife (BBCH 84 – 89), zur Druschreife (BBCH 89 – 94) und später Druschreife (BBCH 96 – 98) bis hin zur voll-

ständigen Totreife (BBCH 99) abdecken. Die Untersuchung der Inhaltsstoffe umfasste den Rohprotein-, Hemizellulose-, Zellulose- und Ligningehalt nach van Soest. Anhand dieser Inhaltsstoffe wurden theoretische Biogaspotentiale berechnet. Die Untersuchungen ergaben bei beiden Arten eine Abnahme des Rohproteingehalts mit zunehmender Seneszenz. Bei den anderen Inhaltsstoffen gab es Unterschiede zwischen den Arten und Konservierungsverfahren. Der Hemizellulosegehalt lag, durch die Silierung abgebaut und zu organischen Säuren umgewandelt, bei den Silagen unterhalb der Gehalte im Stroh, trotz identischem Ausgangsmaterial. Insgesamt wurde eine Zunahme der Gerüstsubstanzen mit fortschreitender Seneszenz festgestellt. Die theoretischen Biogaspotentiale nahmen mit fortschreitender Seneszenz zu oder blieben davon unbeeinflusst. Es wurden Biogasausbeuten von etwa 530 l/kg TM und Methangasausbeuten von etwa 265 l/kg TM berechnet, dies entspricht etwa 75 % der Methangasausbeute von Silomais (KARPENSTEIN-MACHAN, 2005). Die Sortenunterschiede waren bei den Gasausbeuten der Ackerbohnen gering, daher ist der Strohertrag ein wichtigerer Parameter für die Nutzung als Biogassubstrat. Bei den Ackerbohnen sind die Sorten Fuego und Tiffany zu empfehlen, da hier die Stroherträge gesichert höher waren als die der Sorte Taifun. Bei den Erbsen hatte die Sorte Respect einen höheren Strohertrag und etwas höhere Gasausbeuten als die anderen Sorten, jedoch konnte diese Sorte nicht vollständig geprüft werden, weshalb keine Sortenempfehlung gegeben wird.

### Affiliationen

<sup>1</sup> Fachhochschule Südwestfalen, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest

<sup>2</sup> INRES Nachwachsende Rohstoffe (INRES), Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

<sup>3</sup> Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für nationale und internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit, Braunschweig

### Kontaktanschrift

Karoline Röper, Campus Klein-Altendorf, Klein-Altendorf 2, 53359 Rheinbach, E-Mail: k.roeper@uni-bonn.de

### Zur Veröffentlichung angenommen

4. Juni 2020

**Stichwörter:** *Vicia faba*, *Pisum sativum*, Stroh, Seneszenz, Inhaltsstoffe, Biogaspotential, Körnerleguminosen, Koppelprodukt

**Key words:** *Vicia faba*, *Pisum sativum*, straw, senescence, ingredients, biogas potential, grain legumes, co-products

## Abstract

The use of cereal grains or maize as substrate for the biogas plant will in future be gradually limited to a maximum of 44 % by the Renewable Energy Sources Act (EEG, 2017, § 39 h). In addition, the fixed payment will no longer apply to most existing plants and new plants, which represents a further challenge with regard to the economic efficiency of substrates. Co-products from agriculture represent a so far largely unused, cost-effective alternative. Up to now, the main motivation for growing grain legumes has been the preceding crop value of the crop (ZERHUSEN-BLECHER et al., 2016). The use of this co-product in biogas plants could provide an additional cultivation inducement and improve the profitability of grain legumes. However, for a successful use of straw-like and thus lignocellulose-rich substrates in biogas plants it is necessary to generate data on the biogas potential. In order to test the effect of increasing senescence on straw ingredients in grain legumes, three genotypes each of field peas *Pisum sativum* L. and field beans *Vicia faba* L. were harvested at different dates and conserved as straw or straw silage in two years, at two locations with four repetitions. Harvesting dates should cover the period from beginning of threshing maturity (EC 84–89), to threshing maturity (EC 89–94) and later threshing maturity (EC 96–98) until complete dead maturity (EC 99). The examination of the ingredients included the crude protein, hemicellulose, cellulose and lignin content according to van Soest. Based on these ingredients, theoretical biogas potentials were calculated. The investigations showed a decrease of the crude protein content with increasing senescence in both species. For the other ingredients, there were differences between the species and preservation methods. The hemicellulose content degraded by ensiling and converted to organic acids was lower in the silages than in the straw, despite the same starting material. Overall, an increase in the structural substances with progressive senescence was observed. The theoretical biogas potentials increased with progressive senescence or remained unaffected by it. Biogas yields of about 530 l/kg DM and methane gas yields of about 265 l/kg DM were calculated, which is about 75 % of the methane gas yield of silage maize (KARPENSTEIN-MACHAN, 2005). The differences in the gas yields of field bean varieties were small, therefore straw yield as a parameter for use as biogas substrate is more important. For field beans, the varieties Fuego and Tiffany are recommended, since the straw yields were significantly higher than those of the variety Taifun. For peas, the variety Respect had a higher straw yield and slightly higher gas yields than the other varieties, but this variety could not be completely tested, which is why no variety recommendation is given.

## Einleitung

Körnerleguminosen finden sowohl in der Human- als auch in der Tierernährung Anwendung, wobei die Verwendung der Samen die Fütterung von Wiederkäuern, Schweinen, Pferden und Geflügel bis hin zur Humanernährung umfasst und eine Nutzung des Strohs hingegen wenig verbreitet ist. Voraussetzung für eine Nutzung als Nahrungs- oder Futtermittel, die keine negativen Folgen für den aufnehmenden Organismus hat, sind fundierte Erkenntnisse für die einzelnen Arten hinsichtlich der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe und deren Nährwert sowie der sekundären Inhaltsstoffe, die positiven oder auch negativen Einfluss auf die Gesundheit bei Mensch und Tier haben können. Da die Anbaufläche von Hülsenfrüchten zur Körnergewinnung im Jahr 2019 zu 38 % aus Erbsen gefolgt von 25 % Ackerbohnen, 15 % Sojabohnen, 11 % Süßlupinen und 11 % aus anderen Hülsenfrüchten und Mischkulturen bestand (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2019), wurde in der vorliegenden Arbeit mit den wirtschaftlich bedeutenden Arten *Vicia faba* L. und *Pisum sativum* L. gearbeitet. Sowohl im Bereich der Futtererbse als auch im Bereich der Ackerbohne liegen Untersuchungen vor, in denen die Inhaltsstoffe des Strohs analysiert wurden. ABREU & BRUNO-SOARES (1998) sowie BRUNO-SOARES et al. (2000) untersuchten in einem Futtermittelversuch an Wiederkäuern, sowohl Ackerbohnen-, als auch Erbsenstroh. In beiden Studien fiel auf, dass das Erbsenstroh höhere Rohproteinwerte und niedrigere Anteile an Gerüstsubstanzen im Vergleich mit Ackerbohnenstroh aufwies. Ob und in welchem Ausmaß die Zusammensetzung des Strohs verschiedener Ackerbohnenarten einen Einfluss auf die Inhaltsstoffe hat, wurde 2016 von ALKHTIB et al. getestet. Geprüft wurden Stängel, Hülse und Blatt, die Zusammensetzung dieser Fraktionen unterschied sich hinsichtlich der Sorten. Ebenso unterschied sich die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe der einzelnen Strohfraktionen. Genauso gibt es für Erbsenstroh Untersuchungen hinsichtlich einer möglichen Auswirkung verschiedener Sorten und der Zusammensetzung des Strohs (WAMATU et al., 2017). Die Autoren stellten eine große Variabilität hinsichtlich der Inhaltsstoffe zwischen den geprüften Sorten fest, bei der Zusammensetzung des Strohs wurde festgestellt, dass die Blätter einen höheren Nährwert im Vergleich zu den Stängeln aufwiesen.

Da steigende Substratkosten, das Wegfallen der EEG-Festvergütung für viele bestehende Altanlagen und zunehmende Flächenkonkurrenz zwischen Energiepflanzenproduktion und der Lebens- und Futtermittelproduktion zu den schwerwiegendsten Problemfeldern in der Biogasproduktion gehören, bietet die Nutzung des Ackerbohnen- und Erbsenstrohs in Biogasanlagen die Chance diese Probleme zu reduzieren. Wobei das Stroh von

Körnerleguminosen, bei einem Erbsenanbau auf etwa 1 % der Ackerfläche, im Gegensatz zum Getreidestroh mit einem Anteil von etwa 55 % der Ackerfläche in Deutschland mengenmäßig von geringer Bedeutung ist (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2019). Jedoch könnte mit einer zusätzlichen Nutzung dieses Koppelprodukts ein weiterer Anbaureiz geschaffen, die Wirtschaftlichkeit von Körnerleguminosen verbessert und die Flächenkonkurrenz zwischen der Nahrungs- und Futterproduktion einerseits und der Bioenergieproduktion andererseits entlastet werden. Eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion ist stark davon abhängig, welche Gasausbeuten und welche Stroherträge erzielt werden, bei gleichzeitiger Berücksichtigung entstehender Bergungs- und möglicher Kornrocknungskosten (RÖPER et al., 2020). Mögliche negative Effekte auf die Folgefrucht, die aus der Stroherhebung resultieren, fielen je nach Vorfrucht differenziert aus (RÖPER et al., 2020). Überlegungen zur Nutzung von Ackerbohnenstroh zur Biogasproduktion wurden von SAUERMAN (2012) angestellt. Da zum Zeitpunkt der Druschreife von Hülsen und Körnern das Stroh bei Ackerbohnen oft noch wenig abgereift ist, kann eine Zweitnutzung des Strohs erfolgen. In seinen ersten Untersuchungen an zwei Herkünften stellte Sauerman fest, dass sich dieses Stroh silieren und zur Biogasproduktion nutzen lässt, dabei lag die Gasausbeute bei etwa 200 Nm<sup>3</sup> Methan/t TM. Das Potential von Ackerbohnenstroh für die Bioethanol- und Biogasproduktion im Vergleich zu Winterroggen- und Rapsstroh wurde von PETERSSON et al. (2007) untersucht. Das getetete Ackerbohnenstroh erzielte Methanausbeuten von 440 m<sup>3</sup>/t oTM. Den Einsatz von Erbsenstroh in Biogasanlagen untersuchten STINNER et al. in den Jahren 2002 bis 2005. Die Methanausbeuten des Erbsenstrohs lagen bei 188 l/kg oTM und erzielten die gleichen Ausbeuten wie das untersuchte Winter- und Sommerweizenstroh. In Untersuchungen von WALLA & SCHNEEBERGER, 2006 wurde eine Methanausbeute von Erbsenstroh von 300 m<sup>3</sup>/ha festgestellt. Die Angaben aus der Literatur zu den Gasausbeuten von Ackerbohnen- und Erbsenstroh weisen damit erhebliche Differenzen auf, die von etwa 50 % der Ausbeute einer Maissilage bis zu dessen Übersteigerung reichen (KARPENSTEIN-MACHAN, 2005).

Für eine Nutzung als Biogassubstrat ist der Strohertrag ein weiterer wichtiger Parameter. AUFHAMMER et al. stellten 1994, ebenso wie WEGI et al., 2018, in ihren Untersuchungen einen Einfluss der Sorten auf die Ackerbohnenstroherträge fest.

Im Verlauf der morphologischen Entwicklung nehmen die Anteile an Hemizellulose und Zellulose (OMBABI et al., 2001), ebenso wie der Ligninanteil mit zunehmender Abreife in der Pflanze zu (HENDRICKSON et al., 1997), wobei der Anteil in älterem Pflanzenmaterial höher ist, als der in jungem Pflanzenmaterial (CHEN et al., 2002). Da die Vorgänge in einer Biogasanlage im weitesten Sinne mit dem Pansen eines Wiederkäuers verglichen werden können (MAURER & WINKLER, 1982) und dort durch die inkrustierenden Substanzen die Verdaulichkeit von Zellwandkohlenhydraten begrenzt ist (JEROCH,

2008), muss auch bei einer Biogasanlage von einer begrenzten Abbaubarkeit des Lignozellulosekomplexes ausgegangen werden. DICKEDUISBERG (2017) stellte in seinen Untersuchungen einen negativen Effekt durch höhere Ligningehalte auf die Gasausbeute eines Substrats fest, eine Aufbereitung des Materials erscheint daher sinnvoll. Da die Vergärung im Fermenter kaum beschleunigt werden kann, muss ein Zellulose- oder Ligninaufschluss in einem vorgeschalteten Schritt erfolgen (SCHOLWIN et al., 2009). Die Silierung ist eine wirksame Maßnahme zur Aufwertung lignozellulosereicher Substrate wie Stroh, da hier ein Voraufschluss der Hemizellulose stattfindet, der sich wirksam für die Nutzung in der Biogasanlage erweist (LASER et al., 2018). Die Trockenmassegehalte (TM-Gehalte) des Ackerbohnenstrohs in den Studien von SAUERMAN, 2012 schwankten allerdings zwischen den Jahren und den Standorten innerhalb eines Jahres von gut silierbaren 34–37 % Trockenmasse (TM) bis zu nicht mehr silierbaren 62–73 % TM. Daher wurde in der vorliegenden Studie sowohl das Stroh als auch daraus erstellte Strohsilagen untersucht.

Ziel der vorliegenden Studie war es Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung von Körnerleguminosenstroh in Biogasanlagen anhand von Futtererbsen und Ackerbohnen aufzuzeigen. Aus dem Wissensstand ergaben sich folgende Arbeitshypothesen:

Die Gerüstsubstanzen nehmen mit fortschreitender Abreife zu und haben einen negativen Effekt auf die Biogas- und Methangasausbeuten.

Der Voraufschluss durch die Silierung hat positive Effekte auf die Biogas- und Methangasausbeuten.

Die gewählten Sorten unterscheiden sich hinsichtlich des Strohertrags und der Gasausbeute.

Als Koppelprodukt, das anders als Getreidestroh noch keinen Marktpreis hat, stellt Leguminosenstroh eine wirtschaftliche Substratalternative vor allem für Altanlagen mit auslaufender Festvergütung dar.

## Material und Methoden

In den Erntejahren 2017 und 2018 wurden an den Standorten Soester Börde (Versuchsgut Merklingsen, ca. 80 m über NN, langjähriges Mittel Niederschlag ca. 750 mm, durchschnittliche Jahrestemperatur 9 °C, lehmiger Schluff, 70–75 Bodenpunkte (STEMANN et al., 2019)) und Ostwestfalen-Lippe (WvB Hovedissen, ca. 110 m über NN, langjähriges Mittel Niederschlag ca. 804 mm, durchschnittliche Jahrestemperatur 9,5 °C, sandiger Lehm, 70 Bodenpunkte (LEHBRINK, 2019)) Feldversuche, mit den in Tab. 1 dargestellten Faktoren, angelegt.

Alle Bewirtschaftungs-, Dünge- und Pflegemaßnahmen erfolgten für alle Varianten standortüblich. Die Varianten wurden zu unterschiedlichen Terminen geerntet und als Stroh oder Strohsilage konserviert, wobei zum jeweils letzten Erntetermin wegen der hohen TM-Gehalte keine Silagen mehr erstellt wurden. Die Sortenwahl erfolgte aufgrund von Abreife-Bonituren im Jahr 2016 in Landessortenversuchen des Standorts Haus Düsse. Die

**Tab. 1. Faktoren und Faktorstufenkombinationen**

Faktor	Ackerbohnen	Erbsen
Sorte	Fuego, Tiffany, Taifun	Navarro, Respekt*, Astronaute
Erntetermin (BBCH)	frühe Druschreife (84–89), zur Druschreife (89–94), späte Druschreife (96–98), Totreife (99)	frühe Druschreife (84–87), zur Druschreife (88–89), Totreife (99)
Wiederholung	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4

\* = am Standort Soester Börde nur im Jahr 2017 geprüft

Erntetermine sollten die Zeitspanne von einer beginnenden Druschreife, zur Druschreife und später Druschreife bis hin zur vollständigen Totreife abdecken. Damit sollte eine Entwicklungsspanne beider Kulturen abgedeckt werden, die eine weitgehend trockene und verlustarme Ernte der Körner einerseits und eine gute Verwertung des Stroh für die Gewinnung von Biogas andererseits ermöglicht. Da die Abreifedynamik von Korn und Stroh bei der Erbse nahezu identisch ist und zusätzlich dazu in beiden Jahren durch einen starken Niederschlag nach dem zweiten Erntetermin die Erbse ins Lager ging, konnte für diese Kultur nur noch der vierte Termin in beiden Jahren realisiert werden und der Termin der späten Druschreife entfiel. Die Tab. 2 und 3 geben einen Überblick über die Daten zu Aussaat- und Ernteterminen sowie Tab. 4 und 5 über die BBCH-Stadien zum Erntezeitpunkt.

Durch unzureichende Saataufgänge der Erbsensorte Respect im Versuchsjahr 2018 am Standort Soester Börde,

konnte diese in den weiteren Untersuchungen nicht berücksichtigt werden. Die Parzellen wurden nachgesät, um negative Randeefekte zu minimieren. Im Versuchsjahr 2018 wurden des Weiteren schon zum dritten Erntetermin der Ackerbohne am Standort Soester Börde wegen der erhöhten TM-Gehalte keine Silagen mehr erstellt. Eine Übersicht über die geprüften Varianten ist im Anhang dargestellt. Der Versuch wurde als Spaltanlage aufgebaut, wobei die Erntetermine die Großteilstücke und innerhalb dieser die Sorten die Kleinteilstücke darstellten. Die Sorten wurden vollständig randomisiert. Die erstellten Strohsilagen wurden mittels DLG-Sinnenprüfung getestet, sichtbarer Schimmel wurde entfernt und die restliche Probe für die weiteren Untersuchungen genutzt. Bei allen erfassten Proben wurden der Trockenmasse- und Rohaschegehalt bestimmt und mittels der Weender Futtermittelanalyse die Inhaltsstoffe untersucht. Die Untersuchungen erfolgten gemäß

**Tab. 2. Aussaat- und Erntetermine der Erbse beider Standorte, 2017 & 2018**

Jahr	Aussaat	frühe Druschreife	zur Druschreife	Totreife
2017	15.03.	17.07.	19.07.	29. <sup>o</sup> /30.07. <sup>s</sup>
2018*	06.03. <sup>s</sup> /09.04. <sup>o</sup>	03.07.	05.07.	17.07.

\* Erntetermine gelten nicht für die Sorte Respect am Standort Soester Börde, <sup>o</sup> = Ostwestfalen-Lippe, <sup>s</sup> = Soester Börde

**Tab. 3. Aussaat- und Erntetermine der Ackerbohne beider Standorte, 2017 & 2018**

Jahr	Aussaat	frühe Druschreife	zur Druschreife	späte Druschreife	Totreife
2017	15.03.	29. <sup>o</sup> /30.07. <sup>s</sup>	02.08.	07.08.	28.08.
2018 <sup>o</sup>	09.04.	23.07.	26.07.	31.07.	07.08.
2018 <sup>s</sup>	06.03.	19.07.	23.07.	26.07.	31.07.

<sup>o</sup> = Ostwestfalen-Lippe, <sup>s</sup> = Soester Börde

Tab. 4. BBCH-Stadien der Erbsen zu den verschiedenen Erntezeitpunkten

Jahr	Standort	Sorte	Erntetermin		
			frühe Druschreife	zur Druschreife	Totreife
2017	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	87	88	99
		Respect	87	88	99
		Astronaut	86	88	99
	Soester Börde	Navarro	87	88	99
		Respect	87	88	99
		Astronaut	86	88	99
2018	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	85	85	99
		Respect	85	84	99
		Astronaut	84	84	99
	Soester Börde	Navarro	87	88	99
		Astronaut	87	88	99

Tab. 5. BBCH-Stadien der Ackerbohnen zu den verschiedenen Erntezeitpunkten

Jahr	Standort	Sorte	Erntetermin			Totreife
			frühe Druschreife	zur Druschreife	späte Druschreife	
2017	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	88	91	97	99
		Tiffany	86	92	97	99
		Taifun	84	92	97	99
	Soester Börde	Fuego	89	96	96	99
		Tiffany	89	94	96	98
		Taifun	89	94	97	99
2018	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	87	89	95	99
		Tiffany	87	89	96	99
		Taifun	86	90	96	99
	Soester Börde	Fuego	89	95	96	99
		Tiffany	89	94	96	99
		Taifun	89	95	98	99

VDLUFÄ, Methodenbuch III, 2012, für die erweiterte Faseranalyse sowie VDLUFÄ, Methodenbuch III, 1993 für die Rohproteinanalyse. Die Untersuchung der Inhaltsstoffe umfasste hierbei den Rohprotein-, Hemizellulose-, Zellulose- und Ligningehalt nach VAN SOEST et al., 1991.

Da beim Gasertragstest, trotz Durchführung nach der VDI-Richtlinie 4630, regelmäßig erhebliche Differenzen zwischen den gemessenen Gasausbeuten vorkommen (WULF & DÖHLER, 2009; HEUWINKEL et al., 2009; TILLMANN & BAETZEL, 2010; AMON et al., 2015), wurden für alle Varianten die theoretischen Gasausbeuten nach KAISER (2007) berechnet.

Für die Biogasausbeute ergibt sich folgende Formel, in Bezug auf g Inhaltsstoffe pro kg FM:

$$y(l/kg) = 0,307 \cdot XP(g/kg) + 0,781 \cdot XL(g/kg) + 0,627 \cdot OR(g/kg) + 0,938 \cdot HC(g/kg) + 0,691 \cdot CL(g/kg) - 0,358 \cdot ADL(g/kg)$$

(y = Biogasausbeute, XP = Rohprotein, XL = Rohfett, OR = organischer Rest, HC = Hemizellulose, CL = Cellulose, ADL = acid detergent lignin)

Für die Berechnung der theoretischen Methangasausbeute ergibt sich, ebenfalls in Bezug auf g Inhaltsstoffe pro kg FM, folgende Formel:

$$y(l/kg) = 0,147 \cdot XP(g/kg) + 0,560 \cdot XL(g/kg) + 0,289 \cdot OR(g/kg) + 0,459 \cdot HC(g/kg) + 0,382 \cdot CL(g/kg) - 0,271 \cdot ADL(g/kg)$$

(y = Methangasausbeute, XP = Rohprotein, XL = Rohfett, OR = organischer Rest, HC = Hemizellulose, CL = Cellulose, ADL = acid detergent lignin)

Für den Rohfettgehalt wurden Angaben der DLG-Futterwerttabellen genutzt, die sich mit Angaben aus der Literatur decken (DLG, 2005; HADJIPANAYIOTOU et al., 1985; ASAR et al., 2010). Als TM- und Rohaschegehalte wurden für das Stroh die Werte nach der Trocknung bis zur Lagerstabilität angenommen und für die Silagen die TM-Gehalte unmittelbar nach dem Öffnen. Wegen der besseren Vergleichbarkeit mit anderen Substraten wurden im Anschluss an die Berechnung der Gasausbeuten nach Kaiser diese auf die Trockenmasse bezogen.

Die Daten wurden mit dem Statistikprogramm IBM SPSS Version 21 mittels Varianzanalyse Anova mit allgemeinem linearem Modell mit allen Haupt- und Wechselwirkungen der in Tabelle 6 angegebenen Faktoren berechnet. Hierbei wurde sowohl jeweils eine eigenständige getrennte Varianzanalyse für die beiden Arten, als auch für die Art der Konservierung durchgeführt.

Die nachgesäten Kleinparzellen der Sorte Respect am Standort Soester Börde 2018 wurden wegen der fehlenden Vergleichbarkeit nicht in der Varianzanalyse berücksichtigt.

Bei den theoretischen Gasausbeuten handelt es sich um Berechnungen ausgehend von den Mittelwerten der Laboranalysen der Inhaltsstoffe, sodass für jede Parzelle der Feldversuche ein Wert berechnet wurde, weshalb sich mögliche Fehler aufsummieren und die ausgegebene Statistik in ihrer Aussagekraft beeinflussen.

Für die auf dem Niveau von  $p \leq 0,050$  signifikanten Haupt- und Wechselwirkungen wurde der multiple t-Test durchgeführt und die Grenzdifferenzen nach folgender Formel, abgewandelt nach SCHUSTER & LOCHOW, 1979, berechnet:

$$GD\ 5\ \% = \sqrt{2} * \text{Standardfehler} * t\text{-Wert (FG Fehler)}$$

## Ergebnisse

Der Strohertrag sowie die berechneten theoretischen Gasausbeuten von Stroh und Strohsilage der Erbse sind in Tab. 7 dargestellt. Der Strohertrag wurde durch alle Faktoren signifikant beeinflusst und war im Jahr 2017 und am Standort Soester Börde höher als in 2018 und am Standort Ostwestfalen-Lippe. Durch die Abreife erfolgte eine Abnahme des Strohertrags vom ersten zum zweiten Termin. Die Sorte Respect erzielte höhere Stroherträge als die anderen Sorten. Im Jahr 2017 sowie am Standort Soester Börde waren die Biogas- und Methangasausbeuten der Erbsenstrohsilagen und des Erbsenstrohs niedriger als im Jahr 2018 und in Ostwestfalen-Lippe. Die Gasausbeuten stiegen mit zunehmender Abreife. Die Sorte Respect erzielte höhere Gasausbeuten als die anderen Sorten. Insgesamt lagen die Gasausbeuten des Strohs über denen der Strohsilagen, der Methananteil des Gases betrug in allen Fällen 50 %.

Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der Inhaltsstoffanalysen der Erbsenstrohsilagen. Insgesamt unterschieden sich alle Inhaltsstoffe hinsichtlich der Jahre voneinander, im Jahr 2018 waren weniger Gerüstsubstanzen vorhanden als 2017, während der Rohproteingehalt höher war. Auch die Standorte wichen, mit Ausnahme der Zellulose, voneinander ab, die Werte des Standorts Soester Börde lagen über denen in Ostwestfalen-Lippe. Die Erntetermine differierten nur hinsichtlich der Hemizellulose und des Lignins, wobei die Hemizellulose zu- und das Lignin abnahm. Bei den Sorten unterschied sich Respect bezüglich des Rohprotein- und Ligningehalts von den anderen Sorten. Abweichungen hiervon ergeben sich durch verschiedene Wechselwirkungen, hinsichtlich des Rohproteingehalts waren die Wechselwirkungen Standort\* Jahr\* Erntetermin (GD 5 % = 0,44 % in TM), Erntetermin\* Standort\* Sorte (GD 5 % = 0,54 % in TM) und Standort\* Sorte\* Jahr (GD 5 % = 0,54 % in TM) signifikant. Weitere signifikante Wechselwirkungen ergaben

Tab. 6. Faktoren und Faktorstufenkombinationen der Varianzanalysen

Faktor	Ackerbohnen		Erbsen	
	Silage	Stroh	Silage	Stroh
Jahr	2017, 2018	2017, 2018	2017, 2018	2017, 2018
Ort	Ostwestfalen-Lippe, Soester Börde	Ostwestfalen-Lippe, Soester Börde	Ostwestfalen-Lippe, Soester Börde	Ostwestfalen-Lippe, Soester Börde
Sorte	Fuego, Tiffany, Taifun	Fuego, Tiffany, Taifun	Navarro, Respekt*, Astronaut	Navarro, Respekt*, Astronaut
Erntetermin	frühe Druschreife zur Druschreife späte Druschreife <sup>+</sup>	frühe Druschreife zur Druschreife späte Druschreife Totreife	frühe Druschreife zur Druschreife	frühe Druschreife zur Druschreife Totreife
Wiederholung	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4

\* = am Standort Soester Börde nur im Jahr 2017 geprüft, + = keine Silage am Standort Soester Börde im Jahr 2018

**Tab. 7. Erbsenstrohertrag und theoretische Gasausbeuten (l/kg TM) von Stroh und Strohsilagen, unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb der Spalten (multipler t-Test,  $p \leq 0,05$ )**

	Strohertrag (dt/ha)	Erbsenstrohsilagen		Erbsenstroh	
		Biogas	Methangas	Biogas	Methangas
Jahre					
2017	52,1 <sup>b</sup>	504,8 <sup>a</sup>	254,2 <sup>a</sup>	525,3 <sup>a</sup>	265,0 <sup>a</sup>
2018	45,5 <sup>a</sup>	529,7 <sup>b</sup>	265,6 <sup>b</sup>	547,1 <sup>b</sup>	274,0 <sup>b</sup>
p-Wert	0,000	0,003	0,005	0,000	0,000
Standort					
Soester Börde	54,6 <sup>b</sup>	507,6 <sup>a</sup>	255,0 <sup>a</sup>	526,4 <sup>a</sup>	264,7 <sup>a</sup>
Ostwestfalen-Lippe	44,4 <sup>a</sup>	523,2 <sup>b</sup>	263,0 <sup>b</sup>	542,6 <sup>b</sup>	272,8 <sup>b</sup>
p-Wert	0,003	0,020	0,020	0,000	0,000
Erntetermine					
frühe Druschreife	52,8 <sup>b</sup>	511,3 <sup>a</sup>	256,9 <sup>a</sup>	528,9 <sup>a</sup>	265,0 <sup>a</sup>
zur Druschreife	47,0 <sup>a</sup>	521,0 <sup>b</sup>	261,9 <sup>b</sup>	537,6 <sup>b</sup>	270,0 <sup>b</sup>
Totreife	47,4 <sup>a</sup>			539,2 <sup>b</sup>	272,4 <sup>c</sup>
p-Wert	0,008	0,039	0,048	0,003	0,000
Sorten					
Navarro	47,0 <sup>a</sup>	512,6	257,8	533,5 <sup>a</sup>	268,3 <sup>a</sup>
Respect	53,3 <sup>b</sup>	521,4	261,7	542,6 <sup>b</sup>	272,6 <sup>b</sup>
Astronauta	48,0 <sup>a</sup>	515,7	259,3	531,5 <sup>a</sup>	267,3 <sup>a</sup>
p-Wert	0,017	0,116	0,188	0,001	0,002
Gesamt	49,1	516,1	259,4	535,2	269,1

sich für die Hemizellulose bei Standort\* Jahr\* Erntetermin (GD 5 % = 0,56 % in TM) sowie Jahr\* Sorte (GD 5 % = 0,49 % in TM), für das Lignin war die höchstmögliche Wechselwirkung Standort\* Jahr\* Sorte\* Erntetermin signifikant (GD 5 % = 0,63 % in TM). Ein ähnliches Bild, wie bei den Mittelwerten der Erbsenstrohsilagen, ergab sich für das Erbsenstroh (Tab. 9), hier waren alle Gehalte in 2017 ebenfalls höher als in 2018. Das Stroh der Soester Börde enthielt mehr Rohprotein, Hemizellulose und Lignin. Die Gerüstsubstanzen nahmen mit fortschreitender Seneszenz zu, der Rohproteingehalt sank. Durch die Sorten wurden der Rohprotein- und Hemizellulosegehalt signifikant beeinflusst. Der Hemizellulosegehalt der Strohsilagen war niedriger als der des Strohs, die Wirkungen der Silierung war jedoch nicht gleichgerichtet. Dies wird durch die Korrelationen der Inhaltsstoffe zwischen Stroh und Silage erkennbar. Für die Erbsen ergab sich, bezüglich der Hemizellulose ein geringes Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,4724^{***}$ , für die Zellulose  $R^2 = 0,7099^{***}$  und für das Lignin  $R^2 = 0,8596^{***}$ . Signifikante Wechselwirkungen ergaben sich mit Ausnahme des Lignins für alle Inhaltsstoffe. Die Wechselwirkung Standort\* Jahr\* Sorte war für Rohprotein (GD 5 % = 0,65 % in TM), Hemizellulose (GD 5 % = 0,48 % in TM) und Zellulose (GD 5 % = 1,62 % in TM) gleichermaßen signifikant. Zusätzlich war bei der Hemizellulose die Wechselwirkung Standort\* Sorte\* Erntetermin (GD 5 % = 0,59 % in TM) signifikant sowie die zweifach Wechselwirkung Jahr\* Erntetermin für Hemizellulose (GD 5 % = 0,34 % in TM) und Zellulose (GD 5 % = 1,14 % in TM).

Tabelle 10 zeigt den Strohertrag sowie die Gasausbeuten der Ackerbohnenstrohsilagen und des Ackerbohnenstrohs. Die Stroherträge wurden von den Faktoren Standort, Erntetermin und Sorte beeinflusst. Die Erträge waren am Standort Soester Börde höher als am Standort Ostwestfalen-Lippe, die Seneszenz bewirkte eine Abnahme. Die Sorte Taifun hatte geringere Erträge als die anderen Sorten. Die Unterschiede der Gasausbeuten, bei beiden Konservierungsarten, waren deutlich geringer als bei den Erbsen. Die Jahre differenzierten bei den Gasausbeuten des Strohs nur unwesentlich, bei den Strohsilagen waren die Gasausbeuten im Jahr 2018 höher. Die Ausbeuten am Standort Ostwestfalen-Lippe lagen über denen des Standorts Soester Börde und die Sorte Fuego hatte die geringsten Gasausbeuten, gefolgt von den Sorten Tiffany und Taifun. Die Gasausbeuten der Strohsilagen stiegen mit fortschreitender Abreife an, die des Strohs schwanken unspezifisch. Die Gasausbeuten des Strohs waren höher als die der Strohsilagen, der Methananteil betrug wie bei den Erbsen 50 %.

Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der Inhaltsstoffanalysen der Ackerbohnenstrohsilagen. Mit Ausnahme der Hemizellulose wurden die Inhaltsstoffe durch die Jahre beeinflusst, der Standort bewirkte Unterschiede aller Inhaltsstoffe. Im Jahr 2017 waren alle Gehalte höher als 2018, am Standort Soester Börde waren die Gehalte an Gerüstsubstanzen höher als in Ostwestfalen-Lippe, für den Rohproteingehalt zeigte sich ein gegenteiliges Bild. Die Seneszenz bewirkte eine Abnahme des Rohproteingehalts. Zellulose- und Ligningehalt sanken vom ersten

**Tab. 8. Einfluss von Jahr, Standort, Sorte und Erntetermin auf die Inhaltsstoffe der Erbsenstrohsilagen (% in TM)**

Inhaltsstoff	Jahr	Standort	Sorte	Erntetermin	
				frühe Druschreife	zur Druschreife
Rohprotein	2017	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	6,03	6,04
			Respect	6,31	6,04
			Astronaute	6,40	6,37
	2017	Soester Börde	Navarro	7,86	7,57
			Respect	7,13	7,84
			Astronaute	7,52	7,97
	2018	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	7,80	7,00
			Respect	7,60	6,87
			Astronaute	9,92	7,15
2018	Soester Börde	Navarro	7,77	7,97	
		Astronaute	6,97	7,82	
Hemizellulose	2017	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	14,69	14,54
			Respect	15,29	15,17
			Astronaute	15,33	15,68
	2017	Soester Börde	Navarro	14,32	17,27
			Respect	15,47	18,21
			Astronaute	15,64	17,45
	2018	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	14,75	14,39
			Respect	14,42	14,44
			Astronaute	13,71	13,94
2018	Soester Börde	Navarro	15,44	15,27	
		Astronaute	15,61	14,70	
Zellulose	2017	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	41,03	41,93
			Respect	40,97	41,76
			Astronaute	41,38	41,24
	2017	Soester Börde	Navarro	38,61	41,06
			Respect	40,70	40,29
			Astronaute	40,80	41,14
	2018	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	35,48	35,83
			Respect	35,41	35,16
			Astronaute	34,75	35,17
2018	Soester Börde	Navarro	36,41	36,09	
		Astronaute	37,29	34,19	
Lignin	2017	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	10,41	10,68
			Respect	10,44	11,17
			Astronaute	10,52	11,24
	2017	Soester Börde	Navarro	12,59	11,31
			Respect	12,56	11,92
			Astronaute	11,69	11,51
	2018	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	7,62	7,26
			Respect	8,12	7,79
			Astronaute	7,91	7,39
2018	Soester Börde	Navarro	8,49	8,63	
		Astronaute	8,91	7,69	

zum zweiten Erntetermin und stiegen zum dritten, die Hemizellulose unterschied sich vom ersten zum zweiten

Erntetermin nicht und nahm zum dritten zu. Alle Inhaltsstoffe unterschieden sich zudem hinsichtlich der Sorten.



Tab. 9. Einfluss von Jahr, Standort, Sorte und Erntetermin auf die Inhaltsstoffe des Erbsenstrohs (% in TM)

Inhaltsstoff	Jahr	Standort	Sorte	Erntetermin			
				frühe Druschreife	zur Druschreife	Totreife	
Rohprotein	2017	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	6,71	7,01	5,69	
			Respect	5,90	6,15	5,58	
			Astronauta	6,23	6,21	5,51	
		Soester Börde	Navarro	8,31	7,41	6,49	
			Respect	6,77	7,50	5,55	
			Astronauta	8,46	8,18	7,02	
	2018	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	6,07	6,19	5,21	
			Respect	6,04	5,63	4,90	
			Astronauta	8,35	6,02	4,74	
		Soester Börde	Navarro	8,11	7,30	6,13	
			Astronauta	7,95	6,94	5,54	
Hemizellulose	2017	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	16,83	16,92	17,59	
			Respect	16,67	17,82	18,31	
			Astronauta	15,83	17,33	18,05	
		Soester Börde	Navarro	16,65	18,48	19,00	
			Respect	17,82	18,70	19,67	
			Astronauta	17,05	18,24	17,90	
		2018	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	16,08	16,55	17,60
				Respect	14,35	15,67	17,91
				Astronauta	14,12	15,35	17,72
	Soester Börde		Navarro	16,36	16,77	17,95	
			Astronauta	16,78	16,94	18,32	
	Zellulose	2017	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	38,96	40,83	45,15
				Respect	39,64	41,49	46,28
				Astronauta	40,03	43,22	46,07
			Soester Börde	Navarro	38,76	42,89	45,20
				Respect	39,79	41,07	46,86
				Astronauta	38,29	41,63	47,07
2018			Ostwestfalen-Lippe	Navarro	33,41	33,75	40,12
				Respect	33,04	33,68	39,54
				Astronauta	30,95	32,58	39,90
		Soester Börde	Navarro	32,76	33,51	39,74	
			Astronauta	32,66	33,50	43,13	
Lignin		2017	Ostwestfalen-Lippe	Navarro	9,43	9,76	11,70
				Respect	9,89	10,49	12,49
				Astronauta	9,75	11,01	12,55
			Soester Börde	Navarro	11,46	11,52	13,17
				Respect	10,82	11,53	13,55
				Astronauta	11,14	11,41	14,02
	2018		Ostwestfalen-Lippe	Navarro	6,83	6,91	8,51
				Respect	7,31	7,61	9,14
				Astronauta	6,48	6,80	8,76
	Soester Börde	Navarro	7,61	7,77	10,10		
		Astronauta	7,64	7,75	10,20		

Für die Inhaltsstoffe Hemizellulose (GD 5 % = 1,17 % in TM) und Zellulose (GD 5 % = 1,28 % in TM) war die

Wechselwirkung Jahr\* Standort\* Sorte\* Erntetermin signifikant. Für den Rohproteingehalt Jahr\* Standort\*

**Tab. 10. Ackerbohnenstrohertrag und theoretische Gasausbeuten (l/kg TM) von Stroh und Strohsilagen, unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb der Spalten (multipler t-Test,  $p \leq 0,05$ )**

	Strohertrag (dt/ha)	Strohsilage		Stroh	
		Biogas	Methangas	Biogas	Methangas
Jahre					
2017	37,4	514,4 <sup>a</sup>	258,3 <sup>a</sup>	535,6 <sup>a</sup>	269,9
2018	38,3	527,4 <sup>a</sup>	264,3 <sup>b</sup>	538,1 <sup>b</sup>	270,4
p-Wert	0,144	0,000	0,000	0,012	0,345
Standort					
Soester Börde	40,1 <sup>b</sup>	516,4 <sup>a</sup>	259,2 <sup>a</sup>	532,6 <sup>a</sup>	268,0 <sup>a</sup>
Ostwestfalen-Lippe	35,5 <sup>a</sup>	523,5 <sup>b</sup>	262,5 <sup>b</sup>	541,1 <sup>b</sup>	272,3 <sup>b</sup>
p-Wert	0,000	0,006	0,017	0,000	0,000
Erntetermine					
frühe Druschreife	47,3 <sup>d</sup>	513,7 <sup>a</sup>	257,7 <sup>a</sup>	534,4 <sup>a</sup>	268,3 <sup>a</sup>
zur Druschreife	36,6 <sup>c</sup>	521,5 <sup>b</sup>	261,2 <sup>b</sup>	537,5 <sup>bc</sup>	269,9 <sup>b</sup>
späte Druschreife	35,5 <sup>b</sup>	527,5 <sup>c</sup>	265,1 <sup>c</sup>	535,9 <sup>ab</sup>	269,5 <sup>ab</sup>
Totreife	31,9 <sup>a</sup>			539,5 <sup>c</sup>	272,9 <sup>c</sup>
p-Wert	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000
Sorten					
Fuego	39,5 <sup>b</sup>	515,7 <sup>a</sup>	258,2 <sup>a</sup>	532,0 <sup>a</sup>	267,1 <sup>a</sup>
Tiffany	40,0 <sup>b</sup>	520,5 <sup>b</sup>	261,5 <sup>b</sup>	538,0 <sup>b</sup>	271,1 <sup>b</sup>
Taifun	34,0 <sup>a</sup>	524,7 <sup>c</sup>	263,3 <sup>c</sup>	540,5 <sup>c</sup>	272,3 <sup>b</sup>
p-Wert	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
Gesamt	37,8	520,3	261,0	536,8	270,1

Erntetermin (GD 5 % = 0,67 % in TM) und für den Ligningehalt ebenfalls Jahr\* Standort\* Erntetermin (GD 5 % = 0,33 % in TM) sowie Standort\* Sorte (GD 5 % = 0,23 % in TM).

Alle Inhaltsstoffe des Ackerbohnenstrohs waren im Jahr 2017 höher als im Jahr 2018 (Tab. 12). In der Soester Börde lagen die Gehalte an Gerüstsubstanzen über und der des Rohproteingehalts unter denen des Standorts Ostwestfalen-Lippe, wobei der Unterschied des Zellulosegehalts nicht signifikant war. Im Verlauf der Erntetermine wurde der Rohproteingehalt geringer, während Zellulose- und Ligningehalt zunahm. Der Hemizellulosegehalt stieg zum zweiten Termin und sank in der Folge wiederum ab. Der Faktor Sorte beeinflusste alle Inhaltsstoffe signifikant. Fuego wies die höchsten Rohprotein- und Ligningehalte auf, Tiffany die höchsten Zellulose- und Taifun die höchsten Hemizellulosegehalte.

Die Wechselwirkung Erntetermin\* Jahr\* Standort war für die Inhaltsstoffe Rohprotein (GD 5 % = 0,57 % in TM), Hemizellulose (GD 5 % = 0,60 % in TM) und Zellulose (GD 5 % = 1,83 % in TM) signifikant. Hinsichtlich des Ligningehalts war die Wechselwirkung Jahr\* Standort\* Sorte\* Erntetermin signifikant (GD 5 % = 0,82 % in TM).

Die Korrelation der Inhaltsstoffe zwischen Stroh und Silage für die Ackerbohnen ergaben ein Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,0051$  für die Hemizellulose, für die Zellulose  $R^2 = 0,2233^*$  und für das Lignin  $R^2 = 0,6277^{***}$ .

## Diskussion

Die Gerüstsubstanzen nahmen bei beiden Arten mit fortschreitender Seneszenz zu, jedoch ergaben die berechneten theoretischen Biogasausbeuten eine mäßige Zunahme der Biogas- und Methangasausbeute mit zunehmender Abreife, statt der erwarteten Abnahme. Dies wird dadurch bewirkt, dass zwar das Lignin als limitierender Faktor in der Formel nach KAISER (2007) berücksichtigt ist, die weiteren Gerüstsubstanzen jedoch in ihrer positiven Wirkung bezüglich der Biogasausbeute höher bewertet sind, als die negative Wirkung des Lignins. Typischerweise nehmen mit der Abreife nicht nur das Lignin, sondern auch die anderen Gerüstsubstanzen zu. Werden diese entsprechend höher bewertet, kommt es, trotz der Zunahme des Lignins, zu einer Zunahme der Biogasausbeute. In den selbst durchgeführten Biogasertragstests (RÖPER et al., 2019) konnte eine Zunahme der Biogasausbeute mit zunehmender Abreife nicht bestätigt werden. Die Biogasausbeuten schwankten, in einem Bereich von 220 l/kg oTM bis zu 550 l/kg oTM, teilweise unspezifisch, manche Varianten nahmen jedoch mit zunehmender Abreife kontinuierlich ab, eine kontinuierliche Zunahme konnte in nur einem Fall beobachtet werden. Die parallel getestete Maissilage erzielte Biogasausbeuten von etwa 670 l/kg oTM. Wegen der geringen Kapazität konnte jedoch nur eine Auswahl der Varianten untersucht werden, wobei jeweils nur eine Wiederholung

Tab. 11. Einfluss von Jahr, Standort, Sorte und Erntetermin auf die Inhaltsstoffe der Ackerbohnenstrohsilagen (% in TM)

Inhaltsstoff	Jahr	Standort	Sorte	Erntetermin		
				frühe Druschreife	zur Druschreife	späte Druschreife
Rohprotein	2017	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	11,50	10,02	6,42
			Tiffany	10,11	9,20	6,97
			Taifun	9,89	7,60	7,07
		Soester Börde	Fuego	8,03	8,27	7,47
			Tiffany	7,76	7,49	7,27
			Taifun	8,21	8,18	7,36
	2018	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	10,63	11,25	6,82
			Tiffany	9,15	9,54	6,70
			Taifun	8,74	9,01	5,97
		Soester Börde	Fuego	8,73	7,08	*
			Tiffany	7,00	6,29	*
			Taifun	7,68	5,88	*
Hemizellulose	2017	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	13,03	12,97	15,35
			Tiffany	13,13	12,42	14,52
			Taifun	13,02	14,36	16,03
		Soester Börde	Fuego	14,56	14,12	14,90
			Tiffany	13,74	13,67	13,89
			Taifun	14,35	14,18	14,88
	2018	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	13,27	12,84	14,62
			Tiffany	13,21	12,79	14,51
			Taifun	14,80	12,91	15,25
		Soester Börde	Fuego	13,34	14,27	*
			Tiffany	14,05	13,72	*
			Taifun	14,24	15,12	*
Zellulose	2017	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	36,24	36,05	40,69
			Tiffany	38,89	37,99	41,71
			Taifun	37,26	38,43	38,89
		Soester Börde	Fuego	39,22	38,54	40,79
			Tiffany	39,26	39,37	40,01
			Taifun	37,41	36,69	39,07
	2018	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	34,46	30,79	36,86
			Tiffany	36,66	35,58	36,81
			Taifun	35,85	32,62	37,13
		Soester Börde	Fuego	36,56	35,83	*
			Tiffany	38,21	38,28	*
			Taifun	36,80	36,41	*
Lignin	2017	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	9,75	10,02	10,50
			Tiffany	9,77	9,78	10,45
			Taifun	8,62	9,38	9,51
		Soester Börde	Fuego	10,91	10,36	11,55
			Tiffany	10,13	9,53	10,55
			Taifun	9,67	9,32	10,42
	2018	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	8,45	7,20	8,36
			Tiffany	8,61	7,78	7,71
			Taifun	8,32	7,10	7,42
		Soester Börde	Fuego	9,32	8,95	*
			Tiffany	9,18	8,88	*
			Taifun	8,50	8,08	*

Tab. 12. Einfluss von Jahr, Standort, Sorte und Erntetermin auf die Inhaltsstoffe des Ackerbohnenstrohs (% in TM)

Inhaltsstoff	Jahr	Standort	Sorte	Erntetermin			Totreife
				frühe Druschreife	zur Druschreife	späte Druschreife	
Rohprotein	2017	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	9,04	7,42	6,58	5,63
			Tiffany	8,94	6,55	7,09	4,65
			Taifun	8,27	7,25	6,36	5,29
		Soester Börde	Fuego	6,33	7,44	6,91	7,01
			Tiffany	6,23	6,40	6,75	5,70
			Taifun	6,78	6,84	6,86	5,75
	2018	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	6,89	8,12	5,89	7,19
			Tiffany	6,24	7,72	6,09	5,42
			Taifun	6,23	6,55	5,39	5,94
		Soester Börde	Fuego	6,49	5,77	5,55	5,08
			Tiffany	5,29	4,99	5,08	4,53
			Taifun	5,63	5,03	5,05	5,17
Hemizellulose	2017	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	15,14	17,66	16,31	16,77
			Tiffany	14,72	18,42	16,38	16,29
			Taifun	16,61	17,71	16,41	16,41
		Soester Börde	Fuego	17,03	17,73	16,83	16,46
			Tiffany	17,02	18,02	16,99	16,92
			Taifun	17,32	17,62	17,87	16,37
	2018	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	14,25	14,60	15,16	14,85
			Tiffany	14,99	14,12	14,85	14,30
			Taifun	15,32	14,90	15,30	16,06
		Soester Börde	Fuego	15,03	14,85	15,16	15,25
			Tiffany	14,55	14,99	14,81	14,99
			Taifun	14,96	14,76	15,03	15,76
Zellulose	2017	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	36,21	37,53	39,52	50,63
			Tiffany	36,99	39,69	41,48	53,43
			Taifun	36,65	40,16	40,47	52,44
		Soester Börde	Fuego	40,21	37,37	39,93	43,91
			Tiffany	40,46	39,08	39,28	48,79
			Taifun	37,32	39,00	39,57	48,04
	2018	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	38,59	34,73	38,08	36,50
			Tiffany	36,97	35,27	38,64	40,68
			Taifun	37,85	36,19	38,25	38,31
		Soester Börde	Fuego	37,14	39,12	38,31	41,75
			Tiffany	38,99	40,10	39,61	41,80
			Taifun	37,00	38,81	38,81	39,33
Lignin	2017	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	8,91	10,32	10,30	14,00
			Tiffany	8,71	9,65	10,54	13,69
			Taifun	8,73	9,70	9,57	12,32
		Soester Börde	Fuego	10,32	9,97	10,94	12,73
			Tiffany	9,76	9,68	10,38	12,92
			Taifun	9,02	9,84	10,20	12,12
	2018	Ostwestfalen-Lippe	Fuego	9,32	7,81	8,85	8,31
			Tiffany	8,28	7,65	8,32	8,50
			Taifun	8,42	7,90	7,80	8,26
		Soester Börde	Fuego	9,62	9,82	9,70	10,59
			Tiffany	9,29	9,51	9,22	9,58
			Taifun	8,66	8,46	8,68	8,92

berücksichtigt werden konnte. Besonders im Bereich der Silagen kann bei möglichen Fehlgärungen während der Silierung das Ergebnis stark beeinflusst werden, was die Aussagekraft der Ergebnisse der durchgeführten Biogas-ertragstests, zusätzlich zu der nicht möglichen Statistik, erheblich mindert. Die Übertragbarkeit von Laboruntersuchungen auf Praxisanlagen ist außerdem nur begrenzt möglich, da sich die Systeme bei Gärvolumina und dem Ablauf biologischer Prozesse unterscheiden (WULF & DÖHLER, 2009). Die Silagen werden in beiden Varianten unterschätzt. MUKENGELE & OECHSNER kritisierten 2007, dass die durch die Silierung entstandenen, flüchtigen Fettsäuren während der Trocknung verloren gehen und so die Bezugsgröße organische Trockenmasse einer Silage nicht identisch ist mit der Bezugsgröße organische Trockenmasse von frischem Material. WEIßBACH veröffentlichte 2009 eine Korrekturformel, die diese Problematik beheben soll, da dieser jedoch der Rohfaseranteil zugrunde liegt, wurde sie in dieser Studie nicht berücksichtigt, da hier die Gerüstsubstanzen im Vordergrund standen. Die Erkenntnis, dass eine Silierung als Voraufschluss höhere Biogasausbeuten bewirkt, wie von LASER et al., 2018, konnte in der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt werden, die Ergebnisse differieren unspezifisch und lassen keine eindeutige Aussage, hinsichtlich des Effekts der Silierung zu. Eine mögliche Erklärung hierfür ist die häufige Überschreitung des optimalen TM-Gehalts für die aerobe Stabilität von 30–40 % (STEINHÖFEL, 2008) ebenso wie die des maximalen TM-Gehalts von 50 %, über dem nicht mehr sichergestellt ist, dass die Gärprozesse, die im wässrigen Milieu ablaufen, überhaupt eintreten und außerdem eine gute Verdichtbarkeit des Materials möglich ist (HARTMANN, 2009). Die hohen TM-Gehalte bewirken, dass potentiell hydrolytisch wirkende bakterielle Enzyme nicht aktiv werden und damit den Voraufschluss verhindern. Auch in den Untersuchungen von SAUERMAN (2012) wurden teilweise zu hohe TM-Gehalte für eine erfolgreiche Silierung bei Ackerbohnenstroh beobachtet. Fehlgärungen und/oder aerobe Abbauprozesse durch die mangelnde Verdichtbarkeit des trockenen Leguminosenstrohs können dagegen die Substrateigenschaften sogar verschlechtern. Da es sich in der vorliegenden Untersuchung um eine Betrachtung handelt, die möglichst nah an der praktischen Landwirtschaft orientiert sein sollte, musste auf eine Anpassung des Feuchtigkeitsgehalts der Silagen, wie sie LASER et al., 2018 vornahm, verzichtet werden, da dies in der praktischen Landwirtschaft bislang noch nicht üblich ist. Grundsätzlich wäre eine Anpassung des Feuchtegehalts über eine Ko-Silierung mit anderen Substraten, wie Zuckerrüben, oder ein Anfeuchten des Materials möglich (LASER et al., 2018). Dies würde den Voraufschluss verbessern, jedoch erscheint dieses Vorgehen aufgrund mangelnder potenzieller Ko-Substrate, die zur Erntezeit von Erbsen und Ackerbohnen zur Verfügung stehen, schwierig. Ein weiterer positiver Effekt einer Silierung des Materials oder dessen Silierung mit Ko-Substraten wäre die Absenkung des TM-Gehalts, was der Bildung von Schwimmschichten entgegenwirkt. Um das Stroh

ohne Voraufschluss zu nutzen und dabei die Bildung von Schwimmschichten zu vermeiden, wäre eine Ko-Vergärung im Fermenter mit Wirtschaftsdüngern denkbar (REINHOLD & FRIEDRICH, 2012, SCHWARZ et al., 2017).

Wie bei AUFHAMMER et al. (1994) und WEGI et al. (2018) wurde auch in der vorliegenden Studie ein Sorteneffekt auf den Strohertrag festgestellt. Auch die Gasausbeuten schwankten zwischen den Sorten und lagen meist über den Angaben aus der Literatur (WALLA & SCHNEEBERGER, 2006, STINNER et al., 2009, SAUERMAN, 2012) in einem Fall jedoch auch unter den Literaturangaben (PETERSSON et al., 2007). Wobei zu berücksichtigen ist, dass es sich hierbei meist um einen Vergleich zwischen gemessenen Werten anderer Autoren (PETERSSON et al., 2007, STINNER et al., 2009, SAUERMAN, 2012) und bei den dargestellten Gasausbeuten um berechnete Werte handelt. Die Schwankungen der Erbsenstroherträge zwischen den beiden Versuchsjahren verdeutlicht die Problematik des Landwirts sich für oder gegen eine Nutzung zu entscheiden. Dies und die von RÖPER et al., 2020, festgestellte hohe wirtschaftliche Anfälligkeit des Systems gegenüber Änderungen bei Strohertrag und Gasausbeuten, machen weitere Untersuchungen zur Thematik, zur Klärung der vierten Arbeitshypothese, unumgänglich.

### Fazit

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen ein gutes Potential des Ackerbohnen- und Erbsenstrohs für die Nutzung in Biogasanlagen. Alle Inhaltsstoffe wurden durch die Seneszenz beeinflusst, die Gerüstsubstanzen nahmen zu, der Rohproteingehalt nahm ab. Es wurden Biogasausbeuten von etwa 530 l/kg TM und Methangasausbeuten von etwa 265 l/kg TM berechnet, dies entspricht etwa 75 % der Methangasausbeute von Silomais (KARPENSTEIN-MACHAN, 2005). Die Sortenunterschiede waren bei den Gasausbeuten der Ackerbohnenarten gering, daher kann aufgrund dieser Daten keine Sortenempfehlung ausgesprochen werden. Der zweite wichtige Parameter für die Nutzung als Biogassubstrat ist der Strohertrag. Bei den Ackerbohnen sind die Sorten Fuego und Tiffany zu empfehlen, da hier die Stroherträge gesichert höher waren als die der Sorte Taifun (Tab. 10). Bei den Erbsen hatte die Sorte Respect einen höheren Strohertrag und etwas höhere Gasausbeuten als die anderen Sorten (Tab. 7), jedoch konnte die Sorte nicht vollständig geprüft werden, weshalb keine Sortenempfehlung gegeben wird. Eine Nutzung zum Zeitpunkt einer fortgeschrittenen Abreife, stellt sich nicht nur wegen der theoretischen Gasausbeuten von über 530 l/kg TM vorteilhaft dar, sondern auch wegen weiterer arbeitstechnischer Aspekte, wie der Vermeidung von übermäßigen Trocknungskosten und Beschädigungen des Korns.

### Interessenskonflikte

Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

## Literatur


- ABREU, J.M.F., A.M. BRUNO-SOARES, 1998: Characterization and utilization of rice, legume and rape straws. In: ANTONGIOVANNI M. (Ed.). *Exploitation of Mediterranean roughage and by-products*. Zaragoza: CIHEAM, p.39 -51 (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches; n.17).
- ALKHTIB, A.S., J.A. WAMATU, T. WEGI, B.A. RISCHKOWSKY, 2016: Variation in the straw traits of morphological fractions of faba bean (*Vicia faba* L.) and implications for selecting for food-feed varieties. *Animal Feed Science and Technology*, **222**, 122-131, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.10.006.
- ASAR, M.A., M. OSMAN, H.M. YAKOUT, A. SAFOAT, 2010: Utilization of corn-cob meal and faba bean straw in growing rabbit diets and their effects on performance, digestibility and economical efficiency. *Egyptian Poultry Science Journal*, **30**, 415-442.
- AMON, T., M. BISCHOFF, J. CLEMENS, H. HEUWINKEL, U. KEYMER, G. MEIßAUER, H. OECHSNER, G. REINHOLD, H. SCHELLE, P. WEILAND, W. WELSCH, W. ZERR, 2015: Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. *KTBL-Heft 107*, 3. Auflage, Niestetal, Druckerei Silber Druck oHG.
- AUFHAMMER, W., A. FIEGENBAUM, E. KÜBLER, 1994: Zur Problematik der Stickstoffrückstände von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) Teil 1: Stickstoffakkumulation und Stickstoffrückstände von Ackerbohnen. *Die Bodenkultur*, **45**, 25-37.
- BRUNO-SOARES, A.M., J.M.F. ABREU, C.V.M. GUEDES, A.A. DIAS-DASILVA, 2000: Chemical composition, DM, NDF degradation kinetics in rumen of seven legume straws. *Animal Feed Science and Technology*, **83**, 75-80, DOI: 10.1016/S0377-8401(99)00113-3.
- CHEN, L., C. AUH, F. CHEN, X. CHENG, H. ALJOE, R.A. DIXON, Z. WANG, 2002: Lignin Deposition and Associated Changes in Anatomy, Enzyme Activity, Gene Expression, and Ruminal Degradability in Stems of Tall Fescue at Different Developmental Stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**, 5558-5565, DOI: 10.1021/jf020516x.
- DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT E.V., 2004: Grobfutterbewertung Teil A – DLG-Schlüssel zur Bewertung von Grünfütter, Silage und Heu mit Hilfe der Sinnenprüfung, DLG-Information 1/2004. Aktualisierter Nachdruck.
- DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT E.V., 2005: Kleiner Helfer für die Berechnung von Futtermittelrationen Wiederkäuer und Schweine. 11. Auflage, Frankfurt am Main, DLG-Verlag.
- DICKEDUISBERG, M., 2017: Management and drought effects on growth and herbage yield of Tall Wheatgrass (*Agropyron elongatum*) for biogas production in Central Europe. Dissertation, Fakultät für Agrarwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- EEG (ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZ), 2017: Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2017), URL: [https://www.gesetze-im-internet.de/eeg\\_2014/EEG\\_2017.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/EEG_2017.pdf), Access: 13.03.2020.
- HADJIPANAYIOTOU, M., S. ECONIMIDES, A. KOUMAS, 1985: Chemical composition, digestibility and energy content of leguminous grains and straws grown in a Mediterranean region. *Annales de Zootechnie*, **34** (1), 23-30, DOI: 10.1051/animres:19850103.
- HARTMANN, H., 2009: Transport, Lagerung, Konservierung und Trocknung. In: *Energie aus Biomasse*. KALTSCHMITT, M.; HARTMANN, H.; HOFBAUER, H. (Hrsg.), Springer-Verlag, 2. Auflage, Berlin Heidelberg.
- HENDRICKSON, J.R., L.E. MOSER, K.J. MOORE, S.S. WALLER, 1997: Leaf nutritive value related to tiller development in warm-season grasses. *Journal of Range Management*, **50**, 116-122, DOI: 10.2307/4002367.
- HEUWINKEL, H., A. ASCHMANN, R. GERLACH, A. GRONAUER, 2009: Die Genauigkeit der Messung des Gasertragspotentials von Substraten mit der Batchmethode. In: *Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009 Band 1*, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Ed.), p. 95-104.
- JEROCH, H., 2008: Stroh. In: *Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere*. Jeroch, H., W. Drochner, O. Simon (Ed.), DLG-Verlag GmbH, 2. Auflage, Frankfurt am Main, p.184-186.
- KAISER, F.L., 2007: Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die Verdaulichkeit nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben Abbau in Biogasreaktoren. Dissertation, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, TU München, 176 p.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M., 2005: *Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber*. 1. Auflage, Frankfurt am Main, DLG-Verlag.
- LASER, H., M. BOELHAUVE, R. GARMEISTER, 2018: Biomasseaufwertung und Silierung lignocellulosereicher Koppelprodukte zur Optimierung der Methanausbeute (BASILIKOM). ISBN (print): 978-3-940956-75-0. ISBN (elektr.): 978-3-940956-76-7, 91 p., FNR Projekt, Förderkennzeichen: 22400715.
- LEHBRINK, M., 2019: Schriftliche Mitteilung vom 27.11.2019.
- MAURER, M., J.-P. WINKLER, 1982: *Biogas – Theoretische Grundlagen, Bau und Betrieb von Anlagen*. Verlag C.F. Müller, 2. Auflage, Karlsruhe.
- MUKENGELE, M., H. OECHSNER, 2007: Einfluss der Silierung auf den spezifischen Methanertrag bei Mais. *Landtechnik* 1/2007, S. 20-21, DOI: 10.15150/lt.2007.922.
- OMBABI, A., K.-H. SÜDEKUM, F. TAUBE, 2001: Untersuchungen am Primäraufwuchs zweier Weidelgräser zur Dynamik der Veränderungen in der Verdaulichkeit und der Futteraufnahme durch Schafe. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, **85**, Issue 11-12, 385-405, DOI: 10.1046/j.1439-0396.2001.00354.x.
- PETERSSON, A., M.H. THOMSEN, H. HAUGGAARD-NIELSEN, A.-B. THOMSEN, 2007: Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean. *Biomass & Bioenergy*, **31**, 812-819, DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.06.001.
- REINHOLD, G., E. FRIEDRICH, 2012: Vergärung von Stroh Stand und Perspektiven. 2. Internationale Strohtagung, 29.-30. März 2012, Berlin.
- RÖPER, K., R. PUDE, F.-F. GRÖBLINGHOFF, B.C. SCHÄFER, 2019: Differenzierung der Inhaltsstoffe von Körnerleguminosenstroh durch die Seneszenz als Einflussfaktoren für die Nutzung des Strohs in Biogasanlagen. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, **31**, 137-138.
- RÖPER, K., F.-F. GRÖBLINGHOFF, H. LASER, 2020: Möglichkeiten zur Nutzung von Koppelprodukten des Ackerbohnen- und Erbsenanbaus in Biogasanlagen. Abschlussbericht, FNR Projekt, Förderkennzeichen: 22401316.
- SAUERMAN, W., 2012: Zweitnutzung des Strohs über Biogas. *Bauernblatt* 17.3.2012., 46-47.
- SCHOLWIN, F., J. LIEBETRAU, W. EDELMANN, 2009: Biogaserzeugung und -nutzung Grundlagen. In: *Energie aus Biomasse*. KALTSCHMITT, M., H. HARTMANN, H. HOFBAUER (Ed.), Springer-Verlag, 2. Auflage, Berlin Heidelberg.
- SCHOLZ, V., C. IDLER, W. DARIES, J. EGERT, 2005: Lagerung von Feldholzhackgut – Verluste und Schimmelpilzbefall. *Agrartechnische Forschung* **11** (4), 100-113, DOI: 10.15150/lt.2005.1216.
- SCHUSTER, W., J. v. LOCHOW, 1979: *Anlage und Auswertung von Feldversuchen*. DLG-Verlag, 2. Auflage, Frankfurt am Main.
- SCHWARZ, B., M. FLESCHHUT, D. BAYE, 2017: Einsatz von strohartigen Biomassen in Biogasanlagen – Stand und Perspektiven. *KTBL-Schrift 512*, 167-175.
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 2019: Ackerland nach Hauptfruchtgruppen und Fruchtarten, URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/ackerland-hauptfruchtgruppen-fruchtarten.html>, Access: 23.01.2020.
- STEINHÖFEL, O., 2008: Konservierung von Futtermitteln. In: *Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere*. JEROCH, H., W. DROCHNER, O. SIMON, O. (Ed.), DLG-Verlag GmbH, 2. Auflage, Frankfurt am Main.
- STEMANN, G., S. HÜNNIES, D. JENSCHKE, 2019: *Versuchsfeldführer 2019*. 1. Auflage, 137 p.
- STINNER, W., S. MAJER, J. DANIEL-GROMKE, A. DEUKER, K. MÖLLER, F. SCHOLWIN, G. LEITHOLD, 2009: Energieertragspotenzial und Klimawirkungen durch Biogaserzeugung aus pflanzlichen Koppelprodukten. *Schriftenreihe Biogas Science 2009*, Band 3, Erding, 501-515.
- TILLMANN, P., R. BAETZEL, 2010: Entwicklung von NIRS-Kalibrierungen an getrocknetem Material und Umsetzung der NIRS Untersuchungen unter praktischen Bedingungen. Abschlussbericht des Verbundvorhabens „Bewertung nachwachsender Rohstoffe zur Biogaserzeugung für die Pflanzenzüchtung“ Teilprojekt IV, FNR-FKZ: 22001906.
- VAN SOEST, P.J., J.B. ROBERTSON, B.A. LEWIS, 1991: Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science* Vol. **74**, No. 10, 3583-3597, DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.
- VDI 4630 (Verein Deutscher Ingenieure), 2006: *Guideline VDI 4630 – Fermentation of Organic Materials Characterisation of the Substrate, Sampling, Collection of Material Data, Fermentation Tests*. Düsseldorf, Beuth-Verlag GmbH.
- VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN E.V. (VDLUFA), 1993: *Methodenbuch III: Futtermitteluntersuchung, Rohprotein 4.1.1*. Darmstadt, VDLUFA-Verlag.
- VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN E.V. (VDLUFA), 2012: *Methodenbuch III: Futtermittelbestimmung aNDF, 6.5.1, ADF, 6.5.2, ADL, 6.5.3*. Darmstadt, VDLUFA-Verlag.

- WALLA, C., W. SCHNEEBERGER, 2006: Energieproduktion in viehlosen Betrieben. *Berichte über Landwirtschaft*, **84** (3), 425-437.
- WAMATU, J., A. ALKHTIB, D. ABATE, S.A. KEMAL, B. RISCHKOWSKY, 2017: Nutritive value of field pea (*Pisum sativum* L.) straw as influenced by variety, season, botanical fractions and urea pretreatment. *Animal Feed Science and Technology*, **225**, 54-61, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2017.01.003.
- WEGI, T., A. TOLERA, J. WAMATU, G. ANIMUT, B. RISCHKOWSKY, 2018: Effects of feeding different varieties of faba bean (*Vicia faba* L.) straws with concentrate supplement on feed intake, digestability, body weight gain and carcass characteristics of Arsi-Bale sheep. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, **31**, No. 8: 1221-1229, DOI: 10.5713/ajas.17.0736.
- WEIßBACH, F., 2009: Die Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen für die Biogasgewinnung. Teil I: Das Gasbildungspotenzial der fermentierbaren Nährstoffe. *Pflanzenbauwissenschaften* **13** (2), 72-85.
- WULF, S., H. DÖHLER, 2009: Messung von Biogaserträgen – Methoden und Übertragbarkeit auf Praxisanlagen. In: Optimierung des Futtermittels von Mais und Maisprodukten, Schwarz, F. J., U. Meyer, U. (Ed.) Sonderheft *Landbauforschung* **331**, S75-86.
- ZERHUSEN-BLECHER, P, D. KRAMPS-ALPMANN, S. ROHN, J. BRAUN, B.C. SCHÄFER, 2016: LeguAN – Innovative und ganzheitliche Wertschöpfungskonzepte für funktionelle Lebens- und Futtermittel aus heimischen Körnerleguminosen vom Anbau bis zur Nutzung (Arbeitspakete 2 und 7). *Forschungsberichte des Fachbereichs Agrarwirtschaft Soest*, Nr. 41.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

## Zusatzinformationen

Tab. S1. Geprüfte Varianten der Erbsen

Jahr	Standort	Erntetermin	Sorte	Strohsilage	Stroh
2017	Ostwestfalen-Lippe	frühe Druschreife	Navarro	X	X
			Respect	X	X
			Astronaute	X	X
		zur Druschreife	Navarro	X	X
			Respect	X	X
			Astronaute	X	X
		späte Druschreife	Navarro		
			Respect		
			Astronaute		
	Totreife	Navarro		X	
		Respect		X	
		Astronaute		X	
	Soester Börde	frühe Druschreife	Navarro	X	X
			Respect	X	X
			Astronaute	X	X
		zur Druschreife	Navarro	X	X
			Respect	X	X
			Astronaute	X	X
späte Druschreife		Navarro			
		Respect			
		Astronaute			
Totreife	Navarro		X		
	Respect		X		
	Astronaute		X		
2018	Ostwestfalen-Lippe	frühe Druschreife	Navarro	X	X
			Respect	X	X
			Astronaute	X	X
		zur Druschreife	Navarro	X	X
			Respect	X	X
			Astronaute	X	X
		späte Druschreife	Navarro		
			Respect		
			Astronaute		
	Totreife	Navarro		X	
		Respect		X	
		Astronaute		X	
	Soester Börde	frühe Druschreife	Navarro	X	X
			Respect	X	X
			Astronaute	X	X
		zur Druschreife	Navarro	X	X
			Respect	X	X
			Astronaute	X	X
späte Druschreife		Navarro			
		Respect			
		Astronaute			
Totreife	Navarro		X		
	Respect		X		
	Astronaute		X		



Tab. S2. Geprüfte Varianten der Ackerbohnen

Jahr	Standort	Erntetermin	Sorte	Strohsilage	Stroh
2017	Ostwestfalen-Lippe	frühe Druschreife	Fuego	X	X
			Tiffany	X	X
			Taifun	X	X
		zur Druschreife	Fuego	X	X
			Tiffany	X	X
			Taifun	X	X
		späte Druschreife	Fuego	X	X
			Tiffany	X	X
			Taifun	X	X
	Totreife	Fuego		X	
		Tiffany		X	
		Taifun		X	
	Soester Börde	frühe Druschreife	Fuego	X	X
			Tiffany	X	X
			Taifun	X	X
		zur Druschreife	Fuego	X	X
			Tiffany	X	X
			Taifun	X	X
		späte Druschreife	Fuego	X	X
			Tiffany	X	X
			Taifun	X	X
Totreife	Fuego		X		
	Tiffany		X		
	Taifun		X		
2018	Ostwestfalen-Lippe	frühe Druschreife	Fuego	X	X
			Tiffany	X	X
			Taifun	X	X
		zur Druschreife	Fuego	X	X
			Tiffany	X	X
			Taifun	X	X
		späte Druschreife	Fuego	X	X
			Tiffany	X	X
			Taifun	X	X
	Totreife	Fuego		X	
		Tiffany		X	
		Taifun		X	
	Soester Börde	frühe Druschreife	Fuego	X	X
			Tiffany	X	X
			Taifun	X	X
		zur Druschreife	Fuego	X	X
			Tiffany	X	X
			Taifun	X	X
		späte Druschreife	Fuego		X
			Tiffany		X
			Taifun		X
Totreife	Fuego		X		
	Tiffany		X		
	Taifun		X		