



**AgEcon** SEARCH  
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search  
<http://ageconsearch.umn.edu>  
[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

**STROHPELLETS ALS INNOVATIVES  
ALTERNATIVSUBSTRAT IN DER BIOGASPRODUKTION:  
ERGEBNISSE EINER EMPIRISCHEN ANALYSE**

Sören Mohrmann, Christian Schaper und Verena Otter

soeren.mohrmann@uni-goettingen.de

Universität Göttingen, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung,  
Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen



**2022**

***Vortrag anlässlich der 62. Jahrestagung der GEWISOLA  
(Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.)***

***Resilienz von regionalen und globalen Wertschöpfungsketten  
der Agrar- und Ernährungswirtschaft  
7. bis 9. September 2022***

Copyright 2022 by authors. All rights reserved. Readers may make verbatim copies of this document for non-commercial purposes by any means, provided that this copyright notice appears on all such copies.

# **STROHPELLETS ALS INNOVATIVES ALTERNATIVSUBSTRAT IN DER NIEDERSÄCHSISCHEN BIOGASPRODUKTION: ERGEBNISSE EINER EMPIRISCHE ANALYSE**

## **STRAW PELLETS AS AN INNOVATIVE ALTERNATIVE SUBSTRATE IN LOWER SAXONY'S BIOGAS PRODUCTION: RESULTS OF AN EMPIRICAL ANALYSIS**

### **Zusammenfassung**

Aufgrund der anhaltenden öffentlichen Kritik am Biomasseanbau auf landwirtschaftlichen Flächen sowie der sich stetig ändernden rechtlichen Rahmenbedingungen, stehen Biogasanlagenbetreiber in Deutschland vor der Herausforderung klassische Substrate zunehmend durch Abfall- und Reststoffe wie z. B. Stroh zu ersetzen. Der Einsatz von Stroh in Form von Strohpellets stellt derzeit ein innovatives Verfahren dar, welches in der landwirtschaftlichen Praxis aber bisher kaum Anwendung findet. Ziel dieses Beitrages ist es daher, die Einstellung von niedersächsischen Biogasanlagenbetreibern gegenüber der Nutzung von Getreidestrohpellets als innovatives Biogassubstrat zu untersuchen und mögliche Adaptorengruppen zu identifizieren. Der Schwerpunkt der Untersuchung wird dabei auf das Bundesland Niedersachsen als „Biogasland Nr. 1“ in Deutschland gelegt. Auf Basis einer Befragung von 118 Anlagenbetreibern konnten unter Verwendung einer explorativen Faktorenanalyse die Faktoren „Einstellung zur Wirtschaftlichkeit von Strohpellets“, „Erwartete (Mehr-)Aufwand“, „Gesellschaftliche Druck“ und „Risikoeinstellung“ gebildet werden. Anhand dieser konnte eine Einteilung der niedersächsischen Biogasanlagenbetreiber in vier Cluster vorgenommen werden. Die Unterscheidung und Charakterisierung dieser erfolgte anhand der vier Faktoren sowie clusterbeschreibenden Variablen zur „Innovationsbereitschaft“, „Soziales Umfeld“, „Wissen und Verfügbarkeit von Informationen“ sowie „Intention zur Nutzung von Strohpellets“. Auf Basis der Ergebnisse liefert dieser Beitrag wichtige Implikationen für Politik und Beratung, um den Einsatz des Reststoffes Stroh in Form von Strohpellets in der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung in Niedersachsen weiter auszubauen.

### **Keywords**

Strohpellets, Biogas, Substratalternativen, Innovation, Clusteranalyse

### **Abstract**

Due to ongoing public criticism of biomass cultivation on agricultural land and constantly changing legal frameworks, German biogas plant operators are increasingly faced with the challenge of replacing classical substrates with waste and residual materials such as straw. The use of straw in pellet form is a process innovation that has often been neglected in agricultural practices to date. Subsequently, this paper investigates the attitude of biogas plant operators in Lower Saxony towards the use of straw pellets as an innovative biogas substrate and to identify possible adopter groups. The study examines the federal state of Lower Saxony as the "number one biogas region" in Germany. Based on a survey of 118 plant operators, the factors "attitude towards the profitability of straw pellets", "expected (additional) effort", "social pressure" and "risk attitude" were formed using explorative factor analysis. By means of these factors, biogas plant operators in Lower Saxony could be divided into four clusters. Differentiation and characterisation of clusters were based on the four factors, as well as the cluster-describing variables of "willingness to innovate", "social environment", "knowledge and availability of information" and "intention to use straw pellets". Results of this article provide important policy implications, and advice on how to further expand the use of straw as a residual material in pellet form in Lower Saxony's biogas production.

## Keywords

Straw pellets, biogas, substrate alternative, innovation, cluster analysis

## 1 Einleitung

Mit der Einführung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) in Deutschland im Jahr 2000 hat sich die Biogaserzeugung stetig weiterentwickelt und liefert heute einen wichtigen Beitrag zur Energiewende in Deutschland. Dabei hat sich die Biogasproduktion als eine wichtige Einnahmequelle für die Landwirtschaft etabliert. In Deutschland werden jährlich ca. 9 % der ldw. Nutzfläche (rd. 1,6 Mio. ha) für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo) für die Biogasproduktion benötigt (FNR, 2020). Trotz der anhaltenden gesellschaftlichen Kritik über steigende Flächenkonkurrenz (Teller-oder-Tank-Diskussion) und „Vermaisung der Landschaft“ durch den Anbau von Biomasse auf Ackerflächen für energetische Zwecke, ist die Anbaufläche in den letzten zehn Jahren auf nahezu konstantem Niveau verblieben (KRÖGER et al., 2016b; FNR, 2022). Insbesondere im Bundesland Niedersachsen, dem Biogasland Nr. 1 – gemessen an der installierten elektrischen Leistung – in Deutschland, wird mit der Verwendung von 10,7 % der ldw. Nutzfläche für den Anbau von Substraten für die Biogasproduktion ein überdurchschnittlich hoher Flächenanteil für die energetische Nutzung bereitgestellt. Der Anbau von Silomais ist dabei unter den Biogassubstraten mit 227.000 ha (rd. 85 % der Gesamtfläche für die Biogasproduktion) in Niedersachsen von besonderer Bedeutung (DAVIDSOHN, 2015; 3N KOMPETENZZENTRUM, 2018; FACHVERBAND BIOGAS, 2021).

Ein bundespolitisches Ziel der letzten Jahre ist es, den Anteil an klassischen Substraten wie Silomais zugunsten von Reststoffen wie Getreidestroh oder Wirtschaftsdüngern zu reduzieren (WINQUIST et al., 2019). Eine politische Maßnahme zur Verbesserung der Nachhaltigkeit der deutschen Biogaserzeugung war die Einführung des sogenannten „Maisdeckels“ bei der Novellierung des EEG 2012, um den Anteil von Mais, Getreidekorn und anderen Maisprodukten (außer Maisstroh) in Biogasanlagen in Deutschland zu begrenzen. Dieser wurde mit den EEG-Novellen 2017 und 2021 in Deutschland weiter verschärft (EEG, 2021). Darüber hinaus definiert die neue europäische Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED 2) Nachhaltigkeitskriterien für den Strom- und Wärmesektor insbesondere in Bezug auf land- und forstwirtschaftliche Biomasse sowie Abfall- und Reststoffe (GÖKGÖZ et al., 2020). Aufgrund der geänderten gesetzlichen Rahmenbedingungen sind Biogasanlagenbetreiber in Deutschland zunehmend gezwungen alternative Biogassubstrate, wie ldw. Nebenprodukte und Reststoffe, anstelle von Mais in ihren Anlagen einzusetzen (DANIEL-GROMKE et al., 2020). Unter den ldw. Reststoffen bietet Getreidestroh mit einer jährlich, nachhaltig entnehmbaren Menge zwischen 8 Mio. und 13 Mio. Tonnen insgesamt ein vergleichsweise hohes energetisches Nutzungspotenzial, das von Biogasanlagenbetreibern in Deutschland bisher aber kaum in Anspruch genommen wird (DANIEL-GROMKE et al., 2020; MOHRMANN et al., 2021).

Aus wissenschaftlicher Perspektive stellt die Verwendung von Getreidestroh in Form von Pellets in Biogasanlagen eine nachhaltige Innovation im Prozess der Biogasproduktion dar, die sich anhand erster Studienergebnisse aufgrund ihrer Vergärungseigenschaften und besseren Transportwürdigkeit als vorteilhaft gegenüber unverarbeitetem Getreidestroh darstellt (SCHWARZ, 2016; SCHWARZ et al., 2019; MOHRMANN et al., 2021). Dennoch kann aktuell nicht beobachtet werden, dass Strohpellets als Substratalternative in der Biogasproduktion an Bedeutung gewinnen (MOHRMANN und OTTER, 2021). In verschiedenen wissenschaftlichen Studien zur Akzeptanz von neuen Produktionsverfahren in der Landwirtschaft konnte aufgezeigt werden, dass nicht nur die technische Funktionalität und die Rentabilität als Triebkraft für die Einführung neuer Verfahren in der ldw. Praxis von Bedeutung sind (HENKE und THEUVSEN, 2014; WANG und WATANABE, 2016; KRÖGER et al., 2016a; JEINSEN et al., 2018). Wissenschaftliche Studien zum Investitionsverhalten von Landwirten in den Betriebszweig Biogas sowie zur Akzeptanz von Güllefeststoffen zeigen jedoch, dass sich ldw. Biogasanlagenbetreiber häufig

inkonsistent bei betrieblichen Entscheidungen verhalten und über unterschiedliche Umsetzungsschwellen für potenzielle „Bioenergie-Investitionen“ verfügen (VOSS et al., 2009; GRANOSZEWSKI et al., 2009; REISE et al., 2012; KRÖGER et al., 2016b). Ähnliche Erkenntnisse gehen auch aus Studien zu Innovationsübernahmeprozessen von Landwirten hervor, die diesbezüglich nicht als homogene Gruppe angenommen werden können, sondern sich anhand ihrer Einstellung und des Zeitpunktes der Adaption einer Innovation in verschiedene Gruppen einteilen lassen (ROGERS, 2003; JONSSON et al., 2011; SCHUKAT und HEISE, 2021). Nach aktuellem Kenntnisstand sind in der Literatur keine Studien zur Einstellung von Biogasanlagenbetreibern gegenüber pflanzlichen, ldw. Reststoffen als Alternativsubstrat in der Biogaserzeugung vorhanden. Auch erfolgte in diesen Kontext bisher keine Charakterisierung von Adaptorengruppen von Biogasanlagenbetreibern in Hinblick auf die Nutzung solcher Alternativsubstrate.

Ziel der vorliegenden Studie ist daher die Einstellung von ldw. Biogasanlagenbetreibern anhand von Befragungsdaten von 118 Anlagenbetreibern aus Niedersachsen in Bezug auf den Einsatz von Strohpellets als Alternativsubstrat in der Biogasproduktion zu analysieren und zu überprüfen, ob eine Unterscheidung von verschiedenen Adaptorengruppen möglich ist. Zunächst wird hierfür ein Literaturüberblick über mögliche Faktoren zur Charakterisierung von ldw. Biogasanlagenbetreibern in Hinblick auf ihr Innovations- und Entscheidungsverhalten gegeben (Kap. 2). Anschließend werden die Methodik der explorativen Faktorenanalyse sowie der Clusteranalyse erläutert (Kap. 3). Es folgt die Beschreibung der Stichprobe sowie der identifizierten Faktoren und Cluster (Kap. 4). Der Beitrag schließt mit dem Kapitel Diskussion und Fazit, der wichtige Erkenntnisse für Biogasanlagenbetreiber, Politik und Beratung zur Förderung des Einsatzes von Strohpellets als innovatives, nachhaltiges Substrat in Biogasanlagen beinhaltet (Kap. 5).

## **2 Innovations- und Entscheidungsverhalten von ldw. Betriebsleitern**

Die Forschung zur Adaption von Innovationen hat in der Agrarökonomie eine lange Tradition und umfasst eine große Anzahl an Studien, die sich mit der Charakterisierung von Innovatoren und Verweigerern auseinandersetzen (ILBERY, 1978; FEDER und UMALI, 1993; VOSS et al., 2009). Während in der wissenschaftlichen Literatur häufig davon ausgegangen wird, dass sich Entscheidungsträger bei unternehmerischen Entscheidungen ausschließlich rational verhalten, spielen gerade in der ldw. Praxis neben ökonomischen Faktoren auch nicht-ökonomische Faktoren eine bedeutende Rolle (ILBERY, 1978; BEER und THEUVSEN, 2020). Diese Beobachtung lässt sich auch für „eco-innovations<sup>1</sup>“, zu denen auch die Nutzung von Reststoffen wie z.B. Strohpellets gezählt werden kann, bestätigen (JANSSON et al., 2011).

In verschiedenen wissenschaftlichen Studien zu Investitionsentscheidungen im Bereich Biogas (VOSS et al., 2009; GRANOSZEWSKI et al., 2009; REISE et al., 2012; KRÖGER et al., 2016b) als auch zu Innovationsübernahmeprozessen von Landwirten konnte gezeigt werden, dass sich Entscheidungsträger in ihrem Verhalten unterscheiden und in verschiedene Gruppen einteilen lassen (ROGERS, 2003; JONSSON et al., 2011; SCHUKAT und HEISE, 2021). Dabei unterliegt das Entscheidungsverhalten von ldw. Betriebsleitern als auch das Verhalten bei der Adaption von Innovationen, den Eigenschaften des Innovations- oder Entscheidungsobjektes (u.a. Kosten, Nutzen), betrieblichen Merkmalen, den sogenannten „Farmographics“ (u.a. Betriebsgröße, Charakteristik des Betriebsleiters, Arbeitseinsatz, Zugang zu Kapital) sowie dem persönliche Managementverhalten des Entscheiders (u.a. Innovationsbereitschaft, Risikoorientierung) (FERNANDEZ-CORNEJO und MCBRIDE, 2002; VOSS et al., 2009; MEIJER et al., 2015; BEER und THEUVSEN, 2020). Darüber hinaus werden soziodemographische Merkmale des Entscheiders (u.a. Alter, Geschlecht, Berufserfahrung, Bildungsstand) als weitere Einflussfaktoren auf die Entscheidungsfindung bei der Einführung von Innovationen in der Landwirtschaft bestätigt und

---

<sup>1</sup> „Eco-innovations“ sind Innovationen, die der Vermeidung oder Reduktion von negativen Umwelteinflüssen dienen (JANSSON et al., 2011).

dienen der Charakterisierung verschiedener Nutzungsgruppen (FERNANDEZ-CORNEJO und MCBRIDE, 2002; WILLOCK et al., 1999; JEINSEN et al., 2018).

Bei den soziodemographischen Merkmalen haben insbesondere das Alter, die Erfahrung und die Bildung einen Einfluss auf das Entscheidungsverhalten. Häufig wird bei älteren Betriebsleitern im Vergleich zu jüngeren Betriebsleitern aufgrund des kürzeren Planungshorizonts eine geringere Innovationsneigung festgestellt. Nur wenn der Nutzen des Vorhabens für ältere Betriebsleiter groß genug ist oder eine gesicherte Hofnachfolge feststeht, sind auch diese bereit zu investieren (FERNANDEZ-CORNEJO und MCBRIDE, 2002). In Bezug auf die Erfahrung der Landwirte haben verschiedene Studien gezeigt, dass mit größeren persönlichen Erfahrungen die Akzeptanz zur Nutzung bzw. Adaption von Innovationen ansteigt (VOSS et al., 2009; JONSSON et al., 2011; SCHUKAT und HEISE, 2021). Diese Beobachtung wird auch für Biogasanlagenbetreiber im Kontext der Akzeptanz von Güllefeststoffen als alternatives Biogassubstrat bestätigt (KRÖGER et al., 2016a). Darüber hinaus hat der Ausbildungsstand der Betriebsleiter einen Einfluss auf das Entscheidungsverhalten. Je höher die Berufsausbildung des Betriebsleiters, desto höher ist die Bereitschaft, eine neue Technologie auf dem Betrieb einzusetzen (ILBERY, 1978; FREDERKING, 1996; GEDIKOGLU, 2015). Neben der Bildung hat das Wissen über die jeweilige Innovation v.a. zu Beginn des Adaptionprozesses einen wichtigen Einfluss, da in dieser Phase die Grundlage für die Entscheidung über die Nutzung oder Nicht-Nutzung gelegt wird (ROGERS, 2003; HANNUS und SAUER, 2021). Mangelndes Wissen wird häufig als Hemmnis für die Umsetzung von technologischen oder nachhaltigen Innovationen in der Landwirtschaft identifiziert (RODRIGUEZ et al., 2008; SCHULZE SCHWERING und LEMKEN, 2020; MISHRA et al., 2018). In direktem Bezug zur Biogasproduktion wurde z.B. ein begrenztes Wissen von Landwirten über ldw. Reststoffe als Barriere für die Ausweitung der Biogasproduktion in Schweden beobachtet (LANTZ et al., 2007).

Darüber hinaus bestimmen persönliche Merkmale des Betriebsleiters wie die Innovations- und Risikobereitschaft die grundsätzliche Bereitschaft Innovationen im betrieblichen Kontext auszuprobieren (GRANOSZEWSKI et al., 2009; VOSS et al., 2009; SCHAPER et al., 2010; KRÖGER et al., 2016a). Landwirte lassen sich durch ihr Risikoverhalten unterscheiden und als überwiegend risikoavers charakterisieren (MAART-NOELCK und MUBHOFF, 2014). Je stärker die Risikoaversion der Entscheidungsträger ist, desto defensiver und später wird eine Neuinvestition getätigt (SCHAPER et al., 2010; VISCUSI et al., 2011). Während Landwirte, die in eine Biogasanlage investiert haben, nach Voss et al. (2009) generell als weniger risikoavers gelten, ist eine Einteilung in mehr und weniger risikofreudige bzw. risikoaversere Betreiber möglich (STEINHORST et al., 2015). Im Umfeld des ldw. Betriebsleiters sind soziale Normen und das soziale Umfeld für die Adaption neuer Technologien von besonderer Bedeutung (KUCZERA, 2006). Vor allem Familienmitglieder und benachbarte Landwirte können starken Einfluss auf das Entscheidungsverhalten von Landwirten nehmen (FOSTER und ROSENZWEIG, 1995; JEINSEN et al., 2018). Diese Tatsache wird auch beim Innovationsverhalten von Biogasanlagenbetreibern bestätigt (GRANOSZEWSKI et al., 2009; VOSS et al., 2009). Auch der gesellschaftliche Druck, z.B. in Form der gesellschaftlichen Kritik am Maisanbau für die Biogaserzeugung, wird von Biogasanlagenbetreibern wahrgenommen und beeinflusst das Akzeptanzverhalten entsprechend (KRÖGER et al., 2014). Darüber hinaus ist im Zusammenhang mit dem sozialen Umfeld die Verfügbarkeit von Informationen über die Innovation sowie der Zugang zu Beratungsleistungen zu nennen (WELLNER und THEUVSEN, 2018). Betriebsmerkmale wie z.B. die Größe des Unternehmens haben ebenfalls einen Einfluss auf das Entscheidungsverhalten bezüglich der Akzeptanz bei der Adaption von Innovationen. Mit zunehmender Betriebsgröße geht ein positiver Einfluss auf die Einführung neuer Praktiken und Technologien einher (FEDER und UMALI, 1993; MOZZATO et al., 2018). Diese Beobachtung konnte auch in Bezug auf die Akzeptanz des Anbaus von Energiepflanzen festgestellt werden (GIANNOCCARO und BERBEL, 2012; GEDIKOGLU, 2015).

### 3 Material und Methoden

Im Zeitraum von Februar bis April 2021 wurden 118 Biogasanlagenbetreiber in Niedersachsen zu ihrer Einstellung und Nutzungsabsicht in Hinblick auf den Einsatz von Strohpellets in Biogasanlagen befragt. Ausgangspunkt bildete eine anonyme und standardisierte Online-Befragung, die über die Plattform Uni-Park der Globalpark AG durchgeführt wurde. Vor dem Start der Umfrage wurde ein Pretest mit 15 Testpersonen durchgeführt, um die Funktionalität und die Verständlichkeit der Fragen zu überprüfen. Zur Verbreitung des Weblinks zum Fragebogen wurden private Netzwerke und soziale Medien genutzt. Darüber hinaus wurde die Befragung von Verbänden und Zeitschriften in den Bereichen Landwirtschaft und Bioenergie in ihren Newslettern (u.a. Carmen, Landvolk Niedersachsen, 3N) sowie auf verschiedenen Social-Media-Kanälen (u.a. topagrar online, DLZ) beworben. Der Fragebogen gliederte sich in fünf Teile auf, denen eine Definition von Strohpellets als Verarbeitungsform von Getreidestroh vorangestellt war. Weitere Informationen zu den Vergärungseigenschaften von Strohpellets wurden im Vorfeld nicht gegeben, um Einschätzungen von Biogasanlagenbetreibern zu erhalten, die auch den aktuellen Wissensstand über diese Substratalternative widerspiegeln. In Teil A wurden die Biogasanlagenbetreiber zu ldw. Betriebsmerkmalen wie Betriebszweige und Betriebsgröße befragt. Teil B enthielt Fragen zu den Eigenschaften der Biogasanlage, wie z.B. die installierte elektr. Leistung, die technische Ausstattung, die Substratversorgung und das Gärrestmanagement. Teil C bestand aus insgesamt elf Abschnitten mit jeweils bis zu acht randomisiert dargestellten Statements zur Messung der Einstellung gegenüber dem Einsatz von Strohpellets. Die zu bewertenden Aussagen wurden überwiegend auf fünfstufigen Likert-Skalen (1 = „stimme überhaupt nicht zu“ bis 5 = „stimme voll und ganz zu“) gemessen. Im Teil E wurden die Zahlungsbereitschaft für Strohpellets und soziodemografische Daten der Biogasanlagenbetreiber abgefragt.

Die statistische Auswertung wurde mit Hilfe des Statistik-Programms IBM SPSS Statistics 27 durchgeführt. Um einen ersten Überblick über die Stichprobe zu erhalten, wurden zunächst die soziodemografischen Daten mittels univariater Verfahren analysiert. Anschließend wurden die Variablen zur Einstellung des Strohpelleteinsatzes in Biogasanlagen in einer explorativen Faktorenanalyse zu Faktoren zusammengefasst. Es wurde der Hauptkomponentenansatz mit der Varimax-Rotationsmethode und Kaiser-Normalisierung gewählt. Bei dieser Methode wird eine klare Trennung der Faktoren angestrebt, was die Zuordnung und Interpretation der einzelnen Faktoren vereinfacht. Zur Qualitätskontrolle wurden der Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)-Wert, der Bartlett-Test und die anschließende Reliabilitätsanalyse angewendet (BROSIUS, 2013). Die Extraktion der Faktoren wurde nur durchgeführt, wenn der Eigenwert größer als eins war. Anschließend wurde eine hierarchische Clusteranalyse durchgeführt, um homogene Gruppen auf der Grundlage der zuvor extrahierten Faktoren zu bilden (BACKHAUS et al., 2018). Zunächst wurde die Single-Linkage-Methode angewandt, um mögliche Ausreißer zu identifizieren. Die optimale Anzahl von Clustern wurde mit der Ward-Methode ermittelt. Die daraus generierte Startpartition wurde anschließend mit der k-Means-Methode optimiert (BORTZ, 2005). Für die detaillierte Charakterisierung der gebildeten Cluster wurde eine einfaktorielle ANOVA durchgeführt. Bei Varianzheterogenität (Levene-Test:  $p \leq 0,001$ ) wurde die Welch-ANOVA angewendet, die eine höhere Robustheit gegenüber Varianzheterogenität aufweist. Zur Ermittlung der signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Clustern wurde bei Varianzgleichheit der Bonferroni und bei Varianzheterogenität der Tamhane T2 Post-hoc-Mehrfachvergleichstest mit einem Signifikanzniveau von 0,05 durchgeführt. Bei kategorialen Variablen wurde die Kreuztabellierung mit Chi-Quadrat-Test nach Pearson durchgeführt. Dieser Ansatz wurde durch einen paarweisen Vergleich mit Bonferroni-Korrektur ( $\alpha = 0,05$ ) erweitert (BROSIUS, 2013).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Stichprobenbeschreibung

Ausgangsbasis für die Berechnungen bildeten 118 Beobachtungen von Betreibern landwirtschaftlicher Biogasanlagen mit einem Produktionsstandort in Niedersachsen. Die Altersstruktur der Biogasanlagenbetreiber ist im Vergleich zur Altersstruktur der Beschäftigten und der Betriebsleiter in der Landwirtschaft in Deutschland vergleichsweise jünger. Insbesondere die Altersgruppen „25 bis 35 Jahre“ und „35 bis 45 Jahre“ sind in der Stichprobe überrepräsentiert, wohingegen die höheren Altersgruppen „55 bis 65 Jahre“ und „Älter als 65 Jahre“ etwas unterrepräsentiert sind (PASCHER et al., 2021). Das Ausbildungsniveau der Stichprobe ist vergleichsweise hoch. Rd. 68 % der Biogasanlagenbetreiber verfügen über einen Fachhochschulabschluss bzw. die allg. Hochschulreife (Abitur) und rd. 26 % über einen Realschul- oder gleichwertigen Abschluss. Sonstige allgemeinbildende Schulabschlüsse wurden von weniger als 6 % der Teilnehmer angegeben. Ähnlich ist es bei den berufsbezogenen Abschlüssen. 41,5 % der Anlagenbetreiber haben ein Studium (Bachelor, Master, Diplom, Promotion) abgeschlossen. Des Weiteren haben 27,1 % einen Landwirtschaftsmeister und 21,2 % die zweijährige Fachschule (staatl. geprüfter Agrarbetriebswirt) abgeschlossen. Die übrigen rd. 10 % teilen sich in ldw. Ausbildung, einjährige Fachschule Landwirtschaft und sonstige Abschlüsse auf. Die durchschnittliche Betriebsgröße der Stichprobe liegt bei einer Bemessungsleistung<sup>2</sup> von 598,3 kW<sub>el</sub>. Die installierte Leistung der Anlagen in der Stichprobe liegt bei 1.106,8 kW<sub>el</sub>. Der niedersächsische Durchschnitt liegt bei 545 kW<sub>el</sub> bzw. bei 706 kW<sub>el</sub> im Bezugsjahr 2018 (3N KOMPETENZ-ZENTRUM, 2018). Die Stichprobe ist damit in ihrer Repräsentativität eingeschränkt und liefert schwerpunktmäßig Erkenntnisse für größere Biogasanlagen. Da diese im Vergleich zu kleineren, vorwiegend güllebasierten Biogasanlagen, höhere Anteile an klassischen NawaRo vergären, die potenziell durch Alternativsubstrate wie Strohpellets ersetzt werden sollen, ist die Aussagekraft der vorliegenden Stichprobe im Kontext dieser Studie als vorteilhaft einzustufen (DANIEL-GROMKE et al., 2020). Aktuell setzen 97,5 % der befragten, niedersächsischen Biogasanlagenbetreiber in der Stichprobe Maissilage in ihrer Biogasanlage ein. Der durchschnittliche Substratanteil liegt bei 49,5 %. Getreidestroh wurde nur von einem Betreiber (0,8 %) als Substrat angegeben. 16,9 % (n=20) der Betreiber haben in der Vergangenheit bereits Stroh in ihrer Biogasanlage eingesetzt, wovon vier Teilnehmer (3,4 %) angaben, dies in Form von Getreidestrohpellets getan zu haben. Die Fragestellungen, ob sich die Betreiber vor der Teilnahme an der Umfrage zu dieser Studie schon einmal mit dem Einsatz von Strohpellets in Biogasanlagen beschäftigt haben, wurde von 27 Betreibern (22,9 %) bejaht.

### 4.2 Ergebnisse der Faktoren- und Clusteranalyse

Mittels der explorativen Faktorenanalyse konnten die vier Faktoren, namentlich die „Einstellung zur Wirtschaftlichkeit des Strohpelleteinsatzes“, der „Erwartete (Mehr-)Aufwand“, der „Gesellschaftliche Druck“ und die „Risikoeinstellungen“ ermittelt werden, die zusammen 61,47 % der Gesamtvarianz erklären. Mit einem Wert von 0,744 ist das KMO (Kaiser-Meyer-Olkin)-Kriterium als „ziemlich gut“ zu bewerten (KAISER und RICE, 1974). Die Bartlett-Signifikanz liegt bei einem Wert von  $p = <0,001$ , was bedeutet, dass die Nullhypothese verworfen werden kann und somit eine Korrelation zwischen den Variablen besteht. Der Cronbachs Alpha (CA)-Wert liegt für alle Faktoren über dem in der Literatur genannten Schwellenwert von 0,6 bei explorativen Studien, womit die interne Konsistenz aller Faktoren erfüllt ist (Tabelle 1) (NUNNALLY und BERNSTEIN, 1994; BACKHAUS et al., 2018). Auf Basis der vier Faktoren konnte unter Verwendung der Ward-Methode und mit Hilfe des Dendrogramms, des Scree-Plots und des Ellenbogenkriteriums eine vier Cluster-Lösung identifiziert werden. Anschließend wurde

---

<sup>2</sup> Anteil der installierten Leistung der arbeitsrelevant ist und sich über die eingespeiste Strommenge und die Jahresvollaststunden errechnen lässt (3N KOMPETENZZENTRUM, 2018).



eine Optimierung der Lösung mittels der k-Means-Methode vorgenommen (BORTZ, 2005). Die Diskriminanzanalyse ergab für das Wilks-Lambda-Kriterium ein Signifikanzniveau von  $p = <0,001$  bei niedrigen Wilks Lambda-Werten, womit die Nullhypothese abgelehnt wird und eine signifikante Unterscheidung der Gruppen möglich ist. 99,2 % der ursprünglich gruppierten Fälle wurden korrekt zugeordnet. Die Güte der Clusteranalyse kann somit als gut bezeichnet werden (BACKHAUS et al., 2018; HAIR et al., 2018). Die Ergebnisse der Clusteranalyse lassen sich inhaltlich anhand der clusterbildenden Faktoren (Tabelle 1) und der clusterbeschreibenden Variablen (Tabelle 2) wie folgt beschreiben:

Cluster A „*Die risikoaversen Beobachter*“ (n=46): Dieses Cluster hat nach den Betreibern aus Cluster D die zweithöchste, positive Einstellung zur Wirtschaftlichkeit von Strohpellets (Faktor 1). Die Mittelwerte der dazugehörigen Einzelstatements liegen alle um den Wert von drei (teils/teils). Betreiber dieses Clusters erwarten einen relative hohen (Mehr-)Aufwand durch den Strohpelleteinsatz (Faktor 2), insbesondere in Bezug auf technische Parameter (Eigenstrombedarf, Rührwerkszeiten). Der gesellschaftliche Druck (Faktor 3) auf die Biogaserzeugung wird von Betreibern in Cluster A im Vergleich zu den anderen drei Clustern am geringsten wahrgenommen. Weiterhin ist dieses Cluster im Vergleich zu den anderen Clustern als weniger risikofreudig (Faktor 4) einzustufen, da der Wunsch nach Sicherheit und Vertrautheit überwiegt. Dies zeigt sich auch anhand der clusterbeschreibenden Einzelstatements zur Innovationsbereitschaft, die bei Cluster A auf ein zögerliches, abwartendes Innovationsverhalten schließen lassen. Die Unterstützung durch das soziale Umfeld wird von Betreibern in Cluster A überwiegend mit einem Wert von drei beurteilt. Das Wissen über den Einsatz von Strohpellets ist im Clustervergleich in dieser Gruppe am geringsten ausgeprägt. Insgesamt ist eine gewisse Unsicherheit wahrzunehmen. Die Intention zur Nutzung von Strohpellets in der Biogasanlage ist in diesem Cluster kaum vorhanden ( $\mu=1,89-2,50$ ).

Cluster B „*Die nicht überzeugten Ablehner*“ (n=22): Biogasanlagenbetreiber in diesem Cluster beurteilen die Wirtschaftlichkeit von Strohpellets (Faktor 1) auffallend negativ. Der erwartete (Mehr-) Aufwand (Faktor 2) wird von dieser Gruppe vergleichsweise hoch eingeschätzt. Im Vergleich zu Cluster A fällt v. a. die negativere Tendenz beim Arbeitsaufwand auf. Darüber hinaus wird ein gesellschaftlicher Druck auf die Biogaserzeugung wahrgenommen, der auf der öffentlichen Kritik und auch auf Konflikten mit dem näheren sozialen Umfeld beruht (Faktor 3). Die Statements zur Risikoeinstellung liegen allesamt nahe am Wert drei (Faktor 4). Anhand der clusterbeschreibenden Variablen zur Innovationsbereitschaft lässt sich feststellen, dass die frühzeitige Umsetzung von Innovationen für Betreiber in diesem Cluster weniger wichtig ist. Betreiber in Cluster B gehen davon aus, dass befreundete Berufskollegen eine ebenso negative Einstellung gegenüber dem Einsatz von Strohpellets vertreten. Auch die Unterstützung des familiären Umfeldes ist unsicher. Auf die Beratung wird wenig Wert gelegt. Der eigene Wissensstand zum Einsatz von Strohpellets ist relativ gering, wird aber besser eingestuft als bei Cluster A. Die Absicht Strohpellets in der Biogasanlage einzusetzen ist in diesem Cluster am geringsten ( $\mu=1,50-2,05$ ), was auch der Mittelwert des letzten Statements in Tabelle 2 widerspiegelt.

Cluster C „*Die risikobereiten Beobachter*“ (n=19): Die Betreiber in dieser Gruppe schätzen die Wirtschaftlichkeit von Strohpellets (Faktor 1) aktuell negativ ein, erwarteten allerdings tendenziell einen eher geringen (Mehr-)Aufwand (Faktor 2) durch einen Einsatz in ihrer Biogasanlage. Der gesellschaftliche Druck (Faktor 3) wird als wenig relevant angesehen, ein Rückgang der der gesellschaftlichen Akzeptanz der Biogaserzeugung wird von diesem Cluster nicht bestätigt. Die Betreiber dieses Cluster erweisen sich als äußerst risikobereit (Faktor 4) mit einem geringen Sicherheitsbedürfnis. Dies spiegelt sich auch in einer hohen Innovationsbereitschaft gemessen anhand der entsprechenden clusterbeschreibenden Variablen in Tabelle 2 wider.

**Tabelle 1: Clusterbildende Faktoren**

Variablen	Cluster A (n=46)	Cluster B (n=22)	Cluster C (n=19)	Cluster D (n=31)
	Mittelwerte der Skalen			
<b>Faktor 1 Einstellung zur Wirtschaftlichkeit des Strohpelleteinsatzes***; CA=0,673</b>	<b>0,345<sup>bc</sup></b>	<b>-1,380<sup>acd</sup></b>	<b>-0,441<sup>abd</sup></b>	<b>0,737<sup>bc</sup></b>
Ich bin davon überzeugt, dass sich der Einsatz von Strohpellets in Biogasanlagen lohnt. *** FL=0,817	3,04 <sup>b</sup>	1,86 <sup>acd</sup>	2,68 <sup>bd</sup>	3,42 <sup>bc</sup>
Ich bin davon überzeugt, dass der Einsatz von Strohpellets in der Biogasanlage mehr Nutzen bringt, als (Mehr-)Kosten verursacht. *** FL=0,775	3,02 <sup>bd</sup>	1,91 <sup>acd</sup>	2,79 <sup>bd</sup>	3,48 <sup>ad</sup>
Bei Strohpellets sind die Stromgestehungskosten pro kWh Strom günstiger als bei anderen Substraten. FL=0,773	2,89 <sup>bc</sup>	1,91 <sup>ad</sup>	2,32 <sup>ad</sup>	3,13 <sup>bc</sup>
Strohpellets sind im Vergleich zu anderen Substraten viel zu teuer. *** FL=-0,772	2,98 <sup>bc</sup>	4,14 <sup>ad</sup>	3,79 <sup>ad</sup>	3,10 <sup>bc</sup>
Der finanzielle Aufwand für den Transport und die Herstellung von Pellets ist höher, als der Nutzen, der bei der Vergärung entsteht. *** FL=-0,763	2,98 <sup>bc</sup>	4,14 <sup>ad</sup>	3,53 <sup>ad</sup>	2,71 <sup>bc</sup>
Die Nutzung von Strohpellets bietet meiner Biogasanlage betriebswirtschaftliche Vorteile. FL=0,712	2,87 <sup>b</sup>	1,86 <sup>abc</sup>	2,47 <sup>bd</sup>	3,26 <sup>bc</sup>
Bezogen auf die Trockenmassen können Strohpellets günstiger als andere Substrate eingekauft werden. *** FL=0,712	3,04 <sup>bd</sup>	2,09 <sup>ad</sup>	2,74 <sup>d</sup>	3,65 <sup>bc</sup>
<b>Faktor 2 Erwarteter (Mehr-)Aufwand*** CA=0,799</b>	<b>0,256<sup>c</sup></b>	<b>0,449<sup>c</sup></b>	<b>-1,060<sup>abd</sup></b>	<b>-0,049<sup>c</sup></b>
Der Eigenstrombedarf der Biogasanlage wird durch den Einsatz von Strohpellets ansteigen. ** FL=0,776	3,59 <sup>c</sup>	3,50 <sup>c</sup>	2,58 <sup>ab</sup>	3,29
Der Arbeitsaufwand für die Behebung von Störungen wird bei der Vergärung von Strohpellets erheblich ansteigen. *** FL=0,774	2,89 <sup>C</sup>	3,36 <sup>C</sup>	1,92 <sup>ABC</sup>	2,68 <sup>C</sup>
Der Arbeitsaufwand für tägliche Kontrollarbeiten steigt durch den Einsatz von Strohpellets. ** FL=0,745	3,09	3,36 <sup>c</sup>	2,42 <sup>b</sup>	2,74
Die Rührwerkslaufzeiten und -intervalle müssen für den Strohpelleteinsatz erhöht werden. *** FL=0,740	3,83 <sup>C</sup>	4,14 <sup>CD</sup>	2,68 <sup>AB</sup>	3,32 <sup>B</sup>
Meine Biogasanlage erfüllt grundsätzlich die technischen Voraussetzungen für den Einsatz von Strohpellets. *** FL=-,667	3,35 <sup>C</sup>	3,59 <sup>C</sup>	4,68 <sup>ABD</sup>	3,58 <sup>C</sup>
<b>Faktor 3 Gesellschaftlicher Druck*** CA=0,718</b>	<b>-0,607<sup>bd</sup></b>	<b>0,426<sup>ac</sup></b>	<b>-0,483<sup>bd</sup></b>	<b>0,895<sup>ac</sup></b>
Ich sehe mich als Biogasanlagenbetreiber zunehmend der öffentlichen Kritik ausgesetzt. *** FL=0,849	2,87 <sup>bd</sup>	4,05 <sup>ac</sup>	2,84 <sup>bd</sup>	4,10 <sup>ac</sup>
Die Akzeptanz der Gesellschaft für die Biogaserzeugung hat in den vergangenen 10 Jahren stark abgenommen. *** FL=0,765	1,85 <sup>BD</sup>	2,23 <sup>D</sup>	1,89 <sup>BD</sup>	3,03 <sup>ABC</sup>
Konflikte mit Nachbarn und Dorfanwohnern wegen der Biogasanlage (Transportaufkommen, Lärm, Maisanbau etc.) gehören für mich zum Tagesgeschäft. *** FL=0,753	2,41 <sup>D</sup>	3,36 <sup>D</sup>	2,58 <sup>D</sup>	3,81 <sup>ABC</sup>
<b>Faktor 4 Risikoeinstellung*** CA=0,673</b>	<b>0,614<sup>cd</sup></b>	<b>0,183<sup>bd</sup></b>	<b>-0,993<sup>ab</sup></b>	<b>-0,432<sup>ab</sup></b>
Mir ist Sicherheit wichtig, deshalb vermeide ich Risiken. *** FL=0,833	3,43 <sup>cd</sup>	3,27 <sup>cd</sup>	2,32 <sup>ab</sup>	2,45 <sup>ab</sup>
Ich vermeide risikoreiche Entscheidungen, insbesondere im Betriebszweig Biogas. *** FL=0,759	3,30 <sup>CD</sup>	3,14 <sup>C</sup>	1,95 <sup>AB</sup>	2,65 <sup>AC</sup>
Ich fühle mich in Situationen, die mir nicht vertraut sind, unwohl. *** FL=0,696	3,17 <sup>C</sup>	2,64	2,00 <sup>AD</sup>	2,65 <sup>C</sup>

Signifikanzniveau bei \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*\*\*  $p \leq 0,001$ ; (n.s.) = nicht signifikant; (a,b,c,d) kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Clustern nach Bonferroni post-hoc (Varianzhomogenität) bzw. (A,B,C,D) nach Tamhane-T2 post-hoc (Varianzheterogenität) bei einem Signifikanzniveau von 0,05; Alle Statements wurden auf einer Skala von 1 = „stimme überhaupt nicht zu“ bis 5 = „stimme voll und ganz zu“ gemessen. n = 118.

Anlagenbetreibern in Cluster C ist es wichtig bei Innovationen früh dabei zu sein; sie warten nicht auf die Erfahrungen anderer Berufskollegen. Die Unterstützung durch Familienmitglieder ist tendenziell gegeben, während die Beratung und Meinung der Berufskollegen als wenig relevant gelten. Das eigene Wissen zum Strohpelleteinsatz wird im Vergleich zwischen den Clustern am besten bewertet, obwohl der Zugang zu Informationsmaterial ebenfalls als nicht ausreichend bezeichnet wird. Die Intention zur Nutzung von Strohpellets in der Biogaserzeugung ist insgesamt höher als bei Cluster A und B, jedoch ist (noch) keine klare Absicht zur Nutzung von Strohpellets zu erkennen ( $\mu=2,32-2,74$ ).

**Tabelle 2: Clusterbeschreibende Variablen**

Variablen	Cluster A	Cluster B	Cluster C	Cluster D
	Mittelwerte der Skalen			
<b>Innovationsbereitschaft</b>				
Ich lege Wert darauf, bei Innovationen schnell mit dabei zu sein, wohlwissend, dabei Enttäuschungen erleben zu können.**	2,91 <sup>c</sup>	2,55 <sup>cd</sup>	3,68 <sup>ac</sup>	3,35 <sup>b</sup>
Bevor ich etwas Neues auf meiner Biogasanlage ausprobiere, warte ich lieber erstmal ab, ob andere damit Erfolg haben.***	3,17 <sup>C</sup>	3,32 <sup>C</sup>	2,11 <sup>AB</sup>	2,61
<b>Soziales Umfeld</b>				
Mein familiäres Umfeld würde es unterstützen alternative Substrate, wie Strohpellets, in meiner Biogasanlage auszu-probieren.*	3,37	2,82 <sup>d</sup>	3,26	3,71 <sup>a</sup>
Befreundete Berufskollegen befürworten die Nutzung von alternativen Substraten, wie z.B. Strohpellets.***	3,04 <sup>b</sup>	2,36 <sup>ad</sup>	2,68 <sup>d</sup>	3,45 <sup>bc</sup>
Wenn mein Berater mir rät, dass ich Strohpellets in meiner Biogasanlage einsetzen soll, werde ich das auch tun. (n.s.)	2,80	2,59	2,63	3,13
Die Beratung vor Ort wird mich bei der Nutzung von Strohpellets unterstützen. (n.s.)	3,09	2,73	2,63	2,94
<b>Wissen und Verfügbarkeit von Informationen</b>				
Ich verfüge über das nötige Wissen, Strohpellets in meiner Biogasanlage einzusetzen.*	2,46 <sup>c</sup>	2,73	3,47 <sup>a</sup>	2,81
Das Informations- und Beratungsangebot zu Nutzungskonzepten von Strohpellets in Biogasanlagen ist aktuell nicht ausreichend. (n.s.)	4,04	4,00	3,58	4,00
<b>Intention zur Nutzung von Strohpellets</b>				
Ich beabsichtige in nächster Zeit Strohpellets als Inputsubstrat für meine Biogasanlage zuzukaufen.***	1,89 <sup>D</sup>	1,50 <sup>CD</sup>	2,42 <sup>B</sup>	2,48 <sup>AB</sup>
Ich gehe davon aus, dass ich schon sehr bald Strohpellets als Inputsubstrat in meiner Biogasanlage einsetzen werde.**	2,13 <sup>d</sup>	1,86 <sup>d</sup>	2,32	2,81 <sup>ab</sup>
Strohpellets sind für mich eine echte Substratalternative.***	2,50 <sup>d</sup>	2,05 <sup>d</sup>	2,74	3,13 <sup>ab</sup>
Der Einsatz von Strohpellets in meiner Biogasanlage kommt vorerst nicht in Frage.***	3,37 <sup>cd</sup>	3,77 <sup>cd</sup>	2,68 <sup>ab</sup>	2,52 <sup>ab</sup>

Signifikanzniveau bei \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*\*\*  $p \leq 0,001$ ; (n.s.) = nicht signifikant; (a,b,c,d) kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Clustern nach Bonferroni post-hoc (Varianzhomogenität) bzw.(A,B,C,D) nach Tamhane-T2 post-hoc (Varianzheterogenität) bei einem Signifikanzniveau von 0,05; Alle Statements wurden auf einer Skala von 1 = "stimme überhaupt nicht" bis 5 = "stimme voll und ganz zu" gemessen.  $n = 118$ .

Cluster D „Die beeinflussbaren Innovatoren“ ( $n=31$ ). Biogasanlagenbetreiber in diesem Cluster haben im Vergleich der vier Cluster die positivste Einstellung zur Wirtschaftlichkeit von Strohpellets für die Biogaserzeugung (Faktor 1). Sie finden Pellets zwar teuer, gehen aber davon aus, dass sich der Einsatz für sie lohnen wird. Der (Mehr-)Aufwand (Faktor 2) wird von dieser Gruppe als relativ neutral eingeschätzt. Auffällig ist, dass ein hoher gesellschaftlicher Druck (Faktor 3) wahrgenommen wird. Hierbei spielen vor allem die öffentliche Kritik aber auch Konflikte im unmittelbaren Umfeld eine entscheidende Rolle. Betreiber in Cluster D sind bereit Risiken (Faktor 4) bei betrieblichen Entscheidungen einzugehen, jedoch etwas gemäßiger als Betreiber in Cluster C. Ähnlich verhält es sich bei der Innovationsbereitschaft, die im Vergleich zu Cluster C ebenfalls als gemäßiger wahrgenommen wird. Die Unterstützung durch das familiäre Umfeld und befreundete Berufskollegen ist vergleichsweise hoch, auch die

Meinung eines Beraters scheint tendenziell einen Einfluss auf die Entscheidungen zu haben. Die Absicht Strohpellets einzusetzen ist in diesem Cluster auf einem ähnlichem Niveau ( $\mu=2,48-3,13$ ) wie in Cluster C, wobei Cluster D zum einen eine etwas höhere Zustimmung im sozialen Umfeld zu haben scheint und zum anderen Strohpellets eher als echte, längerfristige Substratalternative in Erwägung zieht.

**Tabelle 3: Soziodemographische und betriebliche Variablen zur Clusterbeschreibung**

Faktoren und faktorenbildende Variablen	Cluster A	Cluster B	Cluster C	Cluster D
	Mittelwerte der Skalen			
Alter (n.s.) ( $\bar{X}$ in Jahren)	47,87	44,68	45,16	45,97
Erfahrung Biogasproduktion (n.s.) ( $\bar{X}$ in Jahren)	11,93	11,68	11,74	12,97
<b>Größe der Biogasanlage</b>				
$\bar{X}$ Bemessungsleistung* (kW <sub>el</sub> )	613	482 <sup>d</sup>	515	710 <sup>b</sup>
$\bar{X}$ Installierte Leistung (n.s.) (kW <sub>el</sub> )	1058	808	1073	1412
<b>Substratversorgung</b>				
$\bar{X}$ Anteil Wirtschaftsdünger* (%)	34,33 <sup>c</sup>	39,5	48,84 <sup>a</sup>	35,64
$\bar{X}$ Substratanteil Maissilage*** (%)	55,17 <sup>c</sup>	49,32	34,05 <sup>ad</sup>	50,68 <sup>c</sup>

Signifikanzniveau bei \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*\*\*  $p \leq 0,001$ ; (n.s.) = nicht signifikant; (a,b,c,d) kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Clustern nach Bonferroni post-hoc bei einem Signifikanzniveau von 0,05. n = 118.

Die soziodemographischen Daten weisen insgesamt kaum signifikante Unterschiede auf (Tabelle 3). Die schulische und berufliche Bildung sowie das Alter weisen keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Clustern auf. Die Erfahrung im Bereich Biogas, definiert anhand der Erstinbetriebnahme einer Biogasanlage, ist ebenfalls nicht signifikant, jedoch weist Cluster D mit durchschnittlich 13,97 Jahren etwa ein Jahr mehr an Erfahrung auf. Die Merkmale der Biogasanlage zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen anhand der Vergütung nach dem jeweiligen EEG. Bei der Biogasanlagengröße fällt auf, dass Cluster C und D die Betreiber mit den größeren Biogasanlagen und Cluster B und C die mit den kleineren Biogasanlagen umfasst. Die Substratversorgung besteht bei Cluster A, B, und D zu rd. der Hälfte aus Maissilage, während Cluster C einen Substratanteil von etwas mehr als einem Drittel aufweist. Der Wirtschaftsdüngeranteil ist in Cluster C am höchsten und vor allem durch Festmiste geprägt.

## 5 Diskussion und Fazit

Aufgrund der anhaltenden öffentlichen Kritik am Anbau von Biomasse auf ldw. Flächen sowie sich ändernder rechtlicher Rahmenbedingungen zum Substrateinsatz stehen Biogasanlagenbetreiber vor der Herausforderung klassische Substrate zunehmend durch Abfall- und Reststoffe wie z. B. Stroh zu ersetzen. Stroh bietet in Deutschland mengenmäßig, mit regionalen Ausnahmen, ein hohes Nutzungspotential für die Biogaserzeugung, da sich andere Nutzungsverfahren wie z.B. die Kraftstoffproduktion oder die Wärmeproduktion durch Verbrennung aus technischen, ökonomischen oder emissionsrechtlichen Gründen bisher nicht durchgesetzt haben (VOGEL, 2019; MOHRMANN et al., 2022). Aus wissenschaftlicher Perspektive stellt die Verwendung von Getreidestroh in Form von Pellets in Biogasanlagen eine nachhaltige Innovation im Prozess der Biogasproduktion dar, der aktuell noch keine Relevanz in der Biogaserzeugung in Deutschland hat (MOHRMANN und OTTER, 2021). Die vorliegende Studie hatte daher unter Verwendung einer explorativen Faktorenanalyse und anschließender Clusteranalyse zum Ziel, die Einstellung von ldw. Biogasanlagenbetreibern in Niedersachsen in Bezug auf den Einsatz von Strohpellets als innovative Substratalternative in der Biogasproduktion zu untersuchen und zu prüfen, ob eine Einteilung der Betreiber in verschiedene Adaptorengruppen möglich ist. Es konnten die Faktoren „Einstellung zur Wirtschaftlichkeit des Strohpelleteinsatzes“, „Erwarteter (Mehr-)Aufwand“, „Gesellschaftlicher Druck“ und „Risikoeinstellung“ ermittelt werden, auf dessen Basis im Rahmen der Clusteranalyse vier Cluster niedersächsischer

Biogasanlagenbetreiber ermittelt wurden: „Die risikoaversen Beobachter“, „Die nicht überzeugten Ablehner“, „Die risikobereiten Beobachter“ und die „Die beeinflussbaren Innovatoren“. Signifikante Unterschiede zwischen den gebildeten Clustern waren insbesondere bei der Risikoeinstellungen und der Wahrnehmung des gesellschaftlichen Drucks zu beobachten. Damit bestätigt diese Studie die bisherigen Erkenntnisse aus ähnlichen Studien in der agrarwissenschaftlichen Literatur, in denen ebenfalls ein hoher Einfluss dieser beiden Faktoren beobachtet werden konnten (GRANOSZEWSKI et al., 2009; VOSS et al., 2009; KRÖGER et al., 2014; STEINHORST et al., 2015; WELLNER et al., 2019). Darüber hinaus sind die Einstellung zur Wirtschaftlichkeit und des zu erwartenden Aufwandes der Strohpelletnutzung in Biogasanlagen als wichtige Einflussfaktoren auf die Nutzung von Strohpellets zu identifizieren, die gleichermaßen zur Differenzierung zwischen den Clustern beitragen. Die Bedeutung der Kosten und des Nutzens einer Innovation konnte bereits in Bezug auf die Nutzung von Güllefeststoffen als alternatives Gärsubstrat identifiziert werden, wobei anhand dieser Kriterien keine Unterscheidung von Anlagenbetreibern in Cluster vorgenommen wurde (KRÖGER et al., 2016a; WELLNER et al., 2019). Die Differenzierung zwischen Gruppen anhand der Einstellung zur Wirtschaftlichkeit von Innovationen ist in Bezug auf die Nutzung von Agrarrobotik und Smart-Farming-Technologien in der Landwirtschaft bereits erfolgt, jedoch wurde die Einstellung zur Wirtschaftlichkeit in Einzelstatement als Teil des wahrgenommenen Nutzens betrachtet und nicht als eigener Faktor (SCHUKAT und HEISE, 2021; VELTHEIM und HEISE, 2021). Die Charakterisierung der vier Cluster wird durch signifikante, clusterbeschreibende Einzelstatements zur Innovationsbereitschaft, dem sozialen Umfeld, dem Wissensstand über die Strohpelletvergärung, die Verfügbarkeit von Informationen zur Strohpelletvergärung sowie der Intention zur Nutzung von Strohpellets in Biogasanlagen gestützt. Insbesondere Cluster C zeigt eine vergleichsweise stark ausgeprägte Innovationsbereitschaft, die in Kombination mit der hohen Risikobereitschaft wider Erwarten nicht zu einer eindeutigen Nutzungsabsicht von Strohpellets führt. Auf Basis der Beobachtungen von RODRIGUEZ et al. (2008) kann interpretiert werden, dass die negative Einschätzung der Wirtschaftlichkeit des Strohpelleteinsatzes in Biogasanlagen ein bedeutendes Hemmnis bei der Adaption von Strohpellets als nachhaltiges, innovatives Substrat für diese Gruppe darstellen könnte. Anhand dieser Beobachtung kann abgeleitet werden, dass Betreiber in Cluster C, die ein leichtes Zögern aufzeigen, eher zu den „Early Adopters“ gehören, während Betreiber in Cluster D auf Basis der Zustimmung zu der Aussage, „Strohpellets sind eine echte Substratalternative für mich“ eher den „Innovators“ zuzuordnen sind (BERNSTEIN und SINGH, 2008). Darüber hinaus lässt sich anhand von Cluster D die hohe Bedeutung des sozialen Umfeldes (familiäres Umfeld, Berufskollegen, Beratung) auf die Absicht Strohpellets in der Biogasanlage zu nutzen, bestätigen (KUCZERA, 2006; KRÖGER et al., 2014).

In Bezug auf das Wissen über Strohpellets als Substratalternative in der Biogasproduktion geben Betreiber in Cluster A, B und D an, über kein ausreichendes Wissen zu verfügen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit stellt daher ein mangelndes Wissen sowie eine unzureichende Verfügbarkeit an Informationen ein bedeutendes Hemmnis für die Adaption von Strohpellets in der Praxis dar. Stützen lässt sich diese Interpretation anhand der Beobachtungen von LANTZ et al. (2007) im Bereich der Nutzung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten in der schwedischen Biogasproduktion sowie RODRIGUEZ et al. (2008) und MISHRA et al. (2018), die ein mangelndes Wissen über die jeweilige Innovation als Hemmnis bei der Adaption von nachhaltigen Bewirtschaftungspraktiken in der Landwirtschaft identifizieren konnten. Auffällig ist, dass Cluster C einen relativ hohen Wissensstand zur Strohpelletvergärung angibt, was ggf. mit dem erhöhten Einsatz von Wirtschaftsdüngern in Form von Festmist in der Biogasproduktion zusammenhängen kann. Möglicherweise schätzen Betreiber in diesem Cluster ihr Wissen zur Strohpelletvergärung entsprechend höher ein, da sie die Vergärung von Festmist mit der Vergärung von Strohpellets für vergleichbar halten.

Anhand der betrieblichen Merkmale können in dieser Studie keine eindeutigen Erkenntnisse zur Einstellung gegenüber dem Einsatz von Strohpellets in der Biogasproduktion generiert

werden. Während Cluster D mit der höchsten Bemessungs- und installierten Leistung auch die höchste Nutzungsintention aufweist, ist bei Cluster A, welches die zweithöchsten Leistungskennzahlen unter den vier Clustern zeigt, eine eher ablehnende Haltung festzustellen. Die aktuellen Substrateinsatzanteile lassen keine eindeutige Interpretation in Hinblick auf Unterschiede in einem konkreten Interesse zur Strohpelletnutzung zu. Cluster C zeigt die zweithöchste Intention zur Nutzung von Pellets, hat aber gleichermaßen den höchsten Wirtschaftsdüngeranteil und geringsten Maisanteil im Substratmix. Möglicherweise sorgt die Erfahrung und Vertrautheit mit dem Wirtschaftsdünger „Festmist“ dafür, dass positive Rückschlüsse auf den Einsatz von Strohpellets gezogen werden. Auf Basis der soziodemographischen Parameter kann keine Segmentierung vorgenommen werden. Während dies bei der Bildung und dem Geschlecht anhand der Stichprobe begründet werden kann, ist beim Alter zu vermuten, dass eine geringere Intention zur Nutzung einer Innovation vornehmlich bei technologischen sowie bei hohen, längerfristig angelegten Investitionen zum Tragen kommt. Insgesamt kann die in dieser Studie festgestellte relative Unabhängigkeit von soziodemographischen und betrieblichen Merkmalen als vorteilhaft beurteilt werden, da dadurch keine potenziellen Nutzergruppen ausgeschlossen werden.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen kann diese Studie zur Beurteilung der Einstellung von Biogasanlagenbetreibern in Hinblick auf die Nutzung von innovativen Substratalternativen und zur Charakterisierung des Adaptionsverhalten von ldw. Biogasanlagenbetreiber beitragen. Damit liefern die Ergebnisse der Studie einen wichtigen Beitrag zur agrarwissenschaftlichen Forschung, in der bisher kaum Beiträge für den Bereich Biogasproduktion vorliegen. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte bieten die Ergebnisse die Möglichkeit, auf die jeweilige Einstellung der Betriebsleiter angepasste Handlungsempfehlungen zur Verbesserung des Einsatzes von Strohpellets in Biogasanlagen abzuleiten. In erster Linie sind hier zunächst Biogasanlagenbetreiber in Cluster D „*Die beeinflussbaren Innovatoren*“ durch weitere Informationen zur Vergärung von Strohpellets, die Betreuung durch Biogasspezialberater und die Förderung der Zusammenarbeit in Form von Arbeitskreisen mit Berufskollegen zu überzeugen. In diesem Kontext könnte auch das zur Verfügung stellen von Strohpellets für den testweisen Einsatz in der Biogasanlage durch beispielsweise Pelletproduzenten eine Möglichkeit zur Förderung der anfänglichen Nutzung darstellen. Auch Betreiber in Cluster C „*Die risikobereiten Beobachter*“ können durch Beratung in ihrer Innovationsbereitschaft mitgenommen werden und ökonomische Vorbehalte ggf. aufgelöst werden (HASLER et al., 2017; BEER und THEUVSEN, 2020). Cluster A „*Die risikoaversen Beobachter*“ und möglicherweise auch Cluster B „*Die nicht überzeugten Ablehner*“ könnten später als „Laggards“ folgen, wenn die Innovation Strohpellets eine stärkere Verbreitung in der Biogas-Community erreicht haben sollte (FOSTER und ROSENZWEIG, 1995; ROGERS, 2003; BERNSTEIN und SINGH, 2008). Insbesondere für Cluster A, B und C, die eine mehr oder weniger negative Einstellung zur Wirtschaftlichkeit von Strohpellets haben, könnten darüber hinaus politisch initiierte Förderprogramme (z.B. eine Sondervergütung für Strohpellets), eine Möglichkeit darstellen die Nutzung von Strohpellets in der Biogaserzeugung stärker zu etablieren (MOLA-YUDEGO et al., 2014)

Wie bei den meisten nicht-experimentellen Studien gibt es auch bei dieser Studie Einschränkungen. Die Stichprobe von 118 Anlagenbetreibern ist im Vergleich zu den verfügbaren Daten zur Grundgesamtheit aufgrund der Altersverteilung und der etwas stärker vertretenen, größeren Biogasanlagen in der Stichprobe nur eingeschränkt repräsentativ. Des Weiteren ist bei den Ergebnissen der Clusteranalyse zu beachten, dass die subjektive Nomenklatur der Cluster, die von den Autoren erstellt wurde, nicht als allgemeinverbindlich angesehen werden kann.

Ausgehend von den Ergebnissen niedersächsischer Biogasanlagenbetreiber kann die Analyse auf weitere Teilregionen in Deutschland sowie ggf. im internationalen Kontext ausgeweitet werden. Dabei sollten zukünftige empirische Arbeiten methodisch darauf ausgerichtet werden, den Einfluss der einzelnen Faktoren auf das Nutzungsverhalten von Biogasanlagenbetreibern weiter zu untersuchen.

## Förderhinweis

Die Datenerhebung erfolgte im Rahmen des mit Mitteln des BMEL geförderten FNR-Verbundprojektes StroPellGas, Teilvorhaben 2 mit der Förderkennziffer 2219NR075.

## Literatur

- 3N KOMPETENZZENTRUM (2018): Biogas in Niedersachsen. Inventur 2018, Werlte.
- BACKHAUS, K., B. ERICHSON, W. PLINKE und R. WEIBER (2018): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg.
- BEER, L. und L. THEUVSEN (2020): Factors influencing German farmer's decision to grow alley cropping systems as ecological focus areas: a regression analysis. In: International Food and Agribusiness Management Review 23 (4): 529-545.
- BERNSTEIN, B. und P. J. SINGH (2008): Innovation generation process. Applying the adopter categorization model a concept of "chasm" to better understand social and behavioral issues. In: European Journal of Innovation Management 11 (3): 366-388.
- BORTZ, J. (2005): Statistik: Für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer Medizin Verlag, Heidelberg.
- BROSIUS, F. (2013): SPSS 21. 1. Auflage. mitp Professional, Heidelberg, München, Landsberg, Frechen, Hamburg.
- DANIEL-GROMKE, J., N. RENSBERG, V. DENYSENKO, T. BARCHMANN, K. OEHMICHEN, M. BEIL, W. BEYRICH, B. KRAUTKREMER, M. TROMMLER, T. REINHOLZ, J. VOLLPRECHT und C. RÜHR (2020): Optionen für Biogas- Bestandsanlagen bis 2030 aus ökonomischer und energiewirtschaftlicher Sicht. Abschlussbericht. Texte 24/2020. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- DAVIDSOHN, H. (2015): Das Land Niedersachsen – eine Region im Herzen Europas. In: Gehler, M., M. Gonscher und H. Meyer (Hrsg.): Banken, Finanzen und Wirtschaft im Kontext europäischer und globaler Krisen. Hildesheimer Europagespräche III. Olms, Hildesheim: 227-242.
- EEG (ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZ) 2021: Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 11 des Gesetzes vom 16. Juli 2021 (BGBl. I S. 3026) geändert worden ist.
- FACHVERBAND BIOGAS (2021): Branchenzahlen 2020 und Prognose der Branchenentwicklung 2021.
- FEDER, G. und D. L. UMALI (1993): The adoption of agricultural innovations: a review. In: Technological Forecasting and Social Change 43: 215-239.
- FERNANDEZ-CORNEJO, J. und W. D. MCBRIDE (2002): Adoption of Bioengineered Crops. Agricultural Economic. Economic Research Service, Washington D.C.
- FNR (FACHVERBAND NACHWACHSENDE ROHSTOFFE) (2020): Anbau nachwachsender Rohstoffe 2021 konstant. URL: <https://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/anbau-nachwachsender-rohstoffe-2021-konstant> [10.08.2022].
- FOSTER, A. D. und M. R. ROSENZWEIG (1995): Learning by Doing and Learning from Others: Human Capital and Technical Change. In: The Journal of Political Economy 103 (6): 1176-1209.
- FREDERKING, M. (1996): Zusammenhänge zwischen Merkmalen der Agrarstruktur und dem Innovationsverhalten von Landwirten. In: Kirschke, D., M. Odening und G. Schade (Hrsg.): Agrarstrukturentwicklungen und Agrarpolitik. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup: 349-359.
- GEDIKOGLU, H. (2015): Socio-economic factors and adoption of energy crops. In: International Journal of Food and Agricultural Economics 3 (1): 1-17.
- GIANNOCCARO, G. und J. BERBEL (2012): The Determinants of Farmer's Intended Behaviour Towards the Adoption of Energy Crops in Southern Spain: an Application of the Classification Tree-Method. In: Bio-based and Applied Economics 1 (2): 199-211.
- GÖKGÖZ, F., J. LIEBETRAU und M. NELLES (2020): Kombinierte Bereitstellung von Strom und Kraftstoff an Biogasanlagen - Wirtschaftlichkeit von Anschlusszenarien. In: Landtechnik 75 (3): 141-160.

- GRANOSZEWSKI, K., C. REISE, A. SPILLER und O. MUBHOFF (2009): Entscheidungsverhalten Idw. Betriebsleiter bei Bioenergie Investitionen – Erste Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. Diskussionspapier Nr. 0911. Department für Agrarökonomie und RURALE ENTWICKLUNG, Göttingen.
- HAIR, J. F., B. J. BABIN, R. E. ANDERSON und W. C. BLACK (2018): *Multivariate Data Analysis*. Cengage Learning EMEA, London.
- HANNUS, V. und J. SAUER (2021): Understanding Farmers' Intention to Use a Sustainability Standard: The Role of Economic Rewards, Knowledge, and Ease of Use. In: *Sustainability* 13 (19): 10788.
- HASLER, K., H.-W. OLFS, O. OMTA und S. BRÖRING (2017): Drivers for the Adoption of Different Eco-Innovation Types in the Fertilizer Sector: A Review. In: *Sustainability* 9 (12), 2216.
- HENKE, S. und L. THEUVSEN (2014): SLCA: Regional differenzierte Bewertung von Biogasanlagen und Kurzumtriebsplantagen. In: *Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie* 23: 81-90.
- ILBERY, B. W. (1978): Agricultural decision-making: a behavioural perspective. In: *Progress in Human Geography* 2 (3): 448-466.
- JANSSON, J., A. MARELL und A. NORDLUNG (2011): Exploring consumer adoption of a high involvement eco-innovation using value-belief-norm theory. In: *Journal of Consumer Behaviour* 10: 51-60.
- JEINSEN, T. von, H. HEPPE und L. THEUVSEN (2018): Determinanten der Akzeptanz technischer Innovationen in der Landwirtschaft. In: Ruckelshausen, A. et al. (Hrsg.): 38. GIL-Jahrestagung, Digitale Marktplätze und Plattformen. *Lecture Notes in Informatics (LNI)*. Köllen, Bonn: 127-130.
- JONSSON, A. C., M. OSTWALD, T. ASPLUND und V. WIBECK (2011): Barriers to and drivers of the adoption of energy crops by Swedish farmers: an empirical study. 8.-13.05.2011, Linköping, Sweden. In: *World Renewable Energy Congress 2011*: 2509-2516.
- KAISER, H. F. und J. RICE (1974): Little Jiffy, Mark IV. In: *Educational and Psychological Measurement* 34 (1): 111-117.
- KRÖGER, R., L. THEUVSEN und J. R. KONERDING (2014): Güllefeststoffe als Gärsubstrat für Biogasanlagen. Ergebnisse einer empirischen Erhebung unter Biogasanlagenbetreibern. In: *Berichte über Landwirtschaft* 92 (3): 1-19.
- KRÖGER, R., J. R. KONERDING und L. THEUVSEN (2016a): Identifikation von Einflussfaktoren auf die Nutzung von Güllefeststoffen als Gärsubstrat in Biogasanlagen. In: *German Journal of Agricultural Economics* 65 (2): 112-131.
- KRÖGER, R., L. THEUVSEN und J. R. KONERDING (2016b): Güllefeststoffe als innovatives Gärsubstrat - wird die Kluft im Diffusionsprozess übersprungen? In: Kühl, R. et al. (Hrsg.): *Perspektiven für die Agrar- und Ernährungswirtschaft nach der Liberalisierung*. Schrift. der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V. Landwirtschaftsverlag, Münster: 93-104.
- KUCZERA, C. (2006): Der Einfluss des sozialen Umfeldes auf betriebliche Entscheidungen von Landwirten. *Kommunikation und Beratung*, Heft 71. Margraf, Weikersheim.
- LANTZ, M., M. SVENSSON, L. BJÖRNSSON und P. BÖRJESSON (2007): The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden - Incentives, barriers and potentials. In: *Energy Policy* 35:1830-1843.
- MAART-NOELCK, S. C. und O. MUBHOFF (2014): Measuring the risk attitude of decision-makers: are there differences between groups of methods and persons? In: *Australian Journal of Agriculture and Resource Economics* 58 (3): 336-352.
- MEIJER, S. S., D. CATAUTAN, O. C. AJAYI, G. W. SILESHI und M. NIEUWENHUIS (2015): The role of knowledge, attitudes and perceptions in the uptake of agricultural and agroforestry innovations among smallholder farmers in sub-Saharan Africa. In: *International Journal of Agricultural Sustainability* 13 (1): 40-54.
- MISHRA, D., B. R. GYAWALI, K. P. PAUDEL, N. C. POUDYAL, M. F. SIMON, S. DASGUPTA und G. ANTONIOUS (2018): Adoption of Sustainable Agriculture Practices among Farmers in Kentucky, USA. In: *Environmental Management* 62 (6): 1060-1072.
- MOHRMANN, S., M. DEUTSCH und C. SCHAPER (2021): Der Markt für Bioenergie. In: *German Journal of Agricultural Economics* 70 (Supplement): 103-127.



- MOHRMANN, S.; S. SCHUKAT und C. SCHAPER (2022): Der Markt für Bioenergie 2021/2022. In: *German Journal of Agricultural Economics* 71 (Supplement): 101-125.
- MOHRMANN, S. und V. OTTER (2021): Substratalternativen für die landwirtschaftliche Biogaserzeugung vor dem Hintergrund der Novellierung der Düngeverordnung und des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2021. In: KTBL (Hrsg.): *Biogas in der Landwirtschaft - Stand und Perspektiven*. KTBL-Schrift 524. Darmstadt: 262-266.
- MOLA-YUDEGO, B., I. DIMITRIOU, S. GONZALEZ-GARCIA, D. GRITTEN und P. ARONSSON (2014): A conceptual framework for the introduction of energy crops. In: *Renewable Energy* 72: 29-38.
- MOZZATO, D., P. GATTO, E. DEFRANCESCO, L. BORTOLINI, F. PIROTTI, E. PISANI und L. SARTORI (2018): The Role of Factors Affecting the Adoption of Environmentally Friendly Farming Practices: Can Geographical Context and Time Explain the Differences Emerging from Literature? In: *Sustainability* 10 (9): 3101.
- NUNNALLY, J. C. und I. C. BERNSTEIN (1994): *Psychometric theory*. McGraw-Hill, New York.
- PASCHER, P., U. HEMMERLING und S. STORK (2021): *Situationsbericht 2021/22. Trends und Fakten zur Landwirtschaft*. Deutscher Bauernverband, Berlin.
- REISE, C., O. MUBHOFF und GRANOSZEWSKI, K., SPILLER, A. (2012): Which factors influence the expansion of bioenergy? An empirical study of the investment behaviours of German farmers. In: *Ecological Economics* 73: 133-141.
- RODRIGUEZ, J. M., J. J. MOLNAR, R. A. FAZIO, E. SYDNOR und M. J. LOWE (2008): Barriers to adoption of sustainable agriculture practices: Change agent perspectives. In: *Renewable Agriculture and Food Systems* 24 (1): 60-71.
- ROGERS, E. M. (2003): *Diffusion of innovations*. Free Press, New York.
- SCHAPER, C., A. SPILLER und L. THEUVSEN (2010): Risikoneigung und Risikoverhalten von Milchzeugern: Eine Typologisierung. In: *Yearbook of Socioeconomics in Agriculture* 3: 157-193.
- SCHUKAT, S. und H. HEISE (2021): Smart Products in Livestock Farming—An Empirical Study on the Attitudes of German Farmers. In: *Animals* 11 (4): 1055.
- SCHULZE SCHWERING, D. und D. LEMKEN (2020): Totally Digital? Adoption of Digital Farm Management Information Systems. In: Gandorfer, M. et al. (Hrsg.): 40. GIL-Jahrestagung, Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier. *Lecture Notes in Informatics (LNI)*. Gesellschaft für Informatik e.V., Bonn: 295-300.
- SCHWARZ, B. *Schlussbericht Vorhaben EFFIGEST, FKZ 03KB081, Dresden, 2016.*
- SCHWARZ, B.; Pfeufer, D.; Balling, N.; Papendieck, J.; Schneider, P.; Hülsmann, M.; Adam, R.; Sonnenberg, N. *Verwertung strohbasierter Energiepellets und Geflügelmist in Biogasanlagen mit wärmeautarker Gärrestveredlung - STEP [Schlussbericht], 2019.*
- STEINHORST, M. P., J.-B. EMPL und E. BAHRS (2015): Interdependenzen zwischen Risikoeinstellungen und Entscheidungen in der Planung sowie im Betrieb von Biogasanlagen. In: *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.* 50: 339-351.
- VELTHEIM, F. R. VON und H. HEISE (2021): German Farmers' Attitudes on Adopting Autonomous Field Robots: An Empirical Survey. In: *Agriculture* 11 (3): 1-19.
- VISCUSI, W. K., O. R. PHILLIPS und S. KROLL (2011): Risky investment decisions: how are individuals influenced by their groups? In: *Journal of Risk and Uncertainty* 43: 81-106.
- VOGEL, T. (2019): *Wirtschaftlichkeit verschiedener Wertschöpfketten von halmgutbasierten Heizwerken mit Nahwärmenetzen (WVHH)*. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow-Prüzen.
- VOSS, J., C. SCHAPER, A. SPILLER und L. THEUVSEN (2009): Innovationsverhalten in der deutschen Landwirtschaft - Empirische Ergebnisse am Beispiel der Biogaserzeugung. In: *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.* 44: 379-391.
- WANG, L. und T. WATANABE (2016): Factors affecting farmers' risk perceptions regarding biomass supply: A case study of the national bioenergy industry in northeast China. In: *Journal of Cleaner Production* 139: 517-526.

- WELLNER, M. und L. THEUVSEN (2018): Community Supported Agriculture - Determinanten der Teilnahmebereitschaft deutscher Landwirte. Vortrag anlässlich der 58. Jahrestagung der GEWISOLA „Visionen für eine Agrar- und Ernährungspolitik nach 2020“, 2018, Kiel.
- WELLNER, K., L. THEUVSEN und H. HEISE (2019): Die Teilnahmebereitschaft deutscher Sauenhalter an der Initiative Tierwohl - wodurch wird sie beeinflusst? Vortrag anlässlich der 59. Jahrestagung der GEWISOLA „Landwirtschaft und ländliche Räume im gesellschaftlichen Wandel“, 2019, Braunschweig.
- WILLOCK, J., I. J. DEARY, M. M. MCGREGOR, SUTHERLAND A., G. EDWARDS-JONES, O. MORGAN, B. DENT, R. GRIEVE, G. GIBSON und E. AUSTIN (1999): Farmers' Attitudes, Objectives, Behaviors, and Personality Traits: The Edinburgh Study of Decision Making on Farms. In: Journal of Vocational Behavior 54 (1): 5-36.
- WINQUIST, E., P. RIKKONEN, J. PYYSIÄINEN und V. VARHO (2019): Is biogas an energy or a sustainability product? - Business opportunities in the Finnish biogas branch. In: Journal of Cleaner Production 233: 1344-1354.