

ERTRAGSSTEIGERUNG BEI BIOGASANLAGEN

PILOTANLAGE ZUR VORGESCHALTETEN HYDROLYSE – TEIL 2

Der vorliegende Text ist die Fortsetzung des in der Ausgabe September / Oktober 2008 erschienenen Artikels Ertragssteigerung bei Biogasanlagen.

Versuchsdurchführung

Nach dem Aufstellen des Containers auf der Bioabfallkompostierungsanlage wurden die Traversen entfernt. Somit war der Reaktionsraum offen und konnte mittels Radlader von oben befüllt werden. Pro Versuch wurden ca. 8,0 m³ Substrat in den Container gefüllt. Anschließend erfolgte die Befüllung des Heizkreislaufs mit Wasser. In die Pumpenschächte wurde Frischwasser (Erstversuch) bzw. eine Mischung aus Frischwasser und Perkolat eingefüllt. Danach wurde die externe Heizung an den dafür vorgesehenen Anschlüssen mit flexiblen Schläuchen verbunden und aktiviert. Eine Probe des Inputs wurde von jeder Charge genommen, um die genannten Parameter zu bestimmen. Die Temperatur im Reaktor wurde kontinuierlich gemessen und protokolliert. Nach der Befüllung wurde der Container mit einer Plane abgedeckt und die Zirkulationspumpe gestartet. Das Perkolat wurde im 24 Stunden Rhythmus beprobt. Nach Ende der Versuchslaufzeit wurde das Perkolat in Speicherbehälter abgepumpt und der Container durch Abkippen entleert. Dabei wurde eine Probe des Restes (Output) gezogen.

Die Versuche der Versuchsreihe V1

wurden für jeweils 48 Stunden durchgeführt. Die Versuchsreihen V2 und V3 wurden jeweils 10 bis 14 Tage durchgeführt. Dabei wurde nach 2 bis drei Tagen ein teilweiser Austausch des Perkolats durch Frischwasser vorgenommen um den Abbau der organischen Trockensubstanz bei einer Vergärung zu simulieren.

Zu Beginn der Versuche wurden Proben des Inputmaterials entnommen. Diese wurden zur Bestimmung der Dichte, Temperatur und der TS- und oTS-Gehalte verwendet (TS: Trockensubstanz, oTS: organische Trockensubstanz). Vor dem Austausch des Perkolats wurde ebenfalls eine Probe entnommen. Nach der Beendigung der Zugabe von Frischwasser wurde die nächste Probe gezogen. Nach der Beendigung des gesamten Versuches wurden sämtliche Werte auch beim Outputmaterial ermittelt. Die Bestimmung der Parameter erfolgte nach den Angaben des Methodenhandbuchs der Bundesgütegemeinschaft Kompost [9] und nach VDI Richtlinie 4630 [11]. Aus einem Versuch pro Versuchsreihe wurden Proben zur Bestimmung der Gasausbeute (GB 21) entnommen. Die Bestimmung des GB 21 erfolgte durch die Bauhaus-Universität Weimar.

- Volumen: überschlägliche Bestimmung durch Anzahl der Radladerschaufeln.
- Dichte: Befüllung eines Probeneimers mit

definiertem Volumen und Wägen.

- Masse: Auf Basis der Dichte und des Volumens.
- Trockensubstanz/Wassergehalt: Die Proben des Inputs, Perkolats und des Outputs wurden im Trockenschrank bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet (i.d.R. 24h).
- Organische Trockensubstanz: Die Trockensubstanz der Proben wurden im Muffelofen bei 550°C verglüht.
- pH-Wert: der pH-Wert wurde in 2 tägigen Intervallen gemessen

Ergebnisse

Es werden hier exemplarisch zwei Versuche ausgewertet: V1 Bioabfall und V3 mit Silomais. In Tabelle 1 sind die erhobenen Messwerte des In- und Outputs angegeben. Prinzipiell war bei allen Versuchen ein hoher Wassergehalt im Output zu verzeichnen, der ohne mechanische Behandlung auch nicht gesenkt werden konnte. Das Material nahm einen großen Teil des Zugabewasser-Perkolat-Mixes auf.

Tabelle 2 zeigt die Messwerte des Perkolats. Die Trockensubstanz und organische Trockensubstanzwerte sind nach einem und zwei Tagen relativ gleich. Eine rasche pH-Wert Absenkung wurde erreicht.

Tabelle 1: Parameter In- und Output V1

Vers.	V _{In} [m ³]	FS _{In} [t]	WG _{In} [% FS]	TS _{In} [% FS]	oTS _{In} [% TS]	V _{Out} [m ³]	FS _{Out} [t]	WG _{Out} [% FS]	TS _{Out} [% FS]	oTS _{Out} [% TS]
V1-1	8,5	4,0	69,1	40,9	49,5	8,5	5,4	62,6	37,4	47,3
V1-2	8,0	3,2	40,7	59,3	85,7	8,0	4,4	61,6	38,4	-
V1-3	8,0	2,6	63,2	36,8	72,5	8,0	3,2	68,7	31,3	-

Tabelle 2: Parameter Perkolat V1

Vers.	V _{Wasser} [m ³]	V _{Perkolat} [m ³]	TS _{Perk,24h} [% FS]	TS _{Perk,48h} [% FS]	oTS _{Perk, 24h} [% TS]	oTS _{Perk, 48h} [% TS]	pH _{24h} [-]	pH _{48h} [-]
V1-1	2,1	0,5	5,0	5,1	65,8	69,0	4,9	-
V1-2	2,0	0,9	3,9	3,8	67,4	65,8	5,1	5,3
V1-3	2,0	1,1	4,2	4,4	65,4	69,3	5,1	4,8

Tabelle 3: Gasbildungsraten V1 1

GB21	Spez. Gasbildung Probe 1 [NI/kg]	Spez. Gasbildung Probe 2 [NI/kg]	Spez. Gasbildung Probe 3 [NI/kg]	Mittelwert Proben 1-3 [NI/kg]	Standardabw. Proben 1-3 [NI/kg]	Spez. Gasbildung Ref. [NI/kg]
Input Tag 21	165,60	103,42	116,95	128,65	26,70	292,12
Input Tag 34	264,10	166,00	176,78	202,29	43,92	328,61
Output Tag 21	114,53	65,25	58,24	79,34	25,05	177,64
Output Tag 31	164,33	108,87	98,81	124,00	28,81	375,78
Perkolat Tag 21	-	236,73	282,97	259,85	23,12	444,39
Perkolat Tag 49	-	329,79	350,19	339,99	10,20	504,86

Tabelle 4: Gaszusammensetzung V1, Versuchstag 21

Mittelwert 3 Proben	CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	H ₂ [ppm]	H ₂ S [ppm]
Input	75,7	22,4	264,3	0,3
Output	48,3	36,9	1187,7	81,7
Perkolat	52,4	22,6	133,3	820,3

Die Gasbildungsdaten wurden nach VDI-Richtlinie 4630 bestimmt, allerdings wurden die Daten längere Zeit aufgenommen. Erwartungsgemäß waren die Gasbildungsdaten für das Perkolat am höchsten und die des Outputs am niedrigsten. Die Gasbildungsdaten des Input Bioabfalls liegen im Bereich 150 bis 600 m³/T oTS, ähnlich derer, die in der Literatur [8] genannt werden. Der Methangehalt ist höher als die Literaturwerte.

Die Abbildungen 1 bis 3 zeigen Gasbildungsdaten der einzelnen Teilströme. Der Input hat nach 21 Tagen noch nicht die Plateauphase erreicht, ebenso wenig wie das Perkolat.

Das Perkolat hat absolut die höchste Gasbildungsrate, allerdings ist auf Grund des geringen organischen Trockensubstanzgehalts die absolute Gasmenge als eher gering einzustufen.

Die Tabellen 5 und 6 zeigen die Analyseparameter der Hydrolyseversuche mit Mais. Auch hier war eine hohe Wasseraufnahme und rasche Versäuerung des Materials zu verzeichnen.

Tabelle 7 zeigt die Gasbildungsdaten der Teilströme des Silomais. Die relative Gasbildung des Outputs ist höher als die des Inputs; zusätzlich muss noch das Perkolat berücksichtigt werden. Alle Werte liegen im Bereich der Literaturwerte von 450 bis 700 m³/t oTS [8], [14]. Die Methangehalte liegen über den Literaturwerten.

Bei der Gaszusammensetzung fällt auf, dass das Biogas aus dem Perkolat die höchsten Schwefelwasserstoffgehalte aufweist.

Die Abbildungen 7 bis 9 zeigen die Gasbildungsdaten. In- und Output haben nach 21 Tagen die Plateauphase erreicht, das Perkolat schon nach 8 bis 9 Tagen.

Bild 1: Gasbildung V1 Input

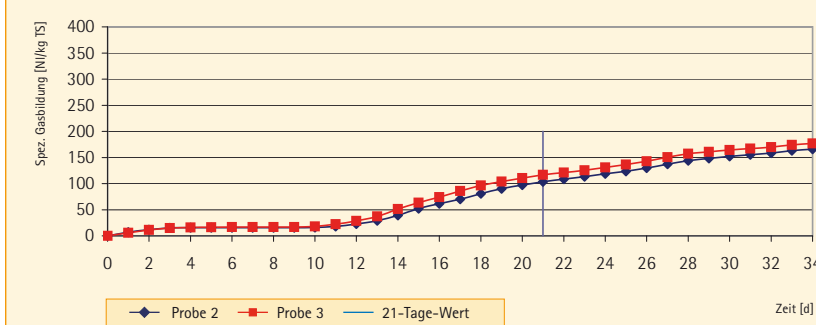


Bild 2: V1 Output

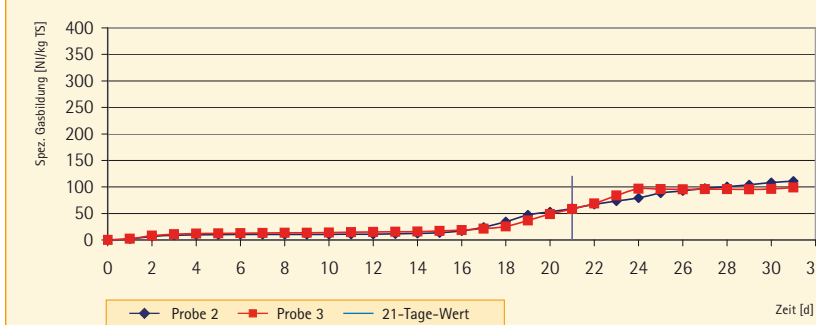


Bild 3: V1 Gasbildung V1 Perkolat

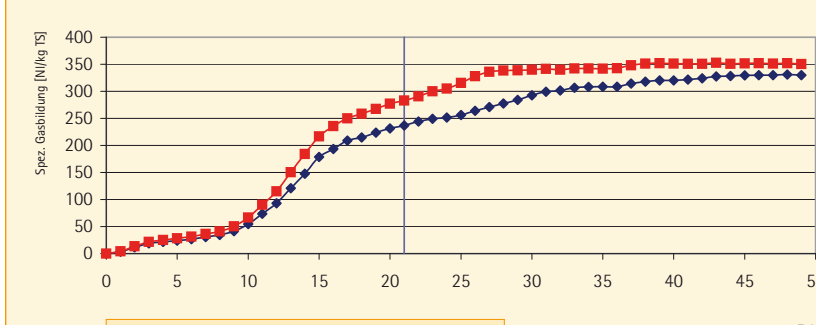


Tabelle 5: Parameter In- und Output V3

Vers.	V _{In} [m ³]	FS _{In} [t]	WG _{In} [% FS]	TS _{In} [% FS]	oTS _{In} [% TS]	V _{Out} [m ³]	FS _{Out} [t]	WG _{Out} [% FS]	TS _{Out} [% FS]	oTS _{Out} [% TS]
V3-1	8,0	2,0	66,0	34,0	95,2	8,0	4,0	83,0*	-	-
V3-2	4,0	1,2	67,9	32,1	95,2	4,0	2,0	80,0*	20,0	94,8*
V3-3	5,0	1,4	64,6	35,4	93,1	5,0	2,5	79,7*	20,3	94,1*

Tabelle 6: Parameter Perkolat V3

Vers.	V _{Wasser} [m ³]	V _{Perkolat} [m ³]	TS _{Perk,48h} [% FS]	oTS _{Perk, 48h} [% TS]	pH _{48h} [-]
V3-1	1,6	2,6	2,2	68,0	4,0
V3-2	1,9	2,3	1,9	64,7	4,9
V3-3	2,3	2,4	1,9	60,8	5,0

Schlussfolgerungen

In den Versuchen mit vorgeschalteter Hydrolyse fand keine Zerkleinerung der Inputmaterialien statt. Um das gesamte Biogaspotenzial nutzen zu können, ist es jedoch insbesondere beim Bioabfall bzw. langfasrigen nachwachsenden Rohstoffen erforderlich, eine robuste Zerkleinerungs- und Homogenisierungstechnik zu verwenden, um Verstopfungen in Rohrleitungen und Schwimmschichten dauerhaft zu verhindern. Dies könnte beim Bioabfall z.B. nach der Hydrolyse und vor Einbringung in den Fermenter geschehen.

Beim GB21-Versuch zur Bestimmung der Biogasausbeute für das Perkolat musste abgepuffert werden. Durch die hohe Säurebelastung im Perkolat ist der Batchversuch als nicht optimal einzustufen. Hier sollten Durchflussversuche mit geringeren Raumbelastungen durchgeführt werden.

Gegenüber Temperaturschwankungen ist die eingesetzte Hydrolyse unempfind-

lich. Bei den Versuchen wurde die Hydrolyse im Temperaturbereich von 35°C bis 55°C betrieben. Es waren jedoch keine Auswirkungen auf das System erkennbar. Daher scheint aus energetischen Gesichtspunkten eine Temperatur innerhalb der Hydrolyse von 40°C als vollkommen ausreichend.

Beim pH-Wert lässt sich mit zunehmender Hydrolysedauer auch eine Zunahme des pH-Werts verzeichnen. Dies könnte auf verlangsamte Säurebildung hinweisen, woraus sich auch kürzere Verweilzeiten (10-24h) in der Hydrolyse ableiten lassen. Dies ist jedoch stark substratabhängig. Der niedrigste pH-Wert lag beim Bioabfall bei 3,94 und beim Silomais bei 3,99 bereits nach 24 Stunden vor. Je nach Versuchsdauer stiegen die pH-Werte bei Bioabfall auf pH 5,35; 5,95 und 7,29 an. Beim Silomais liegen die Maximalwerte von pH 5,16 ebenfalls bei Versuchsende.

Die Hydrolyse wurde offen, d.h. aerob betrieben. Dadurch kam es zu keiner intensiven Geruchs- und Methanbildung.

Daraus ergeben sich Vorteile bei den Investitionskosten. Die aufwendige Reinigung bzw. Verbrennung des Hydrolysegases kann entfallen. Die Anforderungen an den Explosionsschutz müssen ebenfalls nicht erfüllt werden.

In einem Projekt des Fraunhofer Instituts wurde eine Hydrolyseeinheit getestet, bei welcher das eingesetzte Substrat gewaschen, zerkleinert und dann biologisch aufgeschlossen wurde. Dadurch erhöhte sich die Methanausbeute im Vergleich zu unbehandelten Substraten um 5 bis 20%-Punkte, wodurch eine höhere Gesamtwirtschaftlichkeit erreicht werden kann [11]. Beim Versuch V3 Maissilage lassen sich ähnliche Ergebnisse für die Gasbildung erkennen. Zusätzlich kann eine Erhöhung der Raumbelastung im Fermenter zur zusätzlichen Gasproduktion genutzt werden.

Bei der Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen, wie z.B. Silomais hat eine vorgeschaltete Hydrolyse ihre Berechtigung, da sie den absoluten Gasertrag

Tabelle 7: Gasbildungsraten V3

GB21	Spez. Gasbildung Probe 1 [NI/kg]	Spez. Gasbildung Probe 2 [NI/kg]	Spez. Gasbildung Probe 3 [NI/kg]	Mittelwert Proben 1-3 [NI/kg]	Standardabw. Proben 1-3 [NI/kg]	Spez. Gasbildung Ref. [NI/kg]
Input Tag 21	518,37	492,92	484,54	498,61	17,62	559,55
Input Tag 31	593,45	554,29	546,53	564,76	20,54	635,40
Output Tag 21	651,32	618,81	673,83	647,99	27,66	709,86
Output Tag 42	647,65	677,21	736,37	687,08	36,89	761,42
Perkolat Tag 8	602,21	518,91	291,42	470,85	160,88	677,65
Perkolat Tag 8	602,21	518,91	-	560,56	58,90	677,65
Perkolat Tag 19	410,73	392,99	392,34	398,68	10,43	725,00

Tabelle 8: Gaszusammensetzung V3, Versuchstag 21

Mittelwert 3 Proben	CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	H ₂ [ppm]	H ₂ S [ppm]
Input	66,9	30,0	58,2	25,7
Output	59,5	38,0	47,3	41,7
Perkolat (MW 2 Proben)	62,25	25,45	85	1619,5

des Inputs erhöhen kann. Andere Autoren [13] stellen ebenfalls fest, dass die Vorteile gegenüber der einstufigen Vergärung in Bezug auf geringere Verweilzeiten, höhere Biogasproduktion und einer stabileren Prozessführung technologisch umsetzbar sind. Wechselnde Substratzusammensetzungen haben bei Einsatz einer Hydrolyse geringeres Störpotential auf den biologischen Prozess. Bei einer Erhöhung der Durchsatzmenge kann mit einer Hydrolyse ein Fermentermeubau entfallen. Die Raumbelastung kann deutlich erhöht werden, ohne die Prozessstabilität zu gefährden. Allerdings bleibt eine genaue Gegenüberstellung der notwendigen Investitions- und Betriebskosten für eine Hydrolysestufe mit den jeweils unterschiedlichen Nutzungsvorteilen unabdingbar, um Fehlinvestitionen zu vermeiden.

ZU DEN AUTOREN:

► *Dr.-Ing. Matthias Klauß* ist Diplom-Bauingenieur und arbeitet seit 2000 in den Bereichen biologische Abfallbehandlung, erneuerbare Energien, Biogas und Photovoltaik. Er ist 1. Vorsitzender der DGS Sektion Thüringen und Mitglied des Fachausschusses Biomasse
 klauss@biovag.de

► *Dipl.-Ing. Jörg Matthes* ist Diplom-Bauingenieur und arbeitet seit 2005 in den Bereichen Biogas, Deponietechnik und Grundbau. Er ist Kassenwart der DGS Sektion Thüringen.
 matthes@biovag.de

Bild 4: Gasbildung V3 Input

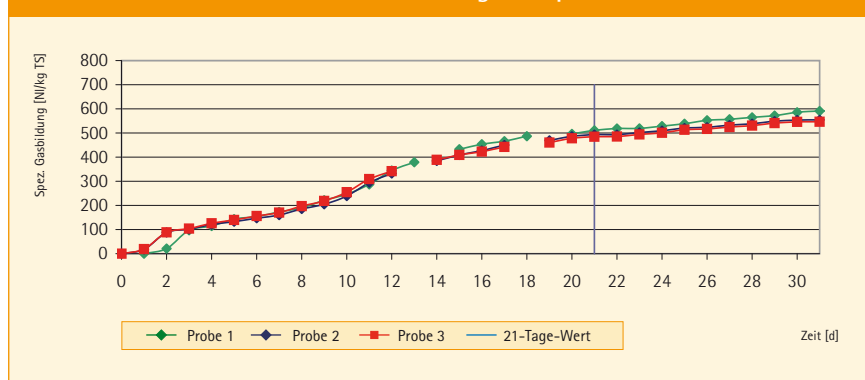


Bild 5: V3 Output

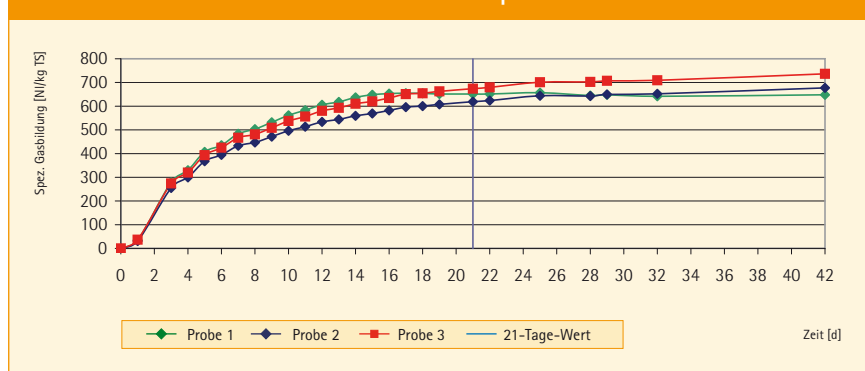
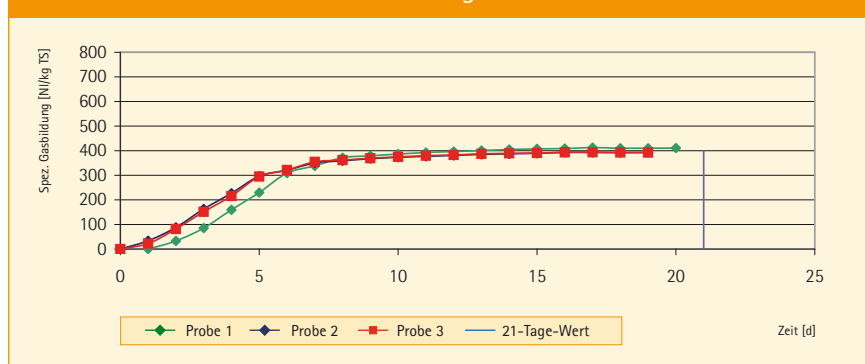


Bild 6: Gasbildung V3 Perkolat



Quellen

- [1] BMU 2007: Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung - Stand 2007, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Referat Öffentlichkeitsarbeit 11055 Berlin (Hrsg.)
- [2] FVB 2008: Anlagenstatistik des Fachverbandes Biogas e.V., September 2007.
- [3] Reinhold, G. (2006): Substrateinsatz, Düngungsfragen und Entwicklungstendenzen. Fachtagung Biogas der Arbeitsgruppe Biogas beim TBV e.V., Nordhausen, 13.06.2006
- [4] Gerhardt, M.; Pelenc, V.; Bäuml, M. Der Einsatz hydrolytischer Enzyme in der landwirtschaftlichen Biogasproduktion: Ergebnisse aus der Praxis. Fortschritt beim Biogas, Internationale Konferenz, Stuttgart 18.-21. September 2007.
- [5] Kaiser, F.; Metzner, T.; Effenberger, M.; Gronauer, A. (2007): Sicherung der Prozessstabilität in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan (Hrsg.).
- [6] Weiland, P. (2001) Grundlagen der Methangärung - Biologie und Substrate. In: Biogas als regenerative Energie - Stand und Perspektiven, VDI-Bericht 1620, VDI-Gesellschaft Energietechnik (Hrsg.), VDI-Verlag, Düsseldorf.
- [7] Gleixner, A.J. (2005): Voraufbereitung durch Separierung und Hydrolyse. 2. Norddeutsche Biogastagung, Hildesheim 10.06.2005.
- [8] FNR (2004): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. Gülzow (Hrsg.), Leipzig 2004.
- [9] BGK (1994): Methodenbuch zur Analyse von Kompost. Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (Hrsg.), Verlag Abfall Now Stuttgart 1994.
- [10] VDI 4630 (2006): Vergärung organischer Stoffe: Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Richtlinie des Vereins deutscher Ingenieure. April 2006.
- [11] Friedrich, E. (2007): Effizienzsteigerung durch Substrataufbereitung. Fraunhofer Institut; Abteilung Umweltverfahrenstechnik; In: Effiziente Biogaserzeugung am 09.10.2007 in Triebischtal OT Groitzsch.
- [13] Busch, G., et al. (2008): Die zweistufige Vergärung biogener Abfälle. In: Müll und Abfall 02/2008, S.68-73.
- [14] KTBL (2005): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).