

Logistik rund um die Biogasanlage

KTBL-Schrift 498



Autoren

Dr. Michaela Bach | PD Dr. Joachim Brunotte | Dr. Markus Demmel | Helmut Döhler
Prof. Dr. Rainer Duttmann | Dr.-Ing. Norbert Fröba | Prof. Dr. Jürgen Hahn | Uwe Häußermann
Torsten Heep | Günter Heitmann | Prof. Dr.-Ing. Hermann J. Knechtges | Ursula Roth
Dr. Johannes Sonnen | Dr. Rainer Tölle

In Zusammenarbeit mit der KTBL-Arbeitsgruppe „Biomasselogistik“

Für Entscheidungen, die auf Basis der Angaben in der Schrift getroffen werden und deren Folgen schließt das KTBL jegliche Haftung aus.

© 2013

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt
Telefon (06151) 7001-0 | Fax (06151) 7001-123
E-Mail: ktbl@ktbl.de | www.ktbl.de

Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung von Texten und Bildern, auch auszugsweise, ist ohne Zustimmung des KTBL urheberrechtswidrig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Redaktion

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Hahn | HU Berlin
Dr.-Ing. Norbert Fröba, Werner Achilles | KTBL

Lektorat

Monika Pikart-Müller | KTBL

Titelfoto

Häbler | Berlin

Vertrieb

KTBL | Darmstadt

Druck

Silber Druck oHG | Niestetal

Printed in Germany

ISBN 978-3-941583-75-7

Vorwort

Nach Angaben der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe wurden im Jahre 2011 in Deutschland auf etwa 800 000 ha Pflanzen für Biogasanlagen angebaut. Bei einem Ertrag von 45 t Frischmasse/ha und einer mittleren Transportentfernung von 7,5 km ist in der Erntezeit mit einer Transportarbeitsmenge von rund 270 Mio tkm zu rechnen. Für den Transport und die Ausbringung von Gärresten aus den betreffenden Biogasanlagen sind ähnlich hohe Aufwendungen erforderlich. Besonders die immer häufiger entstehenden großen Biogasanlagen mit elektrischen Leistungen über 500 kW stehen vor der Aufgabe, umfangreiche Transportarbeiten in kleinen Zeitfenstern zu erledigen.

Die KTBL-Arbeitsgruppe „Biomasselogistik“ hat für die Bewältigung der komplexen Herausforderung der Versorgung mit Substraten und der Abgabe der Gärreste von Biogasanlagen Hintergrundinformationen auf der Grundlage des aktuellen Erkenntnisstandes in Wissenschaft und Praxis zusammengestellt.

Die vorliegende Schrift befasst sich ausführlich mit den arbeitswirtschaftlichen und ökonomischen Aspekten der Biomasselogistik rund um die Biogasanlage. Zur Gewährleistung der Produkt- und Prozessqualität behandelt sie auch die Kriterien zu den rechtlichen Rahmenbedingungen, der Fahrzeugtechnik, der Wegestruktur, der Informationstechnik, der sozialen Akzeptanz, des Bodenschutzes und der Klimawirkung.

Wir sind überzeugt, dass landwirtschaftliche Betriebe, Lohnunternehmen, Maschinengemeinschaften und Berater, aber auch Lehrende und Lernende daraus vielfältigen Nutzen ziehen werden im Sinne der Transportrationalisierung und gleichermaßen zur Schonung der Umwelt.

Unser Dank und unsere Anerkennung gilt den ehrenamtlich tätigen Experten der KTBL-Arbeitsgruppe „Biomasselogistik“, die diese Schrift ermöglicht und deren Qualität gesichert haben.

Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

DR. HEINRICH DE BAËY-ERNSTEN
Hauptgeschäftsführer

Inhalt

1	Einführung.....	9
	JÜRGEN HAHN, NORBERT FRÖBA	
1.1	Verfahrenstechnische Grundlagen.....	9
1.2	Anbaufläche	11
1.3	Transportentfernungen	11
2	Verkehrsrechtliche Rahmenbedingungen.....	14
	GÜNTER HEITMANN, NORBERT FRÖBA	
2.1	Fahrerlaubnis - Führerschein.....	14
2.2.	Zulässige Massen von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen	16
2.3	Zulässige Abmessungen von Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen	18
2.4	Technische Überwachung von Fahrzeugen	19
2.5	Transporte mit Traktorzug.....	19
2.6	Transporte mit Lkw-Gliederzug oder -Sattelzug	20
2.7	Ladungssicherung.....	21
3	Fahrzeugtechnik	23
	HERMANN J. KNECHTGES, MARKUS DEMMEL, NORBERT FRÖBA	
3.1	Transportfahrzeuge für Häckselgut.....	23
3.1.1	Fahrwerk	23
3.1.2	Entladetechnik.....	23
3.1.3	Anhängung.....	27
3.1.4	Lenkung und Fahrsicherheit.....	27
3.1.5	Dolly-Anhänger	28
3.1.6	Bewertungsmatrix für Transportfahrzeuge	30
3.2	Ladungssicherung (Ladegutabdeckung).....	31
3.2.1	Bauarten.....	31
3.2.2	Bewertungsmatrix für Ladungsabdeckungen.....	32
3.3	Maschinen zum Siliergutumschlag	33
3.3.1	Bauarten.....	33
3.3.2	Bewertungsmatrix für Maschinen zum Siliergutumschlag	34
3.4	Verteil- und Verdichtungsfahrzeuge	35
3.4.1	Bauarten.....	35
3.4.2	Bewertungsmatrix für Verteil- und Verdichtungsfahrzeuge	37

4	Straßen und Wege.....	39
	NORBERT FRÖBA, TORSTEN HEEP	
4.1	Einführung.....	39
4.2	Ausbaustand ländlicher Wege.....	39
4.2.1	Verbindungswege.....	39
4.2.2	Feldwege	40
4.2.3	Knotenpunkte, Brücken und Unterführungen.....	40
4.3	Überarbeitung der RLW.....	41
4.4	Fazit.....	41
5	Soziale Akzeptanz landwirtschaftlicher Transporte.....	43
	HERMANN J. KNECHTGES	
5.1	Ausgangssituation	43
5.2	Art der Freizeitnutzung und Konfliktursachen.....	43
5.3	Lösungsansätze zur Konfliktvermeidung.....	46
5.3.1	Allgemeines	46
5.3.2	Information als Basis der Kommunikation.....	46
5.4	Fazit.....	48
6	Bodenschonendes Befahren bei der Silomaisernte	49
	JOACHIM BRUNOTTE	
6.1	Gesetzlicher Rahmen und Status quo	49
6.2	Handlungsempfehlungen.....	51
6.3	Planung und Erfolgskontrolle beim Einsatz schwerer Maschinen.....	52
6.3.1	Technische Daten und Überrollungen beim Silomaisanbau.....	55
6.3.2	Erfolgskontrolle der eingesetzten Verfahren	56
6.3.3	Silomaisernte bei hoher Verdichtungsempfindlichkeit von Böden.....	60
6.4	Fazit.....	60
7	Befahrungsaktivität bei der Silomaisernte	63
	RAINER DUTTMANN, MICHAELA BACH, JOACHIM BRUNOTTE	
7.1	Einleitung	63
7.2	Untersuchungsgebiet und Methoden.....	63
7.3	Erntebezogener Transportverkehr auf Straße und Feld	65
7.4	Spurflächenanteile und Überrollhäufigkeiten am Beispiel eines Schlages	67
7.4.1	Räumliche Verteilung der Spurflächen und Überrollungen am Beispiel eines Schlages	68
7.4.2	Räumliche Verteilung der Bodenbelastung für eine Ernte- und Transportfahrt bei der Silomaisernte auf Schlag 1.....	70
7.5	Fazit.....	72

8	Verdichtung als Grundlage guter Silagequalität	74
	RAINER TÖLLE, JÜRGEN HAHN	
8.1	Problem und Eingrenzung.....	74
8.2	Verdichten von Siliergut.....	74
8.3	Produktqualitätsmanagement	79
8.3.1	Methoden zur Bestimmung der Lagerungsdichte	79
8.3.2	Fahrerinformationssystem.....	81
8.4	Fazit.....	82
9	Arbeitswirtschaft und Kosten.....	84
	NORBERT FRÖBA, MARKUS DEMMEL	
9.1	Einführung.....	84
9.2	Rahmenbedingungen.....	84
9.3	Verfahrens- und Mechanisierungsvarianten	86
9.4	Ergebnisse	89
9.4.1	Variation der Leistungsfähigkeit der Häckselketten	89
9.4.2	Trennung von Feld- und Straßentransport	91
9.4.3	Limitierte Zahl von Transporteinheiten	97
9.4.4	Variation der Leistungsfähigkeit der Gärrestausbringung.....	99
9.4.5	Zentrale oder dezentrale Lager	101
9.5	Fazit.....	105
10	Treibhausgasemissionen und Treibhausgasminderungskosten	107
	UWE HÄUSSERMANN, URSULA ROTH, HELMUT DÖHLER	
10.1	Annahmen und Varianten	107
10.2	Ergebnisse	108
10.2.1	Logistikvarianten	108
10.2.2	Konsequenzen für Treibhausgasemissionen und Treibhausgasminderungskosten der Biogaserzeugung	110
10.3	Fazit.....	113
11	Information und Dokumentation	114
	Jürgen Hahn, Johannes Sonnen	
11.1	Begriffe.....	114
11.2	Gestaltung von Ernteprozessketten	114
11.3	Softwarelösungen für die Informationslogistik	115
11.4	Fazit.....	118
12	Zusammenfassung.....	120
	JÜRGEN HAHN	

A1	Arbeitszeitbedarf und Kosten der Silomaisernte in Abhängigkeit von Schlaggröße und Ertrag.....	123
	NORBERT FRÖBA	
A1.1	Variation der Schlaggröße.....	123
A1.2	Variation des Ertrages	124
A2	Auf maximal fünf Transporteinheiten limitierte Transportfahrzeuge	127
	NORBERT FRÖBA	
	Anschriften der Autoren.....	129
	KTBL-Veröffentlichungen	130
	aid-Veröffentlichungen	132

1 Einführung

JÜRGEN HAHN, NORBERT FRÖBA

1.1 Verfahrenstechnische Grundlagen

Die Logistik für Biogasanlagen muss sicherstellen, dass die Gutströme zeitgerecht, verlustarm, kostengünstig, umweltverträglich und unfallfrei bewältigt werden. Hauptprozess im gegebenen Zusammenhang ist die Methanbildung im Biogasfermenter. Die Hilfsprozesse der Ver- und Entsorgung sind so zu gestalten, dass der Hauptprozess bei minimalen Energieverlusten und Aufwendungen bestmöglich unterstützt wird. In dem Maße, wie die Kapazität der Biogasanlagen steigt und Energiepflanzen zum Hauptbestandteil der Fermenterinputs werden, wachsen die Ansprüche an die Ver- und Entsorgungsketten der Anlagen (Abb. 1.1).

Wegen des saisonalen Aufkommens der Energiepflanzen enthalten die Erntetransportketten stets Lagerungs- und Konservierungsglieder. Deren räumliche Einordnung und Gestaltung entscheiden in hohem Maße über Aufwendungen und Qualitätssicherung für die Versorgungsketten. Es bleiben aber immer noch Spielräume für die Standortzuordnung der Flachsilo und damit die Entscheidung, ob das Konservat an der Biogasanlage (zentral) oder in Feldnähe (dezentral) gelagert wird. Werden zusätzlich die Belange der Bodenschonung berücksichtigt, dann kann am Feldrand ein weiterer Umschlagvorgang erforderlich werden; aus einphasigen Transporten vom Aufkommens- zum Bedarfsort werden zwei- oder mehrphasige Lieferketten.

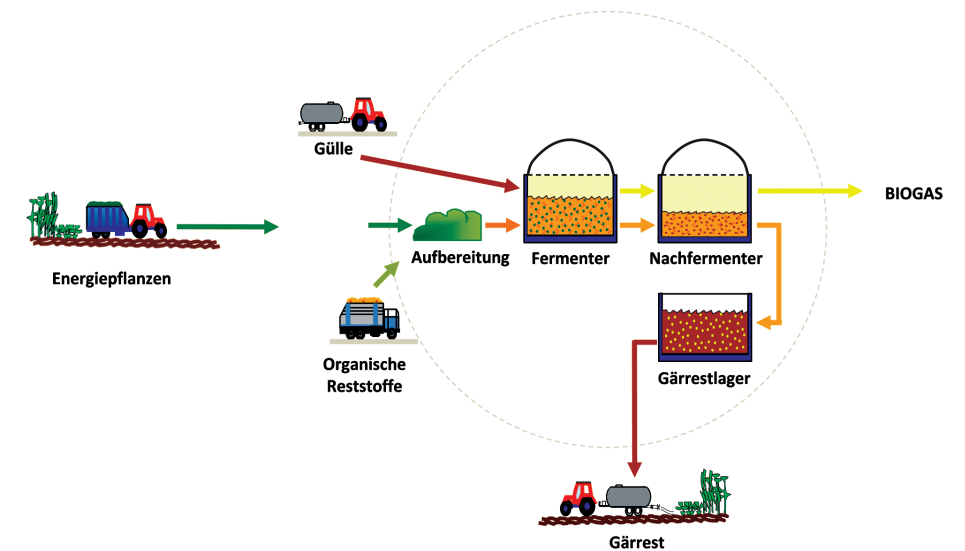


Abb. 1.1: Ver- und Entsorgung einer Biogasablage (Quelle: Heiermann 2011)

6 Bodenschonendes Befahren bei der Silomaisernnte

JOACHIM BRUNOTTE

6.1 Gesetzlicher Rahmen und Status quo

Der Boden ist nicht nur Standort für Kulturpflanzen, sondern dient im Rahmen von Bodenbearbeitung, Bestellung, Bestandesführung und Ernte auch als Fahrbahn. Vor dem Hintergrund von Bodenschutz steht die Ernte von Silomais und die Ausbringung von Gärsubstrat im Fokus. Nach § 17 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) ist der Landwirt zur Einhaltung guter fachlicher Praxis verpflichtet, indem er die Bodenfruchtbarkeit und Leistungsfähigkeit des Bodens nachhaltig zu sichern hat. Da bei der Silomaisernnte durch das Ernteverfahren mit parallel fahrenden Transportfahrzeugen eine intensive Befahrung des Ackers erfolgt, wird in § 17 folgender Parameter hauptsächlich tangiert: „Bodenverdichtungen sollen, insbesondere durch Berücksichtigung der Bodenart, der Bodenfeuchtigkeit und des von den zur landwirtschaftlichen Bodennutzung eingesetzten Geräten verursachten Bodendruckes, so weit wie möglich vermieden werden“ (BMU 1998).

Bei der Ausformulierung von Leitsätzen zur guten fachlichen Praxis ist darauf zu achten, dass sie wissenschaftlich als abgesichert gelten und wirtschaftlich tragbar sind.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen mechanischer Belastung, der Beanspruchung und der Verformung des Bodens (Abb. 6.1). Bei plastischer Verformung entsteht eine Bodenverdichtung.

Die *mechanische Belastung* wird mit der Radlast in kN (10 kN = 1 t) oder mit dem Kontaktflächendruck in der Berührungsfläche Reifen/Boden in kPa (100 kPa = 1 bar) angegeben. Die Folgen

einer Belastung während des Befahrens sind mechanische Spannungen im Boden – die *Bodenbeanspruchung* (SÖHNE 1953). Der Verlauf der Spannungen im Boden wird mit Linien gleichen Bodendruckes (= Druckzwiebeln) gekennzeichnet. Übersteigt die Beanspruchung die Eigenstabilität des Bodengefüges, kommt es zu einer Änderung der Bodenstruktur. Werden bei den Bodenfunktionen die im Folgenden beschriebenen Schwellenwerte unterschritten, liegt eine *Schadverdichtung* vor.

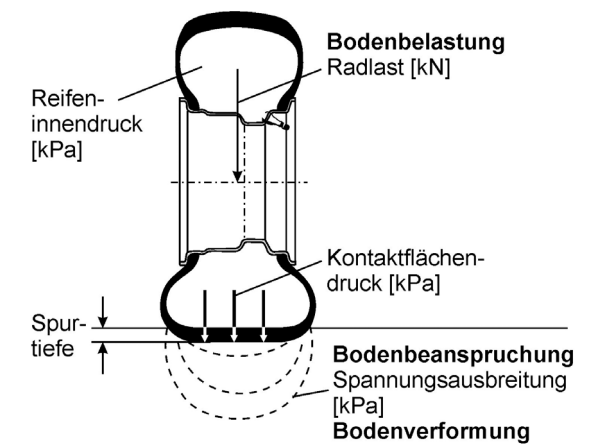


Abb. 6.1: Bodenbelastung, Bodenbeanspruchung und Bodenverformung (bei plastischer Verformung entsteht eine Bodenverdichtung) unter einem Rad (SOMMER 1984)

Dagegen werden bei einer elastischen Verformung die Bodenfunktionen nur kurzfristig modifiziert, da dieser Vorgang reversibel ist. Erfolgt jedoch eine bleibende Setzung, liegt in der Regel eine irreversible plastische Verformung vor.

Bodengefügeschäden im Unterboden entstehen immer dann, wenn drei Schwellenwerte gleichzeitig unterschritten sind (LEBERT et al. 2004):

- Luftkapazität < 5 Vol.-% (Laborparameter)
- Gesättigte Wasserleitfähigkeit < 10 cm/d (Laborparameter)
- Packungsdichte der Stufe 4 und 5 (Feldgefügeansprache)

Mit der Packungsdichte wird eine integrierende Bodeneigenschaft bezeichnet, die Gefügeeigenschaften in Abhängigkeit vom Grad der Kompaktheit oder Lockerheit zusammenfasst und im Feld sensorisch ermittelt wird.

Der Unterbodenverdichtung muss besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, da weder Frost noch mechanische Bodenlockerung eine nachhaltige Reparatur herbeiführen können.

Bodendauerbeobachtungsflächen, Statuserhebungen und anwendungsorientierte Feldversuche (ARVIDSSON et al. 2000, BRUNOTTE et al. 2000/2008, BRANDHUBER et al. 2001) helfen, die Brisanz und Verbreitung von Schadverdichtungen zu beurteilen. Es werden

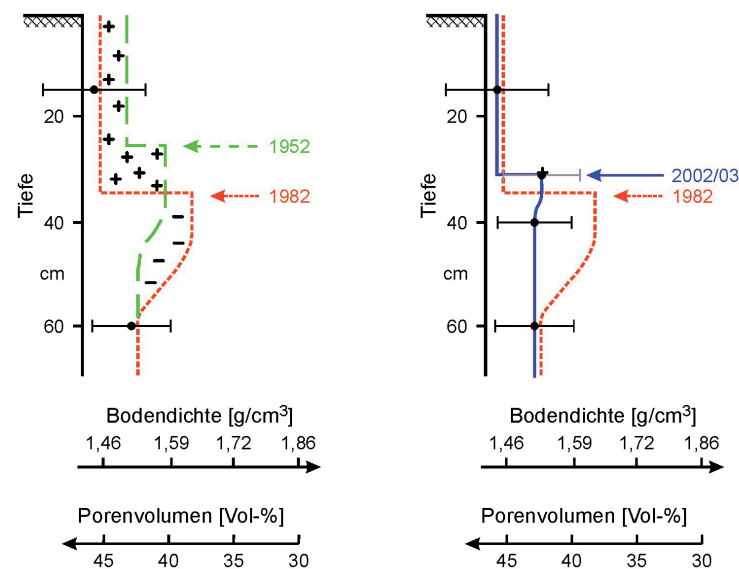


Abb. 6.2: Bodendichte oder Porenvolumen als Funktion der Bodentiefe (150 Standorte in Südniedersachsen in den Jahren 1952, 1982 sowie 2002/03). Bis zur Tiefe von 35 cm war die gemessene Bodendichte 1952 höher (+) und unter 35 cm niedriger (-) als bei den Messungen 1982

der Status der Bodenstruktur über einen längeren Zeitraum und die Direktwirkungen (im Jahr nach der Belastung) oder die Nachwirkungen (in den darauffolgenden Jahren) anhand von bodenphysikalischen und pflanzenbaulichen Parametern ermittelt. Auch sind sie die Grundlage für die Ausgestaltung von Handlungsempfehlungen zum vorsorgenden Bodenschutz.

Beispielhaft sei anhand der Bodendichte die Landbewirtschaftung über 50 Jahre für Südniedersachsen aufgezeigt (Abb. 6.2).

Nach 30 Jahren Bewirtschaftung stellte RUHM (1983) in der Krume ein lockeres Gefüge fest, da durch neue Gerätekombinationen eine Vielzahl von Fahrspurüberrollungen eingespart wurden. Allerdings wurde eine tiefer liegende ausgeprägte Furchenradschleife festgestellt, da die Krumenvertiefung mitunter bei feuchten Bodenbedingungen mit hohem Schlupf erfolgte. Nach insgesamt 50 Jahren quantifizieren BRUNOTTE et al. (2008) keine Veränderung in der Ackerkrume, sehr wohl aber eine Entspannung in der Krumenbasis – flacheres Arbeiten, technische Detailverbesserungen und der zunehmende Anteil konservierender Bodenbearbeitung sind dafür verantwortlich. Dies bestätigen auch die durchgeführten Leitfähigkeitsmessungen in Verbindung mit einer Feldgefügeansprache.

6.2 Handlungsempfehlungen

Für die Ableitung von Handlungsempfehlungen ist der Entscheidungsbaum in Abbildung 6.3 hilfreich, der die Einflussfaktoren und die Zielsetzung mit Lösungsansätzen zusammenfasst.

§ 17 BBodSchG fordert die Verringerung des Bodendruckes. Dies kann mithilfe von 3 Strategien erfolgen:

- acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen
- technische Möglichkeiten
- Veränderung von Arbeitsverfahren