

## Verfahren zum Transport von Biomasse



**Nr. II – 6/2010**

---

Zusammengestellt für die Arbeitsgruppe II (Substratbereitstellung) im „Biogas Forum Bayern“ von:



**Georg Döring**

Claas Vertriebsgesellschaft GmbH



**Andreas Schilcher**

**Martin Strobl**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik



**Roland Schleicher**

Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Schwandorf



**Martin Seidl**

Fachverband Biogas e.V.



**Johann Mitterleitner (posthum)**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung



# Verfahren zum Transport von Biomasse

## 1. Einleitung

Die Erzeugung von Energie aus nachwachsenden Rohstoffen hat innerhalb der letzten Jahre einen rasanten Ausbau erfahren, überwiegend verursacht durch das EEG. Dieses garantiert langfristig die Einspeisevergütung von Strom und gilt als sichere Planungsgrundlage für Investitionen. Die Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage wird sehr stark von der eingespeisten Energiemenge (Strom und Wärme) sowie den Bereitstellungskosten der eingesetzten Substrate bestimmt. Zu den überwiegend verwendeten Substraten zählen Wirtschaftsdünger (z.B. Gülle) und nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) von landwirtschaftlichen Flächen (z. B. Mais, Ganzpflanzensilage oder Grünland-Aufwuchs). Bei den NawaRo entfällt ein Großteil der Substratbereitstellungskosten auf die eigentlichen Produktionskosten und die Biomasse-Erntelogistik. Die Biomasse-Erntelogistik besteht dabei aus der Ernte, dem Transport und der Einlagerung. Der Fokus dieses Beitrags liegt auf dem Transport der Biomasse. Der Beitrag soll als Grundlage dienen, um den für den Betrieb einer Biogasanlage notwendigen Biomasse-Transport bereits im Vorfeld, während der Planungsphase, kritisch zu durchleuchten. Hierzu zählen neben ökonomische auch organisatorische Aspekte zum Ablauf und die Abstimmung der einzelnen Bereiche der Biomasse-Erntelogistik aufeinander. Im Detail wird auf die Einlagerung (vgl. Kapitel 3, Seite 3) und den Transport (vgl. Kapitel 4, Seite 4 eingegangen).

## 2. Begriff und Einflussfaktoren der Erntelogistik

Aktuell werden in üblichen Biomasse-Ernteverfahren etwa 50 Prozent der Arbeitszeit mit Transportieren verbracht. Bei heutigen Häckslleistungen und üblichen Feld-Silo-Entfernungen fährt ein Schlepper häufig nur 15 Prozent auf dem Acker, die restlichen 85 Prozent auf der Straße. Für eine genaue Betrachtung und dem Vergleich verschiedener Verfahren ist eine Unterteilung der Ernteketten auf verschiedene Kettenglieder hilfreich.

Abbildung 1 veranschaulicht diese Unterteilung am **Begriff der Mais-Erntelogistik**. Die Betrachtung beginnt beim „stehenden Bestand“. Ausgeklammert sind daher der Aufwand und die Kosten zur Produktion der Biomasse. Ebenfalls unberücksichtigt bleibt die eigentliche Lagerhaltung. Die Mais-Erntelogistik konzentriert sich demnach auf die drei Glieder der Logistik-Kette (Ernte, Transport sowie Einlagerung der Biomasse).

Werden aktuell übliche Ernteverfahren betrachtet, hängen diese drei Kettenglieder unmittelbar zusammen: Die vom Feldhäcksler zerkleinerte Maismenge muss direkt vom Transportfahrzeug abtransportiert werden und im Silo möglichst direkt eingelagert werden. Es gibt keine (Häcksler-Transportfahrzeug) oder nur geringe (Transport-Einlagerung) Pufferkapazitäten zwischen den einzelnen Kettengliedern. Ist die Leistung der einzelnen Bereiche nicht aufeinander abgestimmt, führt dies zu Verlusten bezüglich der Ernteleistung oder der Silagequalität.

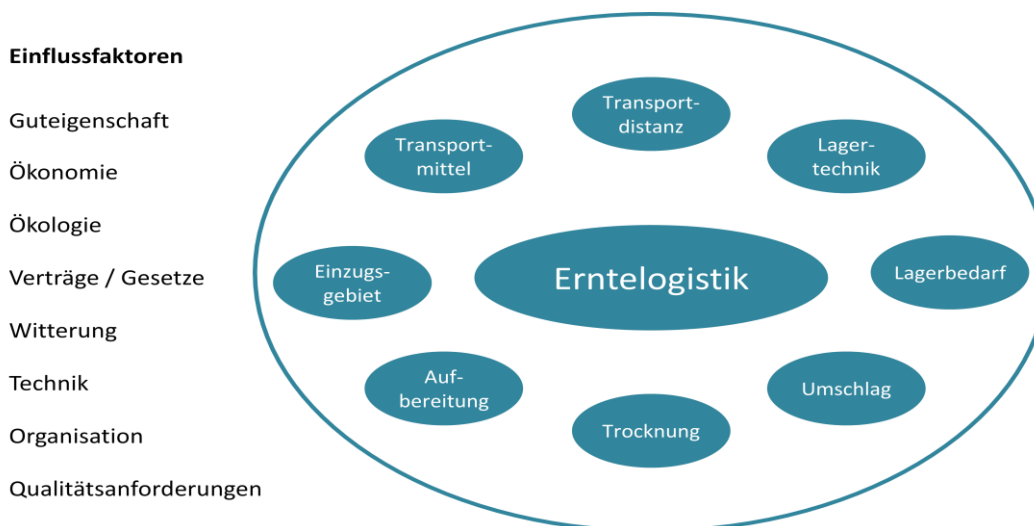
Abbildung 1: Biomasse-Erntelogistik



Quelle: (Strobl, 2009, S. 7)

Natürlich sind nicht alle Parameter einer Erntelogistik durch eine ausführliche Planung und Organisation beeinflussbar. Unveränderbare und damit hinzunehmende **Einflussfaktoren** wie die Witterung sind ebenso gewichtig wie Anforderungen an Verträge, Gesetze, die Ökologie oder die Guteigenschaften der geernteten Biomasse (vgl. Abbildung 2). Nicht hinzunehmen sind hingegen die Wahl sowie die Organisation und Abstimmung der Erntetechnik. Beides spielt für eine möglichst wirtschaftliche Ernte eine erhebliche Rolle. Da die betrieblichen Voraussetzungen häufig nicht übertragbar sind, muss sich diese meist überbetrieblich eingesetzte Ernte-, Transport- und Einlagerungstechnik individuell angepasst oder zusammengestellt werden können. Neben der Größe der Erntetechnik ist die Abstimmung mit für den Erfolg entscheidend, um Wartezeiten auf dem Feld, auf der Straße oder im Lager zu vermeiden und eine hohe Qualität des Erntegutes zu sichern.

Abbildung 2: Einflussfaktoren und Fragestellungen der Erntelogistik



Quelle: nach (Döring, 2009)

### 3. Einlagerung

Getrieben durch einen leistungsstarken Feldhäcksler, unterstützt durch leistungsstarke Transportfahrzeuge kann die Einlagerung in einer Erntelogistik zum begrenzenden Faktor werden. Die Einlagerung darf aus technischer Sicht die Erntekette aber nicht zum Stillstand kommen lassen. Die Fahrzeuge zum Festwalzen im Silo benötigen daher ausreichend Schubkraft und Gewicht. Mit entscheidend ist aber auch das Können des Fahrers. In Abbildung 3 wird der Zusammenhang zwischen Ernteleistung und verfügbare Walzzeit dargestellt und mit einem Beispiel erläutert.

Um im Lager eine optimale Verdichtung zu erreichen, sollte folgende Regeln beachtet werden:

- Schwerer Walzschlepper ohne Zwillingsreifen (Quelle: Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein)
- Reifendruck 2 bar (Quelle: Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein)
- Max. 30 cm Schichtdicke zum Walzen (gleichmäßige Verteilung über Ladewagen oder Radlader)
- 4 km/h Walzgeschwindigkeit bei mindestens 3 Überfahrten
- 1-2 Minuten Verdichtungsaufwand pro Tonne Frischmasse
- Mindestens 0,5 bis 1 h Nachwalzen, je nach TS-Gehalt

Bei großer Ernteleistung des Häckslers (>80t/h) und dazugehöriger Transporteinheiten bzw. geringer Hof-Feld-Entfernung sind 2 Walzschlepper mit Schiebeschildern und Verteilern notwendig.

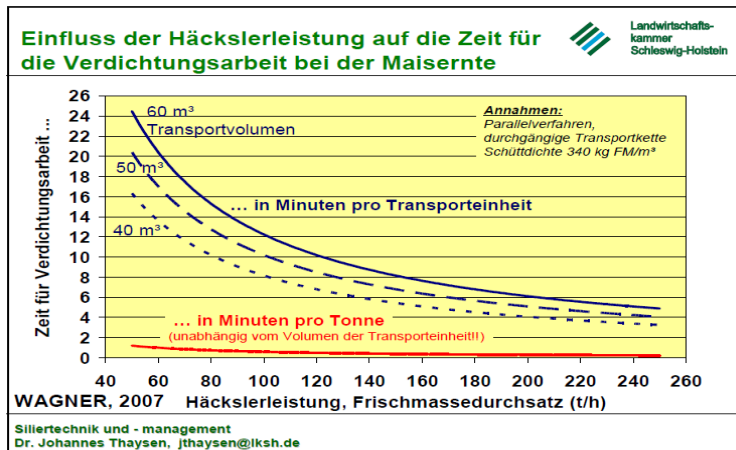
Als Richtwert werden in der Praxis vermehrt Faustzahlen zur Bestimmung des notwendigen Walzgewichtes des oder der Walzfahrzeuge eingesetzt. Die Faustformel differenziert dabei zwischen einer Erntekette mit Ladewagen (vgl. Formel 1) und einer Erntekette mit Feldhäcksler (vgl. Formel 2):

$$(1) \text{ Faustzahl (Ladewagen): Walzschleppergewicht [t]} = \frac{\text{Bergeleistung [t/h]}}{3}$$

$$(2) \text{ Faustzahl (Häckselkette): Walzschleppergewicht [t]} = \frac{\text{Bergeleistung [t/h]}}{4}$$

Laut Faustformel müsste das Walzfahrzeug bei einer Häckslerleistung von 80 Tonnen Frischmasse/ha/Stunde ein Gewicht von 20 Tonnen aufweisen. Eine Ladewagen-Erntekette mit vergleichbarer Ernteleistung sollte im Silo dagegen knapp 27 Tonnen Walzgewicht zur Verfügung haben, weil hier mehr Luft aus dem Siliergut gepresst werden muss.

Abbildung 3: Einfluss der Häckselleistung auf die Verdichtung bei der Einlagerung (mit Beispiel)

**Beispiel:**

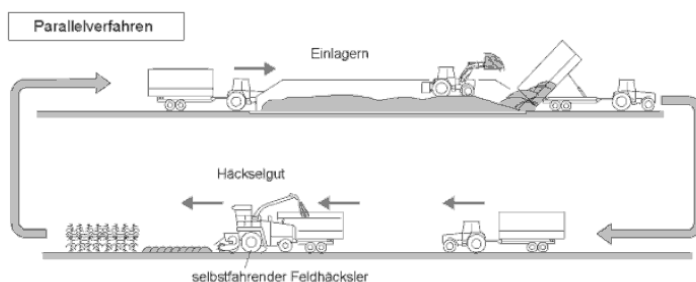
Bei einer Feldhäcksel-Leistung von 80 Tonnen Frischmasse je Stunde und dem Einsatz von Transporteinheiten mit 40 m<sup>3</sup> Nutzvolumen stehen pro Fuhre 10 Minuten im Silo für die Verdichtung zur Verfügung. Dies entspricht knapp 1 Minute je Tonne Frischmasse.

## 4. Transportverfahren

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, liegt der Fokus auf den Transportverfahren. Es ist anzunehmen, dass die Leistung der Erntemaschinen weiter stetig wachsen wird. Die Abhängigkeit der Ernteleistung zur Transportleistung bedingt, dass die Bereiche Transport und Einlagerung diese Leistungssteigerung aber unterstützen müssen. Ein Glied der Kette vergrößert sich, die anderen müssen nachziehen. War bisher auf dem Markt beim Feldhäcksel die schnellste Leistungssteigerung zu beobachten, zogen häufig die Transportgespanne nach. Zunächst wurden zusätzliche Einheiten bereitgestellt (mehr Fahrzeuge). Zunehmend werden auch größere Transporteinheiten eingesetzt. Damit rücken gesetzliche Rahmenbedingungen (StVO) oder pflanzenbauliche Aspekte (Bodendruck) zunehmend in den Vordergrund. Die Ernte- und Transportleistung sowie die unbedingt notwendige Anpassung der Einlagerungsleistung (meist Walzarbeit) ist Basis für Silage mit hoher Qualität. Bei einem angenommenen Systempreis von 350 Euro je Stunde – jede Minute Stillstand kostet demnach 5 – 6.- Euro – läuft man Gefahr, gerade das eigentliche Ziel, die Silage mit möglichst hoher Qualität Feld ins Lager zu bringen, zu vernachlässigen oder zu verfehlen.

Im Folgenden werden ausschließlich Parallelverfahren betrachtet. Abbildung 4 zeigt dazu eine Schemazeichnung.



Abbildung 4: Häckselkette im Parallelverfahren



Quelle: (Landtechnik und Bauwesen, Band 3 (Die Landwirtschaft) Seite 386 Abb. 405)

Das Parallelverfahren stellt das heute übliche Ernteverfahren dar. Traditionell wird hier mit Traktoren sowie Häckselwagen in 2- oder 3-achsiger Ausführung gefahren. Alternativ können auch speziell umgebaute LKW eingesetzt werden. Einen Vergleich und die Bewertung von Traktor und LKW zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Vergleich der Parallelfahrssysteme Häckselwagen und LKW

System	Beschreibung	Bewertung 	Bewertung 
Parallelfahrssystem Häckselwagen	Häckselwagen gezogen mit Traktor neben Feldhäcksler,  2- oder 3-achsiger mit bis zu 45m <sup>3</sup> Ladevolumen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vorherrschende Methode</li> <li>• arbeitswirtschaftlich und ökonomisch sinnvollste Lösung bei kurzen Transportentfernungen</li> <li>• relativ kostengünstig</li> <li>• hohe Flexibilität auch für unterschiedliche Güter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Öffentliche Akzeptanz?                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ verschmutzte Straßen</li> <li>○ Lärmbelästigung</li> </ul> </li> <li>• wirtschaftlich problematisch ab 5-15km Entfernung, je nach Bedingung</li> <li>• höherer Reifenverschleiß als bei LKW</li> </ul>
Parallelfahrssystem LKW mit Breitreifen	LKW mit Breitreifen wird direkt beladen, mit Luftdruckregelanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agrarbereitung mit Reifendruckregelanlage für viele Böden ausreichend</li> <li>• Verwendung von Serien-LKW mit Häckselwagenaufbau</li> <li>• Bei Wechselaufbauten bessere Auslastung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Lösung gegen Straßenverschmutzung</li> <li>• Ggf. Lenkzeitbeschränkung und Sonntagsfahrverbot</li> <li>• Anschaffungskosten</li> <li>• Reifenverschleiß</li> </ul>

Daneben finden in der Praxis aber noch weitere Systeme ihre Anwendung. Zu nennen sind diesbezüglich weitere Parallelfahrssysteme sowie verschiedene Bunkersysteme:

- Parallelfahrssystem – Sonderfahrzeug bzw. Agrar-LKW mit Breitreifen
- Parallelfahrssystem – Traktoren mit Dolly-Auflieger (1- oder 2-achsiger)
- Bunker-Systeme mit direkter oder abgesetzter Überladung
- Bunker-Systeme mit Hakenlift oder LKW-Auflieger

Die Grenzen der klassischen Ernte-Logistik zeigen sich durch kritische Betrachtung auf:

**Hohe Kosten bei langen Transportwegen:**

Je größer die Transportentfernung wird, desto größer werden die Kosten des Transports.

**Bodenverdichtung:**

Das Fahren im Feld und auf der Straße ist mit unterschiedlichen Ansprüchen an die Bereifung verbunden. Bei einer Kombination von Feld- und Straßenfahrt muss ein Kompromiss getroffen werden, der aber weder im Feld noch auf der Straße die optimale Lösung darstellt.

**Einhaltung der Nutzlast:**

Bei großvolumigen Transportanhängern besteht die Gefahr, dass das zulässige Gesamtgewicht bzw. die Nutzlast überschritten wird. Aus diesem Grund muss auf die Vorgaben der StVO geachtet werden.

**Straßenverschmutzung:**

Verschmutzung von öffentlichen Straßen mit Transportfahrzeugen, die im Feld beladen werden stellen ein Risiko für den Straßenverkehr dar und können Ärger verursachen.

**Substratverschmutzung:**

Beim Entladen des Gespannes im Lager kann die Silage durch Erdanhang an Reifen und Fahrzeug verschmutzt werden. Das Abladen vor dem Silo mindert die Gefahr der Verschmutzung.



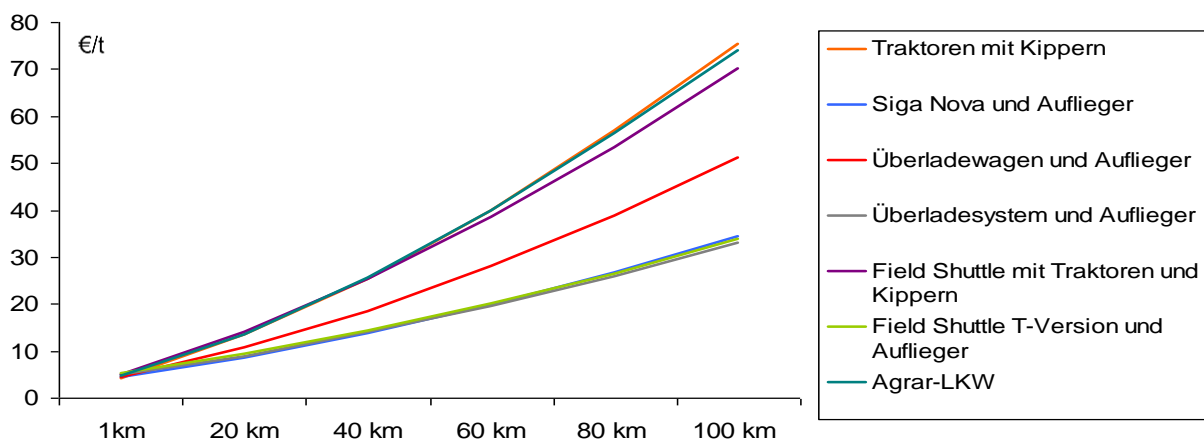
## 5. Ökonomische Bewertung der Transportverfahren

Die im vorherigen Kapitel vorgestellten Transportverfahren werden im Folgenden ökonomisch bewertet. Im Wesentlichen entspricht das diskutierte Rechenschema und die zugehörigen Grunddaten den Arbeiten von Mitterleitner, Schilcher und Demmel aus der LfL-Information „NawaRo-Transport“ aus dem Jahr 2007 (Mitterleitner, Schilcher, & Demmel, 2007). Die Berechnungen und Aussagen wurden allerdings in Rücksprache mit den Autoren den aktuellen Gegebenheiten angepasst.

Es handelt sich im aktuellen Kapitel um Modellrechnung, die vor allem Zusammenhänge und Tendenzen aufzeigen soll. In eingeschränkter Weise kann damit auch die Planung der Erntekette erleichtert werden. Betriebsindividuelle Entscheidungen benötigen jedoch betriebsindividuelle Bewertung. Eine Hilfestellung zur betriebsindividuellen Bewertung der realen Erntelogistik findet sich in der die LfL-Information „Biomasse-Erntelogistik“ (Strobl, 2009).

Abbildung 5 zeigt den Vergleich unterschiedlicher Transportsysteme. Demnach verschieben sich mit zunehmender Transportentfernung die spezifischen Kosten (in Euro je Tonne Frischmasse) zugunsten großvolumiger Transporteinheiten.

Abbildung 5: Transportkosten verschiedener Verfahren bezogen auf die Tonne Frischmasse



Quelle: (Döring, 2009)

Neben dem klassischen Parallelfahrtssystem mit Häckselwagen wurden mittlerweile eine Reihe von unterschiedlichen Systemen für Transport und Überladung entwickelt. Auch wenn die Kosten klar aufgedeckt werden können, gibt es in der Praxis Gründe, warum sich nur das eine oder andere System herauskristallisiert hat. Dies mag in der Infrastruktur oder Topografie begründet sein, oder aber auch an der innerbetrieblichen Organisation. Ebenso können Witterungseinflüsse ein maßgebliches K.O.-Kriterium sein, warum sich ein vordergründig günstigeres Verfahren nicht durchsetzen kann. Daher muss immer für den jeweiligen Betrieb die individuelle Lösung gefunden werden.

### Beispiel-Rechnung:

Die Rentabilität von Biogasanlagen auf NawaRo-Basis - dem überwiegenden Teil der betriebenen Anlagen - reagiert erheblich empfindlicher auf Änderungen des Kostenfaktors „Substrat“, als beispielsweise spezialisierte Futterbaubetriebe mit Milchviehhaltung. Die

Bedeutung des Einflusses der Transportkosten auf die Substratkosten frei Silo wird zwar durchwegs erkannt, aber in ihrer Dimension leider oft unterschätzt. Der Kostenanteil des Transportes frei Silo kann durchaus einen Anteil von 30% an den Erzeugungskosten Silage frei Siloplatte erreichen. Die nachfolgende Modellrechnung bezieht sich auf die Transportkosten von Silomais vom Feld bis zum Silo, kann aber genauso mit angepassten Werten auch auf Grassilage und Getreideganzpflanzensilage adaptiert werden.

### Konventionelle Parallelverfahren

Für den ökonomischen Vergleich der verschiedenen Verfahren wurden die Tabelle 2 in aufgelisteten Grunddaten angenommen.

Tabelle 2: Grunddaten zur Berechnung der Transportkosten

		Transportgespann A (Einzelbetrieb)	Transportgespann B (MR/LU)	Transportgespann C (Überlader)
<b>Allgemein*</b>				
Erntemenge	t/ha	50		
Leistung Feldhäcksler	t FM/h	81		
Standardtraktor mit Allradantrieb	kW	103	154	
MR-Satz Schlepper ohne Diesel netto	€/h	18,35	26,00	
Verbrauch Diesel	l/h	18,40	24,70	
Agrardieselpreis netto	€/l	0,868	0,868	
Häckselguttransportwagen	m <sup>3</sup>	25	40	
zulässiges Gesamtgewicht	t	18	20	
MR-Satz Häckselguttransportwagen netto	€/h	11	13	
Lohnkosten/Lohnansatz	€/h	11	11	
Raumgewicht Silomais (übliche Praxiswerte)L	t/m <sup>3</sup>	0,35	0,35	
Befüllleistung Feldhäcksler	m <sup>3</sup> /min	4,50	4,50	
Dauer Entladen	min	1,5	2,0	
<b>Transportgespanne (incl. Lohnansatz 11 €/AKh)</b>				
Gespann A: Schlepper (103 kW), 25 m <sup>3</sup> Nutzvolumen	€/h	56		
Gespann B: Schlepper (154 kW), 40 m <sup>3</sup> Nutzvolumen	€/h		71	
Gespann C: Schlepper (154 kW), 55 m <sup>3</sup> Nutzvolumen	€/h			74
Gespann C: Überladeinheit	€/h			52

\*Anmerkung: Kontinuierliche Bedienung des Feldhäckslers mit Transportgespannen

Aus der Zusammenführung der ökonomischen Kalkulationsdaten aus obiger Tabelle wird nachfolgend differenziert dargestellt die Kostenentwicklung für den Einsatz von Transportgespann A (vgl. Tabelle 3) und Transportgespann B (vgl. Tabelle 4) jeweils in Abhängigkeit der Transportentfernung in km:

Tabelle 3: Berechnung der Transportkosten in Abhängigkeit der Hof-Feld-Entfernung (Transportgespann A – Einzelbetrieb)

Hof-Feld-Entfernung einfach	km	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Nutzlast Transportgespann	t	7,5										
Dauer Beladung <sup>1)</sup>	min.	6,1										
Ø Transportgeschwindigkeit <sup>4)</sup>	km/h	30	30	30	33	33	35	35	35	35	35	35
Transportzeit Feld-Silo-Feld	min.	8,0	16,0	24,0	29,1	36,4	41,1	48,0	54,9	61,7	68,6	75,4
Gesamtzeit Transport <sup>2)</sup>	min.	15,6	23,6	31,6	36,7	44,0	48,7	55,6	62,5	69,3	76,2	83,0
Dieserverbrauch je Fahrt	l	4,8	7,2	9,7	11,2	13,5	14,9	17,0	19,1	21,2	23,3	25,4
Transportkapazität je Gespann	t FM/h	28,8	19,1	14,2	12,3	10,2	9,2	8,1	7,2	6,5	5,9	5,4
Kosten Transportgespann <sup>3)</sup>	€/Fahrt	14,6	22,1	29,6	34,4	41,2	45,7	52,2	58,6	65,0	71,5	77,9
<b>Transportkosten</b>	<b>€/t FM</b>	<b>1,9</b>	<b>2,9</b>	<b>3,9</b>	<b>4,6</b>	<b>5,5</b>	<b>6,1</b>	<b>6,7</b>	<b>7,8</b>	<b>8,7</b>	<b>9,5</b>	<b>10,4</b>
<b>Transportkosten</b>	<b>€/ha</b>	<b>98</b>	<b>148</b>	<b>198</b>	<b>230</b>	<b>275</b>	<b>305</b>	<b>348</b>	<b>391</b>	<b>434</b>	<b>476</b>	<b>519</b>
Notwendige Transportgespanne	Anzahl	3	4	6	7	8	9	10	11	13	14	15

Tabelle 4: Berechnung der Transportkosten in Abhängigkeit der Hof-Feld-Entfernung (Transportgespann B – MR/LU)

Hof-Feld-Entfernung einfach	km	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Nutzlast Transportgespann	t	12,0										
Dauer Beladung <sup>1)</sup>	min.	9,8										
Ø Transportgeschwindigkeit <sup>4)</sup>	km/h	30	30	30	33	33	35	35	35	35	35	35
Transportzeit Feld-Silo-Feld	min.	8,0	16,0	24,0	29,1	36,4	41,1	48,0	54,9	61,7	68,6	75,4
Gesamtzeit Transport <sup>2)</sup>	min.	19,8	27,8	35,8	40,9	48,1	52,9	59,8	66,6	73,5	80,3	87,2
Dieserverbrauch je Fahrt	l	8,1	11,4	14,7	16,8	19,8	21,8	24,6	27,4	30,3	33,1	35,9
Transportkapazität je Gespann	t FM/h	36,4	25,9	20,1	17,6	15,0	13,6	12,0	10,8	9,8	9,0	8,3
Kosten Transportgespann <sup>3)</sup>	€/Fahrt	23,5	33,1	42,6	48,7	57,3	63,0	71,2	79,3	87,5	95,7	103,8
<b>Transportkosten</b>	<b>€/t FM</b>	<b>2,0</b>	<b>2,8</b>	<b>3,5</b>	<b>4,1</b>	<b>4,8</b>	<b>5,2</b>	<b>5,9</b>	<b>6,6</b>	<b>7,3</b>	<b>8,0</b>	<b>8,6</b>
<b>Transportkosten</b>	<b>€/ha</b>	<b>98</b>	<b>138</b>	<b>177</b>	<b>203</b>	<b>239</b>	<b>263</b>	<b>297</b>	<b>331</b>	<b>365</b>	<b>399</b>	<b>433</b>
Notwendige Transportgespanne	Anzahl	2	3	4	5	6	6	7	8	9	9	10

Anmerkung:

FM = Frischmasse

1) Inklusiv 10 % Zeitzuschlag

2) Einschl. Dauer des Entladevorgangs

3) Schlepper, Fahrer und Häckselguttransportwagen

4) Durchschnittliche Transportgeschwindigkeiten von 30 km/h bei kurzen Entfernungen (2 km) sind i.d. Praxis kaum zu erreichen, bei dem Wert handelt es sich um einen rein rechnerischen Faktor.

In den Berechnungen wird angenommen, dass der Feldhäcksler ca. 81t/h an Erntemenge verarbeiten kann. Bei Biomasse-Erträgen von 50t/ha und kontinuierlicher Häckselleistung ergibt sich eine Stunden-Leistung von 1,62 Hektar je Stunde. Die Schlaggröße hat möglicherweise Einfluss auf die Wartezeiten bei den Beladevorgängen oder die „Befüllleistung“ des Häckslers pro Stunde.

Unabhängig von der Transportentfernung sind die Nutzlast und die Dauer des Beladevorganges. Mit zunehmender Transportentfernung ändert sich die durchschnittliche Geschwindigkeit des Fahrzeuges. Die daraus resultierende degressiv ansteigende Transportzeit hat Auswirkungen auf die Kosten des Transportgespannes. Wesentliche Ursache sind zum einen der gesamte Zeitbedarf für eine Transportrunde (Arbeitszeit, Schlepperstunden, Dieselverbrauch) sowie die erforderliche Anzahl der Transportgespanne insgesamt. Diese sind notwendig, um den Häcksler kontinuierlich bedienen zu können um so den erhöhten Zeitbedarf für den Straßentransport zu überbrücken. Insofern steigen die Transportkosten pro ha kontinuierlich mit zunehmender Feld-Hof-Entfernung an.

### **Sensitivitätsanalyse zu konventionellen Parallelverfahren (Was ist wenn...?)**

Welchen Einfluss haben sich ändernde Transportparameter auf die Höhe der Transportkosten? Eine **Sensitivitätsanalyse** (vgl. Tabelle 5) soll verdeutlichen, wie sich die Kosten je transportierter Einheit verändern, wenn zum Beispiel

- auf dem Transportweg es zu immer wiederkehrenden Verzögerungen kommen kann (Ampeln, Bahnübergänge und Bundesstraßen),
- lange Steigungen überwunden werden müssen und sich dadurch die Geschwindigkeit reduziert,
- sich die Befüllleistung des Feldhäckslers ändert (kleinere Schlaggrößen, Ausfallzeiten, häufiges Umsetzen, etc.),
- sich die durchschnittliche Transportgeschwindigkeit aufgrund anderer Straßen- und Wegeverhältnisse verringert oder auch verbessert und
- der Diesel unterschiedlichen Preisschwankungen unterworfen ist.

Tabelle 5: Sensitivitätsanalyse der Transportkosten (Was ist wenn, ...?)

	Änderung	Transportgespann A (Einzelbetrieb)	Transportgespann B (MR/LU)
zusätzliche Wartezeiten	10 min	+ 1,25 €/t FM	+ 1,00 €/t FM
Steigung <sup>1)</sup>	je 1 km	$\emptyset$ <sup>2)</sup> + 0,45 €/t FM	$\emptyset$ <sup>2)</sup> + 0,36 €/t FM
Befüllleistung Feldhäcksler	+ 0,5 m <sup>3</sup> /min	- 0,07 €/t FM	- 0,09 €/t FM
Befüllleistung Feldhäcksler	- 0,5 m <sup>3</sup> /min	+ 0,10 €/t FM	+ 0,12 €/t FM
$\emptyset$ Transportgeschwindigkeit	$\pm$ 5 km/h	je km $\pm$ 0,10 €/t FM	je km $\pm$ 0,06 €/t FM
Dieselpreis	$\pm$ 5 Cent/l	$\emptyset$ <sup>2)</sup> je km $\pm$ 0,01 €/t FM	

Anmerkungen: 1) Annahme: Reduzierung der  $\emptyset$  Transportgeschwindigkeit um 50 %  
 2) Der Durchschnittswert ( $\emptyset$ ) bedeutet, dass sich bei steigenden Transportentfernungen, aufgrund unterstellter ansteigender Transportgeschwindigkeiten, auch unterschiedliche Veränderungen in den Transportkosten ergeben. Zur besseren Übersicht wurde aus diesem Grund der Mittelwert unterstellt.

Bei kleineren Schlägen (< 2ha) sind Preiszuschläge zwischen 10% und 20% für den Erntekostenansatz Selbstfahrer angemessen. Bei größeren Schlägen (> 5ha) sind Preisnachlässe zwischen 5% und 15% möglich. Dies ist aber von weiteren Faktoren abhängig und muss individuell mit dem anbietendem Lohnunternehmer abgestimmt werden.

### Parallelverfahren mit Überlader

Um sowohl den Bedürfnissen des minimierten Bodendruckes im Feld sowie den angepassten Transportfahrzeugen auf der Straße Rechnung zu tragen, kann es sinnvoll sein, die Arbeitsgänge zu trennen. Im Feld fahren dann entweder von Schleppern gezogene Überlader oder Selbstfahrer-Überladefahrzeuge neben dem Häcksler her. Das volle Fahrzeug befüllt dann am Feldrand einen Schlepper-gezogenen Großraumwagen bzw. einen LKW, der dann den Transport über entsprechend weite Entfernungen durchführt. Hier ist jedoch als begrenzender Faktor die Limitierung des Gespanngewichtes Schlepper + Anhänger von derzeit 40 t zu berücksichtigen. Eine weitere Möglichkeit wäre eventuell eine Überladestation am Feldrand.

Der Straßentransport wird bei der Modellrechnung im getrennten Verfahren (Überlade-Transportgespann C) mit einem Schlepper (154 kW) und einem Großraum-Silagetransportwagen (55 m<sup>3</sup> Nutzvolumen, 15 €/h) durchgeführt. Die Modellrechnung enthält Tabelle 6.

Tabelle 6: Berechnung der Transportkosten in Abhängigkeit der Hof-Feld-Entfernung (Überlade-Transportgespann C)

Hof-Feld-Entfernung einfach	km	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
<b>Straßentransport</b>												
Nutzlast Transportgespann	t	16,5										
Dauer Beladung am Feldrand <sup>1)</sup>	min.	12,1										
Ø Transportgeschwindigkeit	km/h	45	45	45	50	50	55	55	55	55	55	55
Gesamtzeit Transport	min.-	19,4	24,8	30,1	33,3	38,1	40,3	44,7	49,0	53,4	57,7	62,1
Dieserverbrauch je Fahrt	l	3,0	5,2	7,4	8,7	10,7	11,6	13,4	15,2	17,0	18,8	20,6
Transportkapazität je Gespann	t FM/h	50,9	40,0	32,9	29,7	26,0	24,6	22,2	20,2	18,5	17,1	16,0
Kosten Transportgespann	€/Fahrt	19,5	26,0	32,5	36,4	42,3	45,0	50,3	55,7	61,0	66,4	71,7
<b>Kosten Straßentransport <sup>2)</sup></b>	<b>€/t FM</b>	<b>1,2</b>	<b>1,6</b>	<b>2,0</b>	<b>2,2</b>	<b>2,6</b>	<b>2,7</b>	<b>3,0</b>	<b>3,4</b>	<b>3,7</b>	<b>4,0</b>	<b>4,3</b>
Notwendige Transportgespanne	Anzahl	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5
<b>Überladeeinheit</b>												
Nutzlast je Gespann	t FM	8,25										
Dauer Beladung	min.	6,1										
Transportzeit Feld-Silo-Feld	min.	3,0										
Gesamtzeit Transport <sup>3)</sup>	min.	10,6										
Dieserverbrauch je Fahrt	l	3,25										
Kosten je Überladegespann <sup>4)</sup>	€/Fahrt	10,30										
Kosten für 2 Überladegespanne	€/t FM	1,25										
<b>Gesamtkosten Transport</b>	<b>€/t FM</b>	<b>2,5</b>	<b>2,9</b>	<b>3,3</b>	<b>3,5</b>	<b>3,9</b>	<b>4,0</b>	<b>4,3</b>	<b>4,7</b>	<b>5,0</b>	<b>5,3</b>	<b>5,6</b>
<b>Gesamtkosten Transport</b>	<b>€/ha</b>	<b>123</b>	<b>143</b>	<b>163</b>	<b>173</b>	<b>193</b>	<b>198</b>	<b>213</b>	<b>233</b>	<b>248</b>	<b>263</b>	<b>278</b>

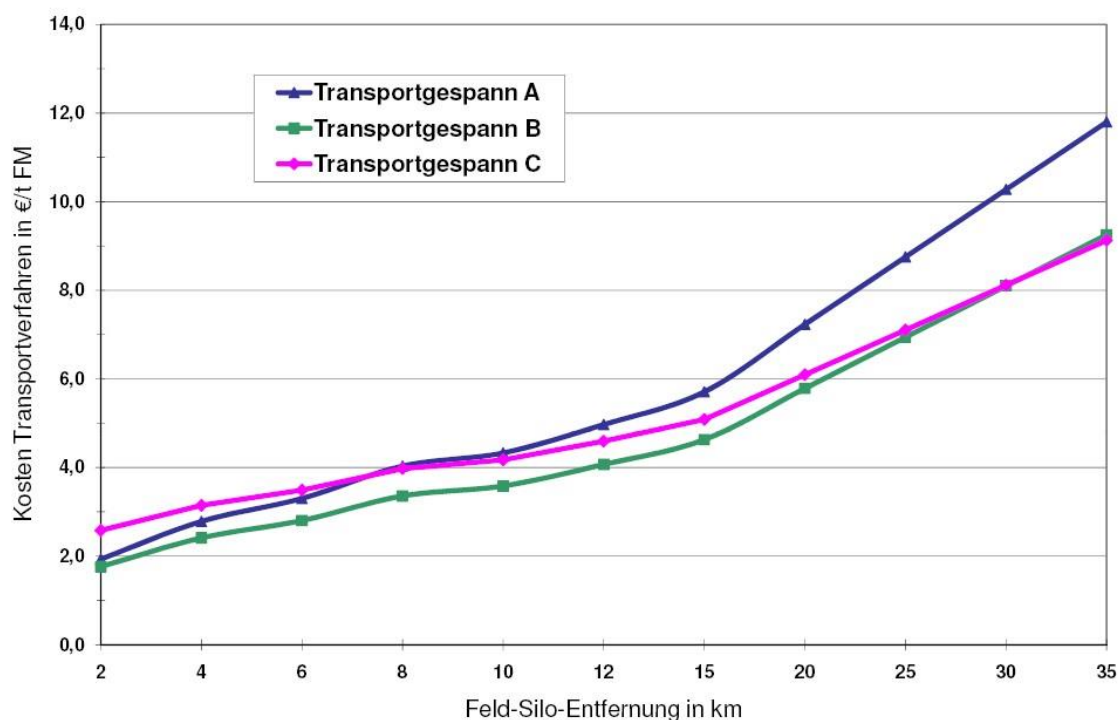
- Anmerkungen:
- 1) Dauer des Überladens und Wartezeit auf den zweiten Überladewagen
  - 2) Berechnungsgrundlage: Tabelle 1
  - 3) Einschl. Dauer des Überladevorgangs
  - 4) Schlepper, Fahrer und Großraum-Silagetransportwagen

## Schlussfolgerung aus dem Vergleich der Gespanne A, B und C

Die Ergebnisse der Transportgespanne A (Einzelbetrieb), B (MR/LU) und C (Überlader) werden in Abbildung 6 visualisiert. Je nach Kapazität der Transporteinheit und Transportentfernungen zwischen 2 und 30 km können die Gesamtkosten zwischen 2,00 Euro/Tonne FM und 10,00 Euro je Tonne Frischmasse liegen. Bezieht man diese Spanne auf den erzeugten Strom, so ergibt sich eine Kostenschiere zwischen 0,63 Cent/kWh und 3,15 Cent/kWh (Annahme: 1 t Silomais entspricht 317kWh<sub>el</sub>). Bei Transportentfernungen von rund 20 km wird alleine für den Transport ca. 1/3 vom NaWaRo-Bonus verbraucht.

Kleinere Transporteinheiten sind gegenüber größeren Einheiten nur bei kürzeren Entfernungen bis 8 km kostengleich oder sogar etwas billiger. Bei größeren Entfernungen sind schlagkräftige große Transporteinheiten auf jeden Fall vorzuziehen. Es kann manchmal durchaus sinnvoller sein, einen etwas weiteren Transportweg in Kauf zu nehmen, als beispielsweise durch die Stadt fahren zu müssen und durch Rotphasen der Ampeln behindert zu werden. Für den Transport über sehr weite Entfernungen sind Verfahren mit hoher Ladekapazität mit entsprechender Transportgeschwindigkeit einzusetzen. Eventuell ist auch eine Vorverdichtung auf den Transportfahrzeugen zu prüfen.

Abbildung 6: Kostenvergleich der Verfahren A, B und C



## 6. Flottenmanagement

Landwirtschaftliche Großbetriebe und Dienstleister stehen im straffen Ernteprozess vor der dringenden Anforderung, den Einsatz der Maschinen der Silagekette zu optimieren und Stillstandzeiten nach Möglichkeit gänzlich zu vermeiden. Häckslleistung und Transportentfernung bestimmen die notwendige Zahl der Transporteinheiten (Kipper oder Abschleppwagen), um eine kontinuierliche Ernte ohne Wartezeiten für den Häckslersicher zu stellen. Je mehr Transportfahrzeuge im Einsatz sind und je länger die Zeit für den Transport auf der Straße einzuplanen sind, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Fahrer beim nächsten Ladevorgang ein anderes Feld anfahren muss. Eine Koordination der Transportfahrer und auch der Häckslersicher untereinander ist hier unabdingbar. Klassisch über Mobiltelefonie kommen bei größeren Ernteketten EDV-unterstützte Systeme zum Einsatz. Jedes Transportfahrzeug ist hier z.B. mit Bildschirm ausgestattet, auf dem die Position des Häckslers gezeigt wird und der Fahrer so zum neuen Feld fahren kann. Ergänzende Module zu Software werden von einigen Firmen angeboten. Solche Programme dokumentieren alle Prozesse im Zuge der Produktion und stellen die Schnittstelle zur Schlagkartei der Landwirte her. So lässt sich präzise das betriebs- und schlagbezogene Verhältnis von verwendeten Energieträgern, produzierter Energie und ausgebrachtem Biogasgärrest nachvollziehen. Über Wiege- bzw. Ausbringdaten werden direkt die Abrechnungen für die Landwirte erstellt (bei Bedarf incl. Biogasgärrest).



## 7. Weitere Informationen

Bei tiefergehendem Beratungsbedarf und Informationen stehen Ihnen die Landtechnikberater der Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (ÄELF) sowie die Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) zur Verfügung.

### Links:

<http://www.biogas-forum-bayern.de> (Biogas Forum Bayern)

<http://www.stmelf.bayern.de/behoerden/amt/>  
(Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten)

[www.lfl.bayern.de](http://www.lfl.bayern.de) (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft)

[https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p\\_28561.pdf](https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_28561.pdf)  
(LfL-Information „NawaRo-Transport“)

<http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/032354/>  
(Information zur Biomasse-Ernte-Logistik der LfL)

[www.biogas.org](http://www.biogas.org) (Fachverband Biogas e.V.)

## 8. Literaturverzeichnis

Döring, G. (2009). *Kundenprospekt*. Harsewinkel: Claas Vertriebsgesellschaft GmbH.

*Landtechnik und Bauwesen, Band 3 (Die Landwirtschaft) Seite 386 Abb. 405.* (kein Datum).

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. (kein Datum).

Mitterleitner, H., Schilcher, A., & Demmel, M. D. (2007). *NawaRo-Transport - Konzepte zur Reduzierung der Kosten beim Transport von nachwachsenden Rohstoffen für Biogasanlagen*. Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).

Strobl, M. (2009). *Biomasse-Erntelogistik* (2. unveränderte Auflage Ausg., Bde. LfL-Information). Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).

## **Das „Biogas Forum Bayern“ ist eine Informationsplattform zum Wissenstransfer für die landwirtschaftliche Biogasproduktion in Bayern**

### **Arbeitsgruppe II (Substratbereitstellung)**

hier erarbeiten Experten Publikationen zu folgenden Themen:

- Logistik der Ernte
- Gärrestausbringung
- Konservierung und Silagequalität

### **Mitglieder der Arbeitsgruppe II (Substratbereitstellung)**

- **Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Bayreuth, Pfaffenhofen und Schwandorf**
- **Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten**
- **Hochschule Weihenstephan-Triesdorf**
- **Landesanstalt für Landwirtschaft**  
Institut für Landtechnik und Tierhaltung  
Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft  
Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik
- **Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit**
- **Bayerisches Landesamt für Umwelt**
- **Biogasanlagenbetreiber**
- **Firma Claas**
- **Fachverband Biogas**
- **Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung**
- **Landwirtschaftliche Lehranstalten des Bezirkes Oberfranken**
- **Kuratorium Bayerischer Maschinen- und Betriebshilfsringe e.V.**
- **Regens Wagner Stiftung**



**Herausgeber:**

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik  
und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.  
Vöttinger Straße 36  
85354 Freising  
Telefon: 08161/71-3460  
Telefax: 08161/71-5307  
Internet: <http://www.biogas-forum-bayern.de>  
E-Mail: [info@biogas-forum-bayern.de](mailto:info@biogas-forum-bayern.de)