



**fachhochschule**  
university of applied sciences  
**stralsund**



# Kostenvergleich bei Silomaistransporten

Sebastian Schubert  
Matrikelnummer 11994

9. Februar 2012  
Prof. Dr. rer. pol. Petra Jordanov  
Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Petersen  
Fachhochschule Stralsund

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Ausgangssituation . . . . .                                     | 1         |
| 1.2      | Zielsetzung der Arbeit . . . . .                                | 2         |
| 1.3      | Stand der Wissenschaft . . . . .                                | 3         |
| 1.3.1    | Logistische Aspekte . . . . .                                   | 3         |
| 1.3.2    | Technische und Pflanzenbauliche Aspekte . . . . .               | 4         |
| <b>2</b> | <b>Die Prozessabläufe der Silagelogistik (Biomasselogistik)</b> | <b>6</b>  |
| 2.1      | Direktfahrt (klassisches Verfahren) . . . . .                   | 9         |
| 2.1.1    | Schlepper und Anhänger . . . . .                                | 11        |
| 2.1.2    | 8 x 8 LKW . . . . .   | 15        |
| 2.1.3    | Secutor . . . . .   | 19        |
| 2.2      | Direktes Überladen . . . . .                                    | 25        |
| 2.2.1    | Annaburger HTS 29.06 Fieldliner . . . . .                       | 28        |
| 2.2.2    | HAWE-Wester SUW 5000 . . . . .                                  | 29        |
| 2.2.3    | Selbstfahrender Überladewagen . . . . .                         | 31        |
| 2.2.4    | Weitere Überladewagen . . . . .                                 | 32        |
| 2.3      | Indirektes Überladen . . . . .                                  | 34        |
| 2.3.1    | Indirektes Überladen mit logistischem Puffer . . . . .          | 35        |
| 2.3.2    | ROPA NawaRo-Maus . . . . .                                      | 37        |
| 2.3.3    | Radlader . . . . .  | 40        |
| 2.3.4    | Bagger mit Greifschaufel . . . . .                              | 41        |
| 2.3.5    | Indirektes Überladen ohne logistischen Puffer . . . . .         | 41        |
| 2.3.6    | Nawaro Bunkermaus System PALANDT . . . . .                      | 43        |
| 2.3.7    | Benas Überladeband . . . . .                                    | 44        |
| 2.3.8    | Weitere Überlademaschinen . . . . .                             | 46        |
| 2.4      | Bunkerhäcksler . . . . .  | 48        |
| 2.5      | Vergleich der Verfahren Allgemein . . . . .                     | 49        |
| <b>3</b> | <b>Vergleichsmethoden für die Substratlogistik</b>              | <b>49</b> |
| 3.1      | Messungen . . . . .   | 49        |
| 3.1.1    | Recherche, Kontaktierung und Reiseplanung . . . . .             | 50        |
| 3.1.2    | Messgeräte . . . . .  | 51        |
| 3.1.3    | Messwertaufnahme . . . . .                                      | 52        |
| 3.2      | Recherchierte Daten . . . . .                                   | 53        |
| 3.2.1    | Rechtliches . . . . .   | 53        |
| 3.2.2    | Recherchierte Preise und Kosten . . . . .                       | 56        |
| 3.2.3    | Entladezeit Schubbodenaufleger . . . . .                        | 57        |
| <b>4</b> | <b>Auswertung</b>   | <b>59</b> |
| 4.1      | Auswertung der GPS-Daten . . . . .                              | 59        |
| 4.2      | Die Kostenvergleichsmethode . . . . .                           | 61        |
| 4.2.1    | Fixkosten . . . . .   | 62        |
| 4.2.2    | Variable Kosten . . . . .                                       | 63        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 4.3       | Berechnungen und Formeln . . . . .            | 64        |
| 4.3.1     | Eingabe-Ausgabe . . . . .                     | 64        |
| 4.3.2     | Berechnungen . . . . .                        | 65        |
| 4.4       | Grafische Auswertung der Ergebnisse . . . . . | 70        |
| 4.4.1     | Erläuterung der Grafiken . . . . .            | 70        |
| <b>5</b>  | <b>Schlussfolgerungen</b>                     | <b>79</b> |
| 5.1       | Straßentransporter . . . . .                  | 79        |
| 5.2       | Direktfahrer . . . . .                        | 79        |
| 5.2.1     | Schleppergespann . . . . .                    | 80        |
| 5.2.2     | Secutor . . . . .                             | 80        |
| 5.2.3     | 8 x 8 LKW . . . . .                           | 80        |
| 5.3       | Direktes Überladen . . . . .                  | 81        |
| 5.3.1     | Annaburger HTS 29.06 Fieldliner . . . . .     | 81        |
| 5.3.2     | Hawe SUW 5000 . . . . .                       | 81        |
| 5.3.3     | Selbstfahrender Überladewagen . . . . .       | 82        |
| 5.4       | Indirektes Überladen . . . . .                | 82        |
| 5.4.1     | Nawaro Bunkermaus System PALANDT . . . . .    | 82        |
| 5.4.2     | ROPA NawaRo-Maus . . . . .                    | 83        |
| 5.4.3     | Benas Überladeband . . . . .                  | 83        |
| 5.4.4     | Radlader . . . . .                            | 84        |
| 5.5       | Energiebilanz . . . . .                       | 84        |
| <b>6</b>  | <b>Fazit</b>                                  | <b>85</b> |
| <b>7</b>  | <b>Danksagung</b>                             | <b>86</b> |
| <b>8</b>  | <b>Eidesstattliche Erklärung</b>              | <b>87</b> |
| <b>9</b>  | <b>Beiliegender Datenträger</b>               | <b>87</b> |
| <b>10</b> | <b>Quellenverzeichnis</b>                     | <b>88</b> |

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Ernteketten für Silomais stellen für Landwirte und Lohnunternehmer eine besondere logistische Herausforderung dar. Es müssen große Massen- beziehungsweise Volumenströme mit geringen Dichten auf den Feldern "eingesammelt" und oft über große Distanzen transportiert werden. Das Häckselgut muss innerhalb weniger Stunden eingelagert sein. Silomais wird in Deutschland nur einmal im Jahr innerhalb von etwa 6 Wochen geerntet. Deshalb erreichen die Maschinen - zumindest wenn sie nur im Mais eingesetzt werden - nur eine sehr geringe Auslastung.

Gleichzeitig fallen für die Maschinen sehr hohe Anschaffungsausgaben an, sodass Investitionen in diesem Bereich sehr sorgfältig abgewogen werden müssen.

Bisher wurden für den Transport von Häckselgütern vor allem Traktoren mit Anhängern für leichte Schüttgüter eingesetzt. Diese stoßen aber mit steigenden Transportdistanzen und Massenströmen in verschiedener Hinsicht an Grenzen:

- Kraftstoffverbrauch und Reifenverschleiß
- Nutzlast bei Einhaltung des zulässigen Gesamtgewichts
- Transportgeschwindigkeit
- Wahrnehmung in der Öffentlichkeit
  - Lärm
  - Straßenverschmutzung
  - bedrohliches Erscheinungsbild
  - Verkehrsdichte (bis zu 20 Transportfahrzeuge pro Richtung und Stunde)

Kurzum lässt sich sagen, dass Traktoren für Transportarbeiten auf befestigten Straßen nicht optimal geeignet sind.

Aus diesem Grunde wurden in den letzten Jahren verschiedene Möglichkeiten ausgelotet, Silomais mit Fahrzeugen zu transportieren, die straßentauglicher sind. Hierbei wurden unterschiedliche Wege eingeschlagen. Zum einen wurden bei den Traktoren Leistungsgewicht und Kraftstoffverbrauch reduziert, zum anderen die Endgeschwindigkeiten gesteigert. Auch deren Anhänger sind größer und leichter geworden. Parallel dazu wurden vor allem LKW mit der Radformel 8 x 8 (8 von 8 Rädern angetrieben) für den Einsatz in der Landwirtschaft angepasst und eingesetzt. Bereits in der ehemaligen DDR wurden die LKW IFA W50/L60 mit großvolumiger Bereifung zum Transport landwirtschaftlicher Güter eingesetzt. Von der Bauart her ähnliche Fahrzeuge sind heute auf Basis des UNIMOG oder Fahrgestellen von MAN und Mercedes-Benz erhältlich. Seit der AGRITECHNICA 2011 (weltgrößte Landtechnikmesse in Hannover) bietet die Firma Bruhns aus Karstädt (Prignitz) den Secutor an. Dies ist ein landwirtschaftliches Transportfahrzeug, das sich durch diverse konstruktive Besonderheiten von allen zuvor aufgeführten Fahrzeugen abhebt. Handelsübliche geländegängige Lastkraftwagen mit Hochdruckbereifung, wie sie beispielsweise auf Baustellen eingesetzt werden, sind auf dem Feld aus Gründen der Bodenschonung inakzeptabel. Unter feuchten Bedingungen kann das Problem der fehlenden Traktion der Reifen hinzukommen. Eine weitere Möglichkeit bieten Maschinen, die Häckselgüter am Feldrand oder in Feldnähe auf Lastkraftwagen überladen.

Nach SONNEN [1] finden sich in der Praxis, bezogenen auf eine Ernteprozesskette für Siliergüter, häufig folgende Schwachstellen (Zitat):

1. *Verdichtungsleistung an der Siliergutannahme im Vergleich zum Massendurchsatz des Feldhäckslers zu gering,*
2. *Leistung der Transportkette im Vergleich zum Massendurchsatz des Feldhäckslers zu gering,*
  - a) *Feld-Silo Entfernung zu groß,*
  - b) *zu wenige Transportfahrzeuge,*
3. *Langsame Transportfahrzeuge behindern die Ausnutzung der möglichen Fahrgeschwindigkeit anderer Transportfahrzeuge,*
4. *Entladezeiten der Transportfahrzeuge zu lang,*
5. *Schlechte Straßen- und Wegeverhältnisse,*
6. *Kein dynamisches Anpassen der Transportleistung bei schwankenden Feld-Silo Entfernungen (trifft besonders für Lohnunternehmen zu),*
7. *Schlechte Vorplanung der Maschinenzusammenstellung,*
8. *Unzureichende Ausnutzung der technologischen Kapazitäten durch ungeschultes Personal*

Um einige dieser Schwachstellen zu vermeiden, sind laut KOBLER [2] deshalb bei der Planung der Erntearbeiten und erst recht vor einer Investitionsentscheidung folgende Vorüberlegungen anzustellen (Zitat):

- *Welche Kosten produziere ich mit einem Verfahren pro Einheit?*
- *Was wird am Markt an Technik angeboten?*
- *Umfeld (Nachbarschaft, Straßen)?*
- *Gesetzliche Rahmenbedingungen? (Breitenregelung, Gewichte, Güterkraftverkehrsgesetz, Lenkzeiten, Sonntagsfahrverbot)*
- *Welche Transportentfernungen sind zu meistern?*

Der Inhalt dieser Arbeit befasst sich ausschließlich mit dem Transport der Erntegüter vom Feldhäcksler zum Silo. Vor- und nachgelagerte Prozesse werden nicht betrachtet. Zudem wurde die Möglichkeit der dezentralen Lagerung der Maissilage nicht in die Untersuchung einbezogen.

## **1.2 Zielsetzung der Arbeit**

Abgesehen von der reinen Anwendbarkeit verschiedener Verfahren zum Häckselguttransport stellt sich bei einer Investitionsentscheidung die Frage nach den jeweiligen Kosten der Verfahren. Der Schwerpunkt dieser Arbeit soll daher neben einigen praktischen Aspekten bei der Analyse und dem Vergleich der Transportkosten mit zehn exemplarischen Transportsystemen liegen.

Ziel soll es sein, dem Anwender bezüglich der Kosten eine Entscheidungshilfe für Investitionen in Logistiksysteme zu geben, die für seine betrieblichen Bedingungen die optimale Lösung für die Biomassetransporte darstellen. Dabei sollen neben den technischen Daten Erfahrungen

aus der Praxis und vor allem eigene Messungen über die Leistungsdaten der einzelnen Maschinen die Grundlage einer unabhängigen Bewertung der wichtigsten Systeme bilden. Leistungsbeziehungsweise kostenrelevant sind hierbei:

- Zeiten
- Geschwindigkeiten
- Tonnagen
- Kraftstoffverbrauch

Desweiteren wird auszugsweise das aktuelle Marktangebot entsprechender Fahrzeuge bzw. Transportsysteme vorgestellt und rechtliche Aspekte bezüglich Führerschein, Sonntagsfahrverbot, Lenkzeiten und Ladungssicherung erörtert.

Durch eine Tabellenkalkulation können die Transportkosten der jeweiligen Verfahren für den Einzelfall bestimmt, sowie Kostenverläufe bei variablen Parametern dargestellt werden.

## 1.3 Stand der Wissenschaft

### 1.3.1 Logistische Aspekte

Die Logistikkette ist das logistische System eines Industrieunternehmens [3]. Diese Arbeit befasst sich mit der Beschaffungslogistik als Teil der Logistikkette von landwirtschaftlichen Betrieben. In der Logistik spielt der Materialfluss eine bedeutende Rolle. Der Flussbegriff stammt aus der Strömungsmechanik. Bei einem Leitungsrohr, das von einem Querschnitt A (Quelle) zu einem Querschnitt B (Senke) führt, wird die Flusstärke in Mengeneinheiten pro Zeiteinheit ausgedrückt.

$$Fluss = \frac{ME}{ZE} \left( \text{hier} := \frac{\text{Tonnen}}{\text{Stunde}} \right)$$

Wie in der Strömungsmechanik, wird auch in der Logistik zwischen stationärem und dynamischem Fluss unterschieden. Bei der Erntelogistik liegt im Hinblick auf die gesamte landwirtschaftliche Produktion stets ein dynamischer Prozess vor, da innerhalb weniger Wochen der Vorrat für ein ganzes Jahr geerntet und transportiert werden muss. Für den Ernteprozess selbst stellen stationäre Verhältnisse das theoretische Ideal dar. Diese können aber wegen ständig wechselnder Bedingungen nur temporär erreicht werden. In der Logistik werden sogenannte Netzwerkmodelle verwendet. Dabei sind verschiedene Leitungsstücke an Knoten miteinander verbunden. Für die Knoten gilt das Prinzip der Flusserhaltung, d.h. dass in jedem Knoten die Summe der Zuflüsse gleich der Summe der Abflüsse sein muss.

Das allgemeine ökonomische Ziel der Effizienz bedeutet für die Logistik, dass die Kosten für logistische Prozesse minimal, aber ihre Leistung in Relation zu den jeweiligen Kosten maximal sein sollen [3]. Die Leistung eines logistischen Systems kann über den Lieferservice bewertet werden. Im Falle der Erntegutlogistik spielen dabei folgende Parameter eine entscheidende Rolle:

- die gesamte Erntezeit für eine Fruchtart (Lieferzeit),

- die Stabilität der Erntekette (Lieferzuverlässigkeit),
- die Verderblichkeit der Erntegüter (Lieferqualität),
- die wechselnden Lokalitäten mit ihren unterschiedlichen Erntebedingungen (Lieferflexibilität)

Durch die Festlegung des Lieferservices im Rahmen einer strategischen Zielplanung wird die benötigte Leistung der Logistikkösung bestimmt (Eingabe im Kostenrechner). Nun gilt es, die Kosten zur Erreichung des Ziels zu minimieren (Ausgabe im Kostenrechner). Hierfür wird eine Prozesskostenrechnung durchgeführt, um eventuelle Kostentreiber anhand einer verursachungsgerechten Schlüsselung der Logistikkosten auszumachen.

In den vergangenen 5 Jahren beschäftigten sich viele Stellen mit der Thematik Biomasselogistik. Im Jahre 2007 stellte SONNEN ein Simulationmodell von Ernteprozessketten für Siliergüter mit der Simulationssoftware eM-Plant auf [1]. Diese programmierfreie Simulation von Ernteprozessketten ermöglicht mit ihrer zweidimensionalen Animation auf hinterlegten maßstäblichen topografischen Karten sowie mit Hilfe eingebundener Tools die automatische Darstellung und Analyse der gewonnenen Simulationsergebnisse. Darauf aufbauend können Optimierungen bezüglich der Maschinenauswahl, -zusammenstellung und -dimensionierung sowie zu den entstehenden Kosten vorgenommen werden. In "Verfahren zum Transport von Biomasse" [4] werden bevorzugt Verfahren der Direktfahrt (sog. Parallelverfahren) verglichen. Ebenfalls im Biogas Forum Bayern ist die Studie "Verfahrensalternativen für Biomassetransporte" [5][6] erschienen. Dort wird die auch in dieser Arbeit verwendete Kategorisierung der Transportverfahren angewendet. Weiterhin wurden die Kosten verschiedener Transportsysteme in Abhängigkeit von der Transportdistanz berechnet. STROBL [7] von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft hat ein Verfahren zum Bewerten und Optimieren der Biomasse-Erntelogistik aufgrund einer Materialflussanalyse entwickelt. Dabei werden Einsatzdaten auf Vordrucken protokolliert und anschließend mit einer Kenngrößenmatrix für die einzelnen Maschinen ausgewertet. RADEMACHER [8] befasste sich mit der Frage, wie sich die Abläufe während der Arbeit (Wechsel der Abfuhrfahrzeuge, Fahrstrategie) sowie die Flächengrößen auf die Durchsatzleistung des Feldhäckslers, und damit der gesamten Erntekette auswirken.

### 1.3.2 Technische und Pflanzenbauliche Aspekte

Nachhaltiger Pflanzenbau ist auf eine gute Bodenstruktur angewiesen. Der Schutz der Böden wird deshalb auch gesellschaftspolitisch thematisiert. Die Kommission der Europäischen Gemeinschaften fasste 2006 die Bedeutung des Bodenschutzes wie folgt zusammen: *„Da die Bodenbildung ein extrem langsamer Prozess ist, müssen Böden im Wesentlichen als nicht erneuerbare Ressource betrachtet werden. Der Boden liefert uns Nahrung, Biomasse und Rohstoffe. Er dient als Plattform für menschliche Tätigkeiten und Landschaft, fungiert als Archiv unseres natürlichen Erbes und spielt eine zentrale Rolle als Lebensraum und Genpool. Er lagert, filtert und transformiert viele Stoffe, einschließlich Wasser, Nährstoffen und Kohlenstoff. Der Boden ist somit auch der größte Kohlenstoffspeicher der Welt. Aufgrund ihrer sozioökonomischen und ökologischen Bedeutung müssen diese Funktionen geschützt werden. ... Die Struktur des Bodens spielt im Hinblick auf seine Funktionen eine äußerst wichtige Rolle. Jeder Schaden der Bodenstruktur schädigt auch andere Umweltmedien und Ökosysteme“*. Das Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG) verpflichtet

jeden Bodennutzer zur Vorsorge. Dabei gilt als gute fachliche Praxis, dass die Bodenstruktur erhalten und verbessert wird. Dieses Ziel muss bei Entscheidungen zum Befahren der landwirtschaftlichen Flächen berücksichtigt werden. Dabei besteht ein Spannungsverhältnis zwischen den Anforderungen der Kulturpflanzen an einen optimal gestalteten Wurzelraum und der Notwendigkeit, Landmaschinen kostensparend einzusetzen.

Nach BRANDHUBER [9] steht der Anwender also vor der Entscheidung, ob dem Bodenschutz oder der Effizienz der Vorrang eingeräumt wird. Den Zwiespalt zwischen Bodenschutz und Ökonomie widerlegten allerdings schon Untersuchungen aus dem Jahre 1994. BOSSMANN [10] stellte damals fest, dass der Luftdruck die Zugkraft eines Fahrzeugs auf unbefestigtem Boden maßgeblich beeinflusst. Während auf der Straße ein höherer Luftdruck zu weniger Walkarbeit im Reifen und somit zu weniger Rollwiderstand führt, wird der Rollwiderstand auf dem Feld wegen tieferer Spuren bei hohem Luftdruck gesteigert. Dies führt naturgemäß zu höheren Kraftstoffverbrauchswerten. Abhängig von den Bodenverhältnissen kann der Rollwiderstand auf dem Feld durch angepassten Luftdruck um 20 bis 30 % gesenkt werden. Gleichzeitig wird die Zugkraft um bis zu 32 % gesteigert. Die Aufstandsfläche des Reifens gibt bei gegebener Radlast den Eingangsdruck in den Boden vor.

Reifentechnisch sinkt bei konstanter Belastung des Reifens die mögliche Höchstgeschwindigkeit und umgekehrt. Daraus folgt, dass es einen "Ackerreifendruck" und einen "Straßenreifendruck" geben muss. Ohne die Anpassung des Reifendrucks an die jeweilige Fahrbahnoberfläche wird immer ein Kompromiss eingegangen, der entweder zu Lasten des Bodenschutzes sowie der Ökonomie auf dem Feld (Als Faustzahl entspricht der Bodendruck in 10 cm Tiefe etwa dem Reifeninnendruck), oder zu Lasten des Rollwiderstands auf der Straße geht. Transportfahrzeuge, wie sie in der Silomaisenernte zur Direktfahrt eingesetzt werden, wechseln ständig zwischen Feld- und Straßenfahrt. In diesem Fall ist der Einsatz einer Reifendruckregelanlage äußerst ratsam, da sonst mit dem oben genannten Kompromiss gefahren werden muss. Die Reifenentwicklung der letzten Jahre hat zwar Produkte hervorgebracht, die auch bei niedrigem Luftdruck relativ hohe Geschwindigkeiten und Radlasten ermöglichen, doch sind diese Reifen vergleichsweise teuer und der hohe Verschleiß auf der Straße trotzdem gegeben. Fahrzeuge mit Hochdruckbereifung (LKW-Straßenbereifung) richten mit ihren 8-9 bar Druck langfristige Schäden am Bodengefüge an.

## 2 Die Prozessabläufe der Silagelogistik (Biomasselogistik)

Allgemeines Ziel bei der Ernte von Silomais ist es, das Häckselgut so im Silo einzulagern, dass eine optimale Silierung ermöglicht wird.

Geerntet wird heute meistens mit selbstfahrenden Feldhäckslern. Das Erntegut wird vom vorne angebrachten Maisgebiss aufgenommen und der Häckseltrommel zugeführt. Diese schneidet es in einstellbare Größen (Schnittlängen). Bei der Silomaisernte ist zusätzlich ein sogenannter Corncracker nötig, der die Maiskörner beschädigt und somit verwertbar macht. Um die Wurfweite der Maschine zu erhöhen, wird ein Wurfbeschleuniger eingesetzt, der sich im Gutstrom hinter dem Corncracker befindet. Hiermit ist es möglich, das Erntegut über den Auswurfkrümmer auf nebenherfahrende Transportfahrzeuge zu befördern.



Abbildung 1: *Das Erntegut (6) passiert die Vorpresswalzen (1) und wird von der Häckseltrommel (2) über der Gegenschneide (5) zerkleinert. Die Maiskörner werden vom Corncracker (3) angequetscht. Der Wurfbeschleuniger (4) befördert das Häckselgut in den Auswurfkrümmer. (Quelle: Claas)*

Da Feldhäcksler, abgesehen von den in Abschnitt 2.4 auf Seite 48 beschriebenen Bunkerhäckslern, für gewöhnlich keinen Pufferspeicher für das Erntegut besitzen, muss während der Ernte permanent ein geeignetes Transportfahrzeug nebenher fahren.



Abbildung 2: *Erntemaschine und Transportfahrzeug fahren synchron.*

Um das am Silo ankommende Häckselgut zu konservieren, wird es siliert, das heißt, es wird eine Milchsäuregärung herbeigeführt. Das einsilieren muss möglichst schnell nach der Ernte erfolgen, um den aeroben Abbau durch Pilze und Bakterien zu verhindern. Daraus folgt, dass es sich bei frischem Silomais um ein verderbliches Transportgut handelt. Voraussetzung für die Gärung ist der Luftabschluss (anaerobe Gärung). Deshalb wird die künftige Silage auf dem Silo verteilt und anschließend verdichtet. Diese Aufgabe übernehmen meistens speziell ausgerüstete Traktoren. Verbunden mit dem starken Leistungswachstum der Häcksler in den letzten Jahren werden aber auch immer öfter andere Maschinen, beispielsweise Walzenzüge, große Radlader aber auch Pistenbullys zum Verdichten eingesetzt. Laut RADEMACHER [8] sollte die Masse aller Walzmaschinen bei der Maisernte etwa ein Viertel vom Erntegutdurchsatz des Feldhäckslers betragen.



Abbildung 3: *Standardschlepper und Walzenzug beim Verteilen und Verdichten auf dem Silo*

Sobald das Silo voll oder die Ernte abgeschlossen ist, wird es mit einer luftdichten Folie abgedeckt. Der Silierungsprozess kann nun beginnen.

Für eine effiziente Erntekette ist, wie in Abschnitt 1.1 auf Seite 1 bereits erläutert, die Bereitstellung von genügend Transport-, Verteilungs- und Walzkapazität entscheidend, um Stillstandzeiten des Häckslers zu vermeiden und eine optimale Silagequalität sicherzustellen.

Im Folgenden werden die Verfahren zum Silagetransport, also die Prozesse zwischen Feldhäcksler und Silo, kategorisiert in:

- Direktfahrt
- Direktes Überladen
- Indirektes Überladen

Letzteres wurde noch in die Kategorien mit beziehungsweise ohne Puffer unterteilt (s. Tab. 1). Diese Verfahren und die verglichenen Maschinen sollen in diesem Abschnitt näher beschrieben werden.

| <b>Direktfahrt</b>  |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Feldfahrzeuge fahren vom Feldhäcksler direkt zum Silo</li> </ul>   |  |
| <b>Direktes Überladen</b>   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Feldfahrzeuge mit speziellen Vorrichtungen überladen in Feldnähe auf LKW</li> </ul>  |  |
| <b>Indirektes Überladen mit Puffer</b>  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Feldfahrzeuge entladen in Feldnähe auf Feldmiete (Puffer)</li> <li>separate Maschine verlädt Feldmiete auf LKW</li> </ul>  |  |
| <b>Indirektes Überladen ohne Puffer</b>   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Feldfahrzeuge entladen in Feldnähe in die Aufnahme einer separaten Maschine (Überlademaschine)</li> <li>Überlademaschine verlädt ohne Pufferspeicher sofort auf LKW</li> </ul> |  |

Tabelle 1: Verfahren zum Silagetransport, Übersicht

## 2.1 Direktfahrt (klassisches Verfahren)

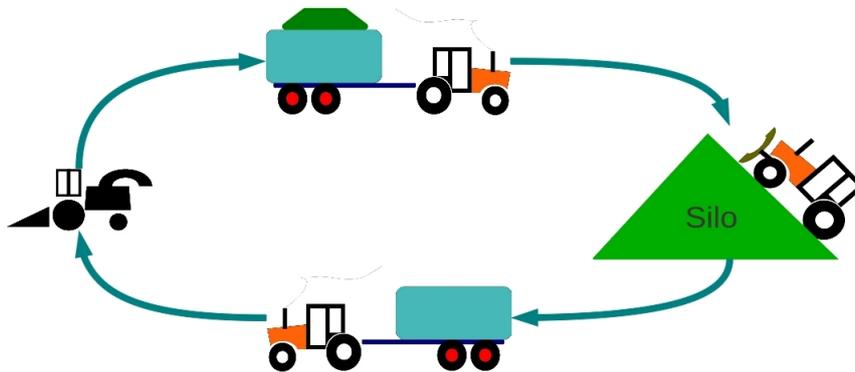


Abbildung 4: Prozessablauf bei der Direktfahrt

Bei der Direktfahrt belädt die Erntemaschine das Fahrzeug, welches das Häckselgut direkt zur entgeltigen Lagerstätte bringt. Da die Direktfahrt logistisch am einfachsten zu realisieren ist, wird sie im Allgemeinen, vor allem bei geringen Distanzen, favorisiert.

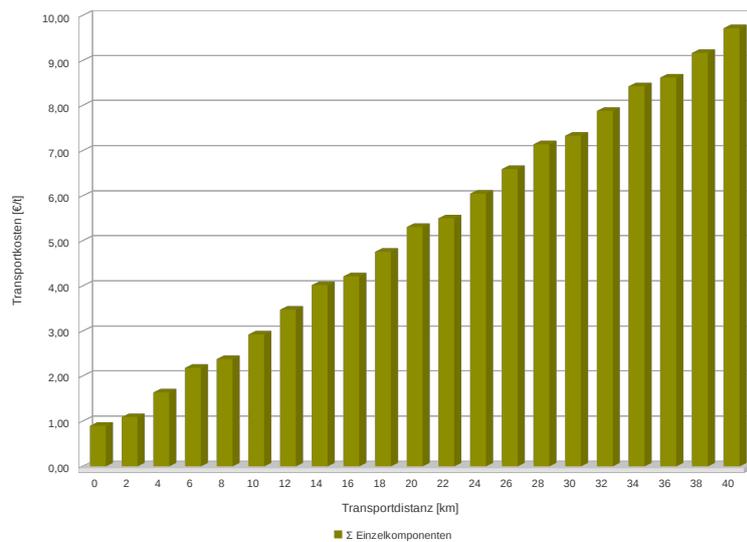


Abbildung 5: Die Transportkosten bei der Direktfahrt besitzen nur eine Komponente. (Beispiel)

Aus Abb. 4 geht hervor, dass, wenn man nur den reinen Transport des Häckselgutes betrachtet, nur eine Maschinenart an dem System beteiligt ist. Daraus folgt, dass es für die Transportkosten des Systems nur eine Komponente, nämlich die für die Transportfahrzeuge gibt (Abb. 5).

In der Kategorie Direktfahrt wurden drei verschiedene Fahrzeuge verglichen, die im Folgenden näher beschrieben werden. Tab. 2 auf der nächsten Seite bietet hierfür einen ersten Überblick.

| Bemerkungen   | Maschine   |
|---|--|
| <p><b>Beschreibung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verschiedenste Kombinationen möglich</li> <li>• Exemplarisch Fendt 900er Vario &amp; Case IH Puma 180 CVX</li> <li>• Stufenloses Getriebe</li> <li>• Tridem-Anhänger oder Dolly-Achse + LKW-Sattelaufleger</li> </ul> <p><u>Vorteile gegenüber anderen Direktfahrem:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Traktor universell einsetzbar</li> <li>• Gute Geländeeignung</li> <li>• Hohe Durchschnittsgeschwindigkeit</li> </ul> <p><u>Nachteile gegenüber anderen Direktfahrem:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Kraftstoff- / Verschleißkosten</li> <li>• Hohe Anschaffungskosten</li> <li>• Geringe Nutzlast</li> <li>• Akzeptanz bei Anwohnern begrenzt (Außengeräusch, Wahrnehmung, ...)</li> <li>• Mäßiger Fahrkomfort</li> </ul>   |   <p style="text-align: center;"><i>Traktor &amp; Anhänger</i></p> |
| <p><b>Beschreibung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Standard 8 x 8 LKW Fahrgestell (8 von 8 Rädern angetrieben)</li> <li>• Spezielle Bereifung / evtl. mit Reifendruckregelanlage</li> <li>• Exemplarisch Bergmann Silieraufbau auf Mercedes Actros oder MAN TGS</li> </ul> <p><u>Vorteile gegenüber anderen Direktfahrem:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Handlichkeit durch fehlenden Anhänger</li> <li>• Extreme Geländeeignung</li> <li>• Geringe Anschaffungskosten</li> <li>• Minimaler Abstand zwischen Aufbau und Häcksler beim Anhäckseln</li> </ul> <p><u>Nachteile gegenüber anderen Direktfahrem:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ähnliche Kraftstoffkosten wie Traktor</li> <li>• Geringste Nutzlast im Vergleich</li> <li>• Geringste Durchschnittsgeschwindigkeit im Vergleich</li> <li>• Bei Geländebereifung ähnliche Außengeräuschentwicklung wie Traktor</li> <li>• Lausiger Fahrkomfort</li> <li>• Getriebe mit Zugkraftunterbrechungen</li> </ul> |   <p style="text-align: center;"><i>8 x 8 LKW (Agrotruck)</i></p> |
| <p><b>Beschreibung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau ähnlich wie Sattelzugmaschine</li> <li>• Zugmaschine Mercedes Zetros</li> <li>• Auflieger Kombination aus Rollband- &amp; Abschiebewagen (PullBox)</li> <li>• Kopplung per Kugel</li> <li>• Automatikgetriebe</li> </ul> <p><u>Vorteile gegenüber anderen Direktfahrem:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringste Kraftstoffkosten im Vergleich</li> <li>• Höchste Nutzlast &amp; Durchschnittsgeschwindigkeit im Vergleich</li> <li>• Gute Geländeeignung</li> <li>• Sehr guter Fahrkomfort</li> <li>• Keine Zugkraftunterbrechungen</li> </ul> <p><u>Nachteile gegenüber anderen Direktfahrem:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Anschaffungskosten</li> <li>• Reines Transportfahrzeug</li> </ul>   |   <p style="text-align: center;"><i>Secutor</i></p>            |

Tabelle 2: *Verglichene Maschinen Direktfahrt*

| Parameter          | Schleppergespann | 8 x 8 LKW       | Secutor         |
|--------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| Anschaffungspreis  | 211575 €         | 191585 €        | 237950 €        |
| Verbrauch Feld Ø   | 196,81 l/100 km  | 139,67 l/100 km | 142,86 l/100 km |
| Verbrauch Straße Ø | 63,36 l/100 km   | 71,23 l/100 km  | 51,15 l/100 km  |
| Nutzlast           | 20,0 t           | 12,5 t          | 21,3 t          |
| Geschw. Feld Ø     | 6,47 km/h        | 6,95 km/h       | 9,85 km/h       |
| Geschw. Straße Ø   | 37,80 km/h       | 36,00 km/h      | 44,02 km/h      |
| Entladezeit        | 70 s             | 70 s            | 70 s            |

Tabelle 3: *Preise und Technische Daten Direktfahrer*

### 2.1.1 Schlepper und Anhänger



Abbildung 6: *Gespanne aus schnelllaufenden Traktoren und Tridemanhängern werden oft eingesetzt.*

Die Kombination aus Schlepper und Anhänger ist traditionell die am häufigsten anzutreffende Form, landwirtschaftliche Güter zu transportieren. Die verwendeten Anhänger unterscheiden sich neben der Größe vor allem bezüglich des Fahrwerks sowie der Art und Weise ihrer Entladung.



Abbildung 7: In den neuen Bundesländern sind Gespanne aus zwei Drehschemelanhängern weit verbreitet (Foto: [www.agrartechnik-im-einsatz.de](http://www.agrartechnik-im-einsatz.de))

Besonders in den neuen Bundesländern sind Drehschemelanhänger traditionell weit verbreitet. Sehr oft sind sie als Zweiseitenkipper ausgelegt, was Voraussetzung für den Einsatz im Gespann mit einem zweiten Anhänger ist. Handlicher sind Einachs-, Tandem-, und Tridemanhänger. Für die Entleerung stehen Kipper, reine Silagetransportwagen mit Kratzbodenketten (nicht geeignet für feine Schüttgüter wie Getreide), Rollbänder, verschiebbare Vorderwände (Abschiebewagen) sowie, seit der AGRITECHNICA 2011, eine Kombination aus den beiden letzteren zur Verfügung. Da Häckselgüter nur eine relativ geringe Dichte (ca.  $400 \text{ kg/m}^3$ ) aufweisen, sind große Volumina bei den Transportfahrzeugen gefragt. Traktoranhänger sind mit bis zu  $60 \text{ m}^3$  erhältlich.

Als Vergleichsmaschinen standen mehrere Fendt der aktuellen 900er Baureihe mit  $60 \text{ km/h}$  Höchstgeschwindigkeit und Motorisierungen von 300 bis 390 PS zur Verfügung. Als Anhänger wurden ein Tridem-Abschiebewagen (Abb. 6), zwei Tridem-Silagetransportwagen sowie eine Kombination aus Dollyachse und LKW-Kippauflieger (Abb. 8) verwendet.

Schleppergespanne wurden am 29. 9. 2011 in der Nähe von Göttingen beim Lohnunternehmen SCHAPER (Abschnitt 2.3.6 auf Seite 43), sowie am 7. 10. 2011 zwischen Greifswald und Stralsund beim Lohnunternehmen "IVENACKER EICHEN" besichtigt.

Um einen direkten Vergleich zwischen einem modernen Schlepper-Anhänger-Gespann und einem Sattelzug auf der selben Fahrstrecke ziehen zu können wurde an einem Besuchstag eine Runde mit dem Gespann aus Fendt 930 Vario in  $60 \text{ km/h}$  - Ausführung mit Tridem-Abschiebewagen von USA equipment mitgefahren. Auf der selben Strecke wurde ein Mercedes-Benz Actros 1844 mit einem handelsüblichen Großraumkipppauflieger der Firma Kempf begleitet. Tab. 4 zeigt die gemessenen Daten im Überblick.

|                                      | Traktorgespann |       | Sattelzug |       |
|--------------------------------------|----------------|-------|-----------|-------|
|                                      | voll           | leer  | voll      | leer  |
| Strecke [km]                         | 27,08          | 27,08 | 27,16     | 23,73 |
| Zeit [min]                           | 45             | 36    | 35        | 26    |
| Fracht [t]                           | 20,80          | -     | 22,55     | -     |
| Geschwindigkeit $\varnothing$ [km/h] | 36,4           | 45,6  | 46,4      | 54    |
| Verbrauch $\varnothing$ [l/100 km]   | 85,16          | 66,89 | 58,40     | 37,50 |

Tabelle 4: *Vergleich zwischen Schlepper-Anhänger-Gespann und Sattelzug*

Hier fällt sogleich das enorme Einsparpotenzial welches, der Transport durch Standardlastkraftwagen bietet, ins Auge. Der Verbrauch des vollen Sattelzuges ist zudem der höchste aller während der Tour auf verschiedenen Sattelzügen gemessenen Werte. Das Mittel aus vier Messfahrten mit Standardsattelzügen betrug 43,2 l/100 km.

Aus Tab. 5 geht allerdings auch hervor, dass das hier betrachtete Gespann im Vergleich das "durstigste" ist. Dies hat vermutlich zwei Ursachen. Zum einen war das Gespann gleichzeitig dasjenige mit der geringsten Motorleistung - der Abstand zum nächstgrößeren Modell beträgt immerhin 22 kW. Dadurch läuft der Motor mit einer durchschnittlich höheren Drehzahl um die gewünschten Transportgeschwindigkeiten zu erreichen. Zum anderen waren bei dieser Fahrt in der Region zwischen Göttingen und Salzgitter auch deutlich größere Höhenunterschiede zu bewältigen als bei den anderen Fahrten im Landkreis Vorpommern-Greifswald.

An einem weiteren Besuchstag in Vorpommern konnten nochmals zwei Schleppergespanne bei der Arbeit beobachtet werden:

- Silagetransportwagen Hawe SLW 50 TN (ca. 50 m<sup>3</sup>) mit Fendt 939 Vario (60 km/h)
- Dolly von Stapel mit LKW-Kippauflieger (ca. 60 m<sup>3</sup>) und Fendt 936 Vario (60 km/h)

Ein sogenannter Dolly ist ein Anhänger, dessen Aufbau ausschließlich in einer LKW-Sattelplatte besteht. In der Landwirtschaft werden sie, quasi wie ein Adapter eingesetzt, um handelsübliche, großvolumige und preisgünstige Sattelaufleger mit dem Traktor zu ziehen. Diese Fahrzeuge gleichen dann, vom Prinzip her, einem Drehschemelanhänger. Mit der möglichen Einführung von längeren Lastzügen, beispielsweise dem EuroCombi könnten Dollys auch dort Verbreitung finden.



Abbildung 8: *Gespann aus Dolly, LKW-Auflieger und einem Fendt 936 Vario in 60 km/h-Ausführung*

Auffällig waren die sehr tiefen Spuren, welche die Hochdruckreifen des Aufliegers (nicht des Dollys) an der Ackeroberfläche hinterließen. Dabei waren die Bedingungen an diesem Tag durchaus normal, was die Witterung anbelangt. Während direkt benachbarte Spuren von Fahrzeugen mit großvolumiger Bereifung, beim Betreten noch federten, war die Spur der Hochdruckreifen so hart wie Beton oder Asphalt. Das lässt Schlüsse auf die starken Verdichtungen im Untergrund zu und bestätigt die im Abschnitt 1.3.2 auf Seite 4 geäußerte These, dass Hochdruckreifen auf dem Feld inakzeptabel sind.



Abbildung 9: *Bei zwei benachbarten Spuren wird der Unterschied deutlich: links LKW-Auflieger, rechts Fahrzeug mit Agrarbereifung; Abstand der beiden Spuren ca. 50 cm.*

Beim besuchten Lohnunternehmen sowie bei dessen Kunden, mit dem auch ein kurzes Gespräch geführt werden konnte, wird der Einsatz des Aufliegers mit Straßenbereifung auch eher als Notlösung angesehen.

Tabelle 5 stellt die bei den drei Traktoren von Fendt gemessenen Daten nebeneinander.

|                                      | Fendt 930 |       | Fendt 936 |       | Fendt 939 |       |
|--------------------------------------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|                                      | voll      | leer  | voll      | leer  | voll      | leer  |
| Strecke [km]                         | 27,08     | 27,08 | 13,69     | 13,17 | 21,97     | 21,08 |
| Zeit [min]                           | 45        | 36    | 21        | 16    | 29        | 24    |
| Fracht [t]                           | 20,8      | -     | 20,0      | -     | 19,0      | -     |
| Geschwindigkeit $\varnothing$ [km/h] | 36,4      | 45,6  | 39,9      | 48,6  | 46,2      | 53,3  |
| Verbrauch $\varnothing$ [l/100 km]   | 85,16     | 66,89 | 75,19     | 61,93 | 72,51     | 50,66 |

Tabelle 5: *Vergleich zwischen verschiedenen Schlepper-Anhänger-Gespannen*

Die betrachteten Schlepper entstammen alle der aktuellen Baureihe, wobei der 939er der einzige ist, der mittels SCR-Technik die europäische Abgasnorm der Stufe III B erfüllt. Bezüglich des Kraftstoffverbrauchs gelten derzeit die Traktoren der aktuellen Fendt 900er Baureihe als die sparsamsten am Markt. Angeboten werden die Schlepper in 6 Leistungsstufen von 177 kW (240 PS) bis 287 kW (390 PS). Alle Modelle sind mit dem, von Fendt selbst entwickelten, Vario-Getriebe ausgestattet, welches die Übersetzung elektronisch komplett stufenlos regeln kann. Als Spitzengeschwindigkeit stehen je nach Ausführung 40-, 50- oder 60 km/h zur Verfügung. Bei Erreichen der Höchstgeschwindigkeit, und wenn es die Lastzustände zulassen, kann die Getriebeübersetzung weiter vergrößert werden, was eine Reduzierung der Motordrehzahl und damit des Kraftstoffverbrauchs bei gleichbleibender Geschwindigkeit zur Folge hat.

Als einziger Schlepper im Vergleich war der Fendt 939 mit einer SCR-Abgasreinigung ausgestattet. Dabei werden die im Abgas enthaltenen Stickoxide reduziert indem eine Harnstofflösung (AdBlue) in den Abgastrakt eingespritzt wird. Diese reagiert in einem speziellen Katalysator, mit den Stickoxiden, wobei Wasser und Stickstoff entstehen. Aufgrund verschiedener Tests lässt sich sagen, dass solche Motoren etwas günstigere Verbrauchswerte aufweisen, da die Einspritzparameter wieder mehr auf Kraftstoffeffizienz als auf Reduktion der NOx-Werte optimiert werden können. Allerdings wird mit dem AdBlue ein zusätzlicher Betriebsstoff benötigt. Wie aus Tab. 5 hervorgeht wies dieses Gespann im Vergleich die besten Kraftstoffverbrauchswerte bei gleichzeitig höchster Transportgeschwindigkeit auf.

Die Gründe für den leicht höheren Verbrauch des 936 gegenüber dem 939 Vario könnten

- wie beim 930er in der geringeren Motorleistung (Tab. 4 auf Seite 13),
- der Abgasreinigung ohne SCR-Technik,
- der höheren Mindestmotordrehzahl bei Endgeschwindigkeit (1900- statt 1700 U/min),
- in der Fahrweise

oder auch in der Kombination dieser Faktoren begründet liegen.

Für die Berechnungen im Kostenkalkulator wurden die gemessenen Werte arithmetisch gemittelt. Da die in der Praxis verwendeten Gespanne sehr unterschiedliche technische Daten aufweisen können, wurden einheitliche Parameter angenommen. Somit ergeben sich für die Schleppergespanne die Werte in Tab. 3 auf Seite 11.

### 2.1.2 8 x 8 LKW

Verschiedene Fahrzeugbauspezialisten haben in den letzten Jahren LKW-Fahrgestelle mit der Radformel 8 x 8 (8 von 8 Rädern sind angetrieben) für landwirtschaftliche Zwecke ausgerüstet.

Exemplarisch sei an dieser Stelle der Mercedes-Benz Actros 4146 mit Aufbau von Bergmann näher beschrieben, der am 12. 10. 2011 beim Lohnunternehmen BABBE in Mecklenburg-Vorpommern besichtigt werden konnte.

Basis des Agrar-LKWs war ein Mercedes-Benz Actros 4146 8x8 mit folgenden besonderen Merkmalen:

- Drosselung auf 70 km/h
- Reifendruckregelanlage für alle 8 Reifen mit drei zusätzlichen Kompressoren (2000 l/min)
- Bereifung:
  - Vorderachsen: Michelin 16.00 R 20 x Z 2M
  - Hinterachsen: Michelin 800 / 45 R 26.5
- Zulassung so nur gültig in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein
- 2,75 m Fahrzeugbreite
- Silageaufbau von Bergmann
- Wiegeeinrichtung
- Leergewicht 19,5 t → Nutzlast 12,5 t bei 32 t zGG.
- Motor V 6, 335 kW (456 PS), Abgasnorm Euro 4
- halbautomatisches EPS-Getriebe

Mit der Reifendruckregelanlage wurden zur Straßenfahrt 4,5 bar für die Hinterachsen und 8 bar für die Vorderachsen eingestellt. Auf dem Acker fuhr das Fahrzeug mit 2 bar hinten und 3-3,5 bar vorne. Eingesetzt wird der Actros seit 2006, seitdem wurden 94000 Kilometer gefahren. Interessant war die Wahl der Reifen. Hier wurden in der Vergangenheit verschiedene Varianten geprüft, bis zur derzeitigen Bereifung gefunden wurde. Dabei waren die Lasten und Geschwindigkeiten wider Erwarten nicht das größte Problem, sondern die Verträglichkeit mit der Reifendruckregelanlage, das heißt, dass durch das ständige Auf- und Abpumpen Beulen entstanden, die zum Ausfall der Reifen führten. Mit einem Satz Reifen lassen sich nach Aussage der Fahrer etwa 40000 km absolvieren.



Abbildung 10: Der Mercedes Benz Actros wurde von der Firma Bergmann ausgestattet.

Bei dem zweiten Fahrzeug handelte es sich um einen MAN TGS 41.480, der vorne mit Continental Conti Contract in der Größe 445/65 R 22.5 und hinten mit Trelleborg Twin 422 in der Größe 650/45 R 22.5 bereift war. Der Aufbau von Bergmann mit ca. 45 m<sup>3</sup> hatte hinten einen etwas längeren Überhang. Die ackertaugliche Bereifung ohne Reifendruckregelanlage in Verbindung mit dem längeren Aufbau geht in diesem Fall deutlich zu Lasten der Straßeneignung. Zum einen geriet das beladene Fahrzeug auf mittelmäßig verschlissenen Asphaltstraßen mehrmals in ein Schlingern, was nach Aussage des Fahrers unbedenklich ist, nach eigenem Gefühl aber deutlich einen Grenzbereich anzeigt. Zum anderen brummen die Reifen bei Straßenfahrt recht heftig, sodass eine Reduzierung des Außengeräuschs im Vergleich zu einem Traktorgespann kaum gegeben sein dürfte. Auffällig war auch der subjektiv als groß wahrgenommene Wendekreis beider Laster.

Der Reiz dieser Fahrzeuge besteht in der besonderen Geländegängigkeit, weil alle Räder angetrieben sind, und der Handlichkeit, weil der Anhänger fehlt. Zudem sind die vierachsigen LKW perfekt zum Anhäckseln geeignet, weil der Abstand zwischen Feldhäcksler und Aufbau minimal gehalten werden kann. Durch ein Wechselsystem kann das Chassis auch zum Gülletransport oder zum Kalk- bzw. Miststreuen eingesetzt werden.

Wer beim Anblick der Motorleistungen eine gewisse "Sportlichkeit" bei den Fahrleistungen erwartet, wird leider enttäuscht. Die Verteilung der Leistung auf alle acht Räder verschlingt nach Aussage beider Fahrer schon bis zu 100 PS. Die lieferbaren Getriebe sind entweder voll manuell oder teilautomatisiert, auf jeden Fall aber weisen sie längere Schaltpausen auf. Die Fahrzeuge verlieren daher während des Schaltvorgangs sehr viel Fahrt. Um diese "zurückzugewinnen" ist ein enormes Drehmoment erforderlich, welches nur ausreichend große Motoren bieten.

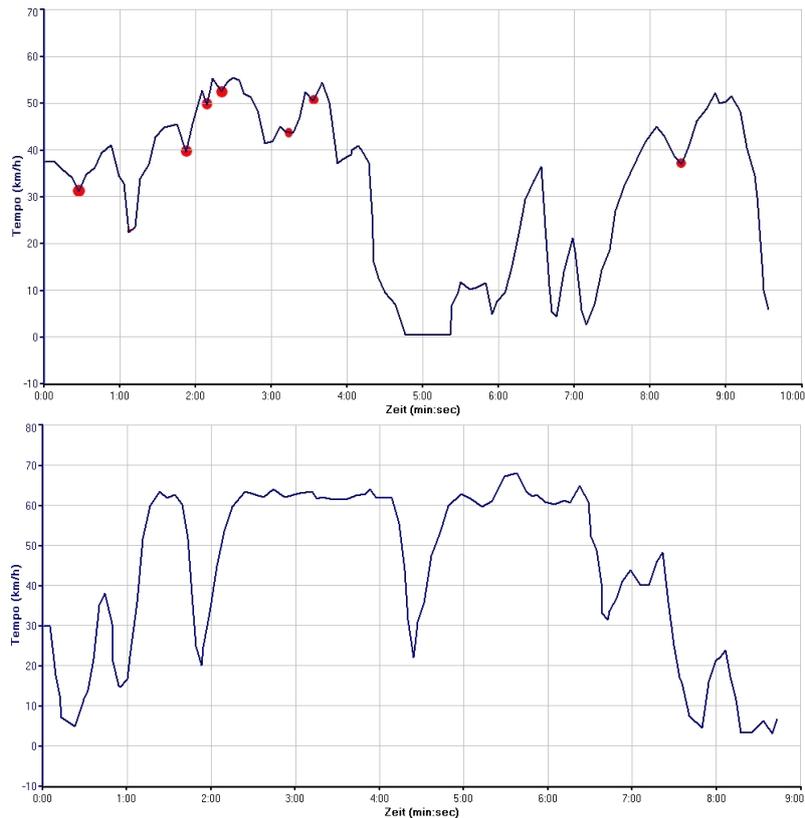


Abbildung 11: Die langen Schaltpausen beim teilautomatischen Getriebe des Actros (oben) sind im Geschwindigkeitsprofil mit roten Punkten markiert. Darunter: Geschwindigkeitsprofil des Secutor mit vollautomatischem Getriebe ohne Schaltpausen.

In Abb. 11 sind zwei mit der Technik aus den Abschnitten 3.1.2 auf Seite 51 und 4.1 auf Seite 59 erstellten, Geschwindigkeitsprofile zu sehen. Das obere ist vom Mercedes Actros 4146 8x8, das untere ist vom Secutor aus Abschnitt 2.1.3. Beide Profile sind bei unterschiedlichen Straßenfahrten entstanden. Auffällig ist der harmonischere Verlauf der Kurve beim Secutor. Beim Actros sind zudem die Schaltpausen als Geschwindigkeitssenkungen in den Bereichen der Beschleunigung erkennbar. Außerdem zeigt er ein allgemein niedrigeres Geschwindigkeitsniveau.

Die nötige Motorisierung und Kraftverteilung schlägt sich selbstverständlich stark im Kraftstoffverbrauch des Vierachser nieder. Die notierten, durchschnittlichen, Verbrauchswerte lagen bei zwei besichtigten Fahrzeugen bei 81 beziehungsweise 82 l/100 km. Fraglich ist auch, wie lange die auf Straßen- und Baustelleneinsätze konzipierten Getriebe den Einsatz im landwirtschaftlichen Transport aushalten. Beim MAN zeichnete sich jedenfalls am Besichtigungstag ein beginnender Getriebeschaden ab.

Bezüglich des Fahrkomforts vermittelten die Vierachser ein deutlich härteres Gefühl als die Traktoren. Dies ist vor allem auf die Sitzposition direkt über der ersten Achse und die straffe Blattfederung zurückzuführen. Vertikale Stöße werden bei diesen Fahrzeugen somit direkt an die Wirbelsäule des Fahrers weitergeleitet. Der subjektive Eindruck wird in einer zweiten Studie der FH Südwestfalen unter Leitung von Prof. Dr. Ludwig VOLK [11] mit Messwerten belegt.

Die belgische Firma Joskin bietet den Cargo Track an. Dieser basiert auf einem 8 x 8 Fahrgestell

von Iveco. Die Besonderheiten liegen zum einen in der gelenkten, vierten, Achse und zum anderen in der Kabine, die aus dem Bereich Erntemaschinen stammt.



Abbildung 12: *Beim Joskin Cargo Track wird neben den beiden ersten, auch die letzte Achse gelenkt. Die Kabine stammt von den New Holland Erntemaschinen.*

Leider konnte solch ein Fahrzeug nicht besichtigt werden, da laut Aussage von Joskin im gesamten Bundesgebiet keine Maschine im Einsatz ist. Allerdings dürften die technischen Daten nicht erheblich von den oben dargestellten abweichen.

Die technischen Daten, die den Kostenberechnungen zugrunde liegen sind in Tabelle 3 auf Seite 11 zusammengefasst.

### **2.1.3 Secutor**

Der Secutor wurde von der Firma Bruhns in Karstädt in Zusammenarbeit mit der Firma SGT aus Atzendorf entwickelt. Er konnte am 22. 10. 2011 während einer Vorführung beim Lohnunternehmen "IVENACKER EICHEN" in der Nähe von Stavenhagen in Mecklenburg-Vorpommern besichtigt werden.



Abbildung 13: *Der Anhänger des besichtigten Prototyps arbeitete noch nach dem Abschiebeprinzip. (Foto: Hersteller)*

Der Aufbau des Fahrzeugs ähnelt auf den ersten Blick einem Sattelzug, wobei die Zugmaschine ein Mercedes Zetros ist. Dieser wurde von Mercedes-Benz unter anderem für militärische Einsätze unter erschwerten Bedingungen, beispielsweise in Wüstenregionen konzipiert. Durch die Konzeption als Kurzhauber mit der Kabine hinter der Vorderachse werden sehr gute Fahreigenschaften im Gelände, eine geringe Bauhöhe sowie eine gute Zugänglichkeit zum Motor erreicht. Das komplette Fahrzeug ist für den schweren Off-Road-Einsatz konstruiert, was auf eine hervorragende Eignung für landwirtschaftliche Arbeiten schließen lässt. Die Bedienung des Zetros ist auch für Laien schnell verständlich. Der Motor leistet 326 PS, erfüllt die Abgasnorm Euro 5 mit SCR und überträgt seine Kraft über ein 6-stufiges Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler von Allison ohne Zugkraftunterbrechungen auf die Achsen. Diese sind für eine Reifendruckregelanlage vorgerüstet und beide permanent angetrieben (permanenter Allradantrieb). Als Secutor weist der Mercedes Zetros weitere Besonderheiten auf:

- Zulassung als landwirtschaftliche Zugmaschine (Ackerschlepper) durch Scharmüller-Kugelkupplung K150, 800 mm vor der Hinterachse montiert (s. auch 4.2.1 auf Seite 62)
- Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h gedrosselt, wahlweise 62 oder 90 km/h
- Bereifung:
  - Vorderachse 560/60 R 22.5 Alliance 380 Spur 2,19 m
  - Hinterachse 600/55 R 22.5 Alliance 380 Spur 2,15 m
  - Außenbreite über Bereifung 2.750 mm
- Reifendruckregelanlage in die Achse integriert und serienmäßig
- Hydraulik mit LS-Pumpe (140 l/min bei 200 bar), Öltank 200 l, und Bedienung über Müller ISO-Bus Terminal mit Joystick,

An den Zetros angehängt wird ein spezieller "Aufieger" der Firma SGT mit folgenden Besonderheiten:

- Fahrwerkshersteller Kaweco
- hydraulisch gefedert und elektrohydraulisch zwangsgelenkt
- 1. Achse liftbar
- Bereifung 600/55 R 26.5 Alliance 380, Außenbreite 2.750 mm
- Wechselfahrgestell mittels sechs TwistLock-Containerverschlüssen
- Verbindung zwischen Fahrwerk und Kugel über Hilfsrahmen zum Wechsel des Aufbaus, keine tragende Funktion
- selbsttragende Aufbauten (PullBox, Tank, Düngerstreuer, ...)
- Gewicht ca. 4900 kg
- PullBox:
  - Volumen ca. 56 m<sup>3</sup>
  - Leergewicht ca. 3400 kg
  - Entleerung mittels einer Kombination aus Rollband und Abschiebewand
  - Transport aller landwirtschaftlichen Schüttgüter möglich, rapsdicht

Die Zugmaschine erhält in dieser Ausführung alle Freigaben und Garantiebedingungen von Mercedes-Benz, das heißt, dass der Anwender sich auf den Service jeder Mercedes Nutzfahrzeug-Niederlassung verlassen kann. Die Verwendung der Scharmüller-Kugelpkupplung K150 in Verbindung mit einem Mercedes Zetros ist patentrechtlich geschützt.

Die Verwendung der Kugelpkupplung auf beliebigen Sattelzugmaschinen wäre theoretisch denkbar, auch eine Zulassung als landwirtschaftliche Zugmaschine (Ackerschlepper) wäre auf diesem Wege möglich. Aus fahrzeugtechnischer Sicht muss aber von einem solchen Vorhaben dringend abgeraten werden, da die Fahrwerksabstimmung der Sattelzugmaschinen den Halt voraussetzt, den die Sattelkupplung bietet. Ist der Sattelzugmaschine dieser Halt genommen, entsteht ein äußerst gefährliches Fahrverhalten!

Der Verkaufsstart für den serienmäßigen Secutor war auf der AGRITECHNICA 2011. In der Serie weist das Gespann ein Leergewicht von 18700 kg auf, was bei 40000 kg zulässigem Gesamtgewicht eine maximale Zuladung von 21300 kg ergibt. Der Rahmen der Zugmaschine soll mit einer speziellen Feder-Dämpfer-Abstimmung für höchste Geländegängigkeit sorgen. Die Motorleistung wird über ein vollautomatisches Getriebe mit Wandlerkupplung auf die zwei blattgefederten Außenplanetenachsen mit Trommelbremsen weitergegeben. Diese sind von Hause aus mit einer Reifendruckregelanlage ausgestattet.

Der besichtigte Secutor war eine Vorserienmaschine. Nach etwa 40000 km Testbetrieb zeichnet sich eine Standzeit der Reifen von ca. 70000 km ab. Durch die oben erwähnte Zulassung als landwirtschaftliche Zugmaschine und die Drosselung auf 60 km/h darf der Secutor mit der Führerscheinklasse T gefahren werden. Durch die Anordnung der Kugelpkupplung vor der Hinterachse ergibt sich im beladenen Zustand eine Gewichtsverteilung von 50:50 an den Rädern der Zugmaschine. Der Starrdeichselanhänger überträgt im beladenen Zustand 7 Tonnen seines Gewichts auf die Zugmaschine.

Der Aufbau des Fahrzeugs ähnelt auf den ersten Blick einem Sattelschlepper, wobei die Zugmaschine ein Mercedes Zetros ist.



Abbildung 14: *Der besichtigte Bruhns Secutor mit Abschiebeaufbau von SGT war eine Vorse-  
rienmaschine (links). Rechts eine der ersten Serienmaschinen mit PullBox.*

Der Auflieger stammte von SGT und arbeitete nach dem Abschiebeprinzip, das heißt, dass die Fracht beim Entladen von der hydraulisch verschiebbaren Vorderwand des Wagens nach hinten aus dem Wagen gedrückt wird.

Ebenfalls auf der AGRITECHNICA 2011 wurde von SGT ein neues Entladeverfahren, die sogenannte PullBox der Öffentlichkeit vorgestellt. Hierbei wird die Vorderwand von einem speziellen Förderband nach hinten gezogen. Dadurch wird dem Problem der zusätzlichen Druckkräfte auf die Seitenwände beim Abschiebevorgang begegnet. Diese können demzufolge leichter gebaut werden, sodass mit der PullBox ca. 4000 kg gegenüber dem Abschiebeaufleger eingespart werden konnten. In der Serie wird der Secutor mit der PullBox ausgeliefert [12].



Abbildung 15: *Beim Mercedes Zetros kann die Reifendruckregelanlage ab Werk geliefert werden.  
(Rechtes Foto: Hersteller)*

Mercedes Benz Spezial Trucks ließ im November 2010 bei der Harald Bruhns GmbH in 19357 Karstädt durch die FH Südwestfalen Messungen zu Dieserverbrauch und Fahrkomfort durchführen. Die dabei entstandene Studie soll nun auszugsweise zitiert werden. Dabei wurden ein Fendt 933 Vario und der Secutor miteinander verglichen [13]. Zu diesem Zweck wurde ein Rundkurs von 27,8 km mit Feldwegen, reparaturbedürftigen Landstraßen und einer intakten

Bundesstraße mehrmals befahren. Der Fahrkomfort führt neben dem gesundheitlichen Wohl des Fahrers zu einer kraftstoffsparenden Fahrweise und höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten, da Fahrbahnebenheiten mit weniger Änderungen der Fahrgeschwindigkeit überfahren werden können. Zudem ergibt sich (Zitate *kursiv*) *ein geringerer Verschleiß durch gedämpfte Erschütterungen an Chassis und Aufbauten.*

Der Kraftstoffverbrauch wurde mit einem [...] *Pierburg Messgerät erfasst, das zwischen Vor- und Rücklauf am Motor angeschlossen wurde. Die mögliche Abweichung von der exakten Messung am Messgerät lag bei 1 %. Der Fahrkomfort wurde mittels eines 3-D Beschleunigungssensors gemessen, der jeweils am Fahrersitz der beiden Fahrzeuge befestigt wurde. Damit wurden sowohl horizontale Schwingungen als auch Beschleunigungs- und Bremswerte erfasst.*

*[...] Schon während der Messfahrten wurde deutlich sichtbar, dass der Traktor [...] gerade beim Beschleunigen, hohe Kraftstoffverbräuche hat. [...] Auf den Feldwegen musste die Geschwindigkeit gelegentlich reduziert werden, um Gegenverkehr passieren zu lassen. Der Fendt Vario 933 erreichte dabei eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 33 km/h. Beim Zetros waren die Brems- und Beschleunigungsvorgänge etwa gleich häufig. Der Lkw beschleunigte deutlich schneller und bewältigte diese Teilstrecke mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 45 km/h und war damit auf dem Feldwegabschnitt rund 27 % schneller unterwegs. Die höhere Durchschnittsgeschwindigkeit auf den Feldwegabschnitten [...] und der auf Transporte ausgelegte Antriebsstrang im Lkw Zetros 1833 führen zu einer Ersparnis beim realen Dieserverbrauch von einem Drittel gegenüber dem Fendt 933 Vario. Anhand der Messdaten kann zusammenfassend festgestellt werden, dass der Traktor Fendt mit einem Verbrauchswert von 34 l/h für einen Traktor mit Ackerschlepperbereifung in einem relativ „günstigen“ Bereich liegt, der Zetros war mit 29 l/h Dieserverbrauch auf diesem Feldwegabschnitt deutlich im Vorteil.*



Abbildung 16: *Durch das Fahrwerk des Secutor können vor allem Off-Road Vorteile beim Kraftstoffverbrauch erzielt werden. (Foto: Hersteller)*

*Der zweite Abschnitt war eine gut ausgebaute Bundesstraße auf der eine Strecke von 12,2 km zurückgelegt wurde. Auf dieser Strecke konnten beide Transportgespanne mit [...] einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 52 km/h fahren. Trotz der hohen Durchschnittsgeschwindigkeit und*

den geringen Lastwechseln zeigte sich, dass der Zetros 1833 beim realen Dieselverbrauch 26 % sparsamer fuhr als der Fendt Vario 933. Dieser Vorteil dürfte ebenfalls auf das einfachere Getriebe und den für Transporte ausgelegten Antriebsstrang sowie die Bereifung zurück zu führen sein. Bei den Dieselmesswerten pro Stunde war der Zetros mit 25 l/h rund 9 Liter sparsamer als der Fendt.

[...] Auf der kompletten Strecke von 27,8 km war der Zetros mit 48 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit um 9 km/h unterwegs. Dieser Vorteil kann sowohl mit der besseren Beschleunigung des Zetros, als auch durch das sicherere Fahrgefühl im Lkw erklärt werden. [...] Der Fendt Vario 933 erreichte mit 24 Litern Verbrauch ein um 34 % höheren Verbrauch als der Zetros 1833 mit 16 l Dieselverbrauch auf der Messstrecke. Die Messungen ergaben pro 100 Kilometer einen Dieselverbrauch von 86,33 l pro 100 Kilometer Transportstrecke, bei wechselnden Straßenzuständen, für den Fendt 933. Auf die Betriebsstunde umgerechnet, ergibt sich ein Wert von 34 l/h. Der Zetros transportierte wirtschaftlicher und erreichte einen Wert von 57,55 Liter pro 100 Kilometer Transportstrecke und 27 l/h.

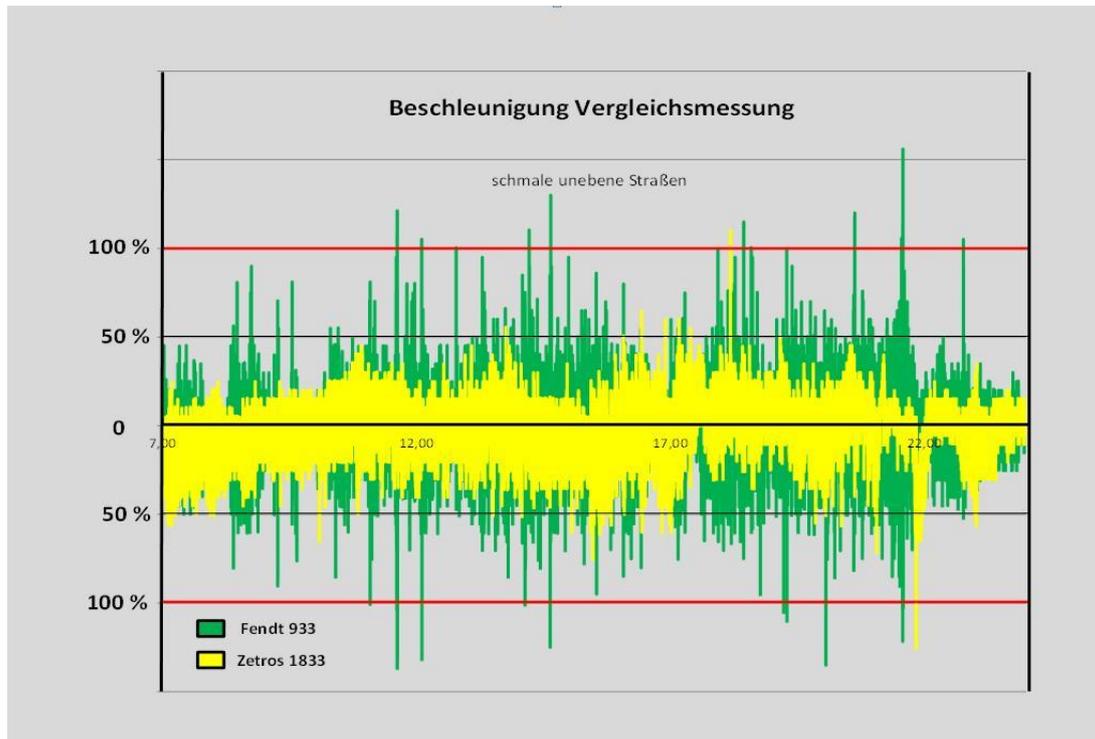


Abbildung 17: Fahrkomfort beim Fendt 933 und Mercedes Zetros 1833 (SOMMER, 2010)

Während der Messung wurde deutlich, dass zwischen den beiden Fahrzeugen Fendt 933 und Zetros 1833 Unterschiede im Fahrkomfort zu spüren waren. [...] Besonders wichtig bei der Bewertung von Fahreigenschaften bzw. des Fahrkomforts, sind die Schwingungen in y-Richtung. Die Schwingungen, die vom Fahrwerk in der Senkrechten, an den Fahrer weitergegeben werden, müssen durch die Wirbelsäule abgefedert werden. [...] Daher sollten die Beschleunigungen [...] nicht höher als 1 g [...] ( $9,81 \frac{m}{s^2}$ ) (Anmerkung des Verfassers) sein.

In der Fahrkomfortgrafik wurden die Schwingungen, der beiden Fahrzeuge in y - Richtung aufgetragen (Abbildung 17 auf der vorherigen Seite). Die rote Linie stellt mit 100 % eine Beschleunigung von 1 g dar. Deutlich ist zu sehen, dass die Ausschläge beim Fendt 933, hier grün dargestellt, deutlich größer waren, als die des Zetros in gelb. Auch überschritt der Traktor häufiger die Grenze von 1 g. Der Zetros fuhr durch sein komplett gefedertes Fahrwerk, sowie eine größere Lastaufnahme der Zugmaschine, im Vergleich zum Fendt ruhiger. [...] Daraus entsteht sowohl von der gesundheitlichen, wie auch von der wirtschaftlichen Betrachtung aus, ein Nutzen durch den besseren Fahrkomfort.

Die wichtigsten technischen Daten des Secutor sind in Tab. 3 auf Seite 11 zusammengefasst.

## 2.2 Direktes Überladen

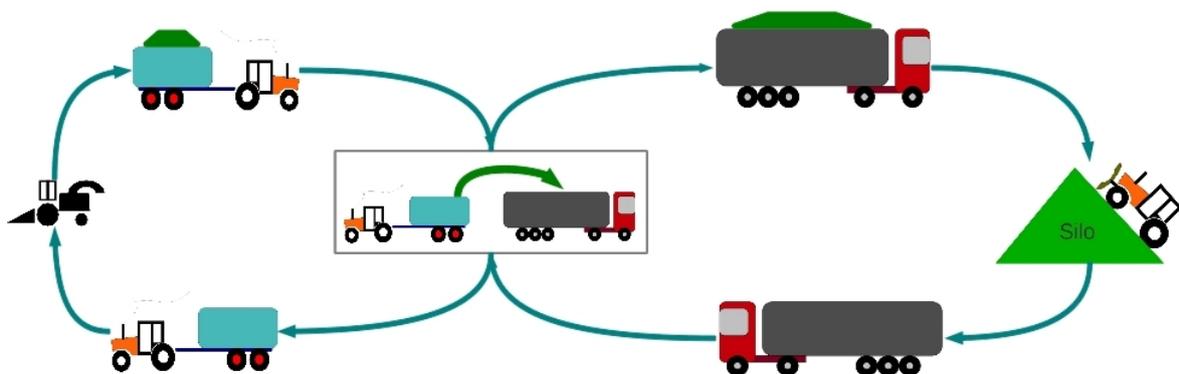


Abbildung 18: Prozessablauf beim direkten Überladen

Beim direkten Überladen belädt die Erntemaschine ein speziell ausgestattetes, ackertaugliches, Fahrzeug, welches das Erntegut am Feldrand, oder einer anderen geeigneten Stelle, direkt an ein zweites (straßentaugliches) Fahrzeug übergibt. Dieses zweite Fahrzeug bringt es dann zur endgültigen Lagerstätte.

Zum Straßentransport werden handelsübliche Lastkraftwagen für leichte Schüttgüter eingesetzt, beispielsweise Sattelzüge mit Schubboden- oder Kippauflieger. Diese können ein Volumen von 50 bis 100 Kubikmetern transportieren und haben eine Nutzlast von 20 bis 25 Tonnen. Die LKW stehen als Kauf- oder Mietangebot zahlreich zur Verfügung. Außerdem gibt es bundesweit viele Speditionen, die solche Transporte anbieten.



Abbildung 19: Sattelzüge mit Schubbodenaufleger bieten 90 bis 100 m<sup>3</sup> Volumen.

Aus Abb. 18 geht hervor, dass für den Transport nun zwei Maschinenarten zum System gehören, nämlich der Überladewagen als Feldfahrzeug und der Straßentransporter. Daraus ergibt sich, dass bei den Kosten beide Maschinen berücksichtigt werden müssen.

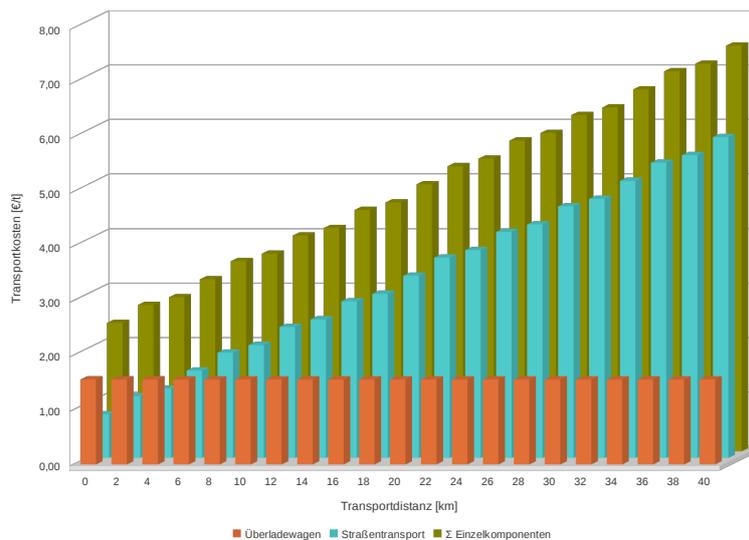


Abbildung 20: Die Transportkosten beim Direkten Überladen haben zwei Komponenten. (Beispiel)

Abbildung 20 zeigt, dass für die Kosten des Überladens selbst die Transportdistanzen irrelevant sind. Die Kosten "frei Feldrand" bleiben konstant. Stattdessen hat vor allem die jährliche Auslastung (Gesamttonnage), verbunden mit der benötigten Leistung des Feldhäckslers, Einfluss auf die reinen spezifischen Überladekosten. Dies gilt für alle Überladevarianten.

| Bemerkungen  | Maschine  |
|--|---|
| <p><b>Beschreibung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tridem Silagetransportwagen</li> <li>• Aufbau nach vorne kippbar</li> <li>• Entleerung mit Kratzboden</li> </ul> <p><u>Vorteile gegenüber anderen Überladewagen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relativ wenig Energieaufwand zum Überladen</li> <li>• Hohe Überladeleistung</li> <li>• Einfacher Aufbau, wenig bewegte Teile</li> <li>• Ladevolumen / Nutzlast entspricht etwa einer LKW-Ladung</li> </ul> <p><u>Nachteile gegenüber anderen Überladewagen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Standfestigkeit in hängigen Regionen</li> <li>• Straßentransporter muss während des Überladens bewegt werden → Kommunikation nötig</li> <li>• Keine direkte Sicht auf den Gutstrom beim Überladen → Verlustarmes Überladen nur mit Kameraüberwachung + Funk oder Einweiser möglich</li> <li>• Bröckelverluste</li> </ul> |  <p>Annaburger HTS 29.06<br/>Fieldliner</p>                |
| <p><b>Beschreibung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tridem Silagetransportwagen</li> <li>• Entleerung per Gebläse</li> <li>• Zuführung zum Gebläse mittels Kratzboden, Stauschieber, drei Dosierwalzen und 2 Zuführschnecken</li> </ul> <p><u>Vorteile gegenüber anderen Überladewagen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlustfreies Überladen</li> <li>• Sehr gute Prozessstabilität und Sicht</li> <li>• Auch zum Befüllen von Biogasanlagen geeignet</li> <li>• Ladevolumen / Nutzlast entspricht etwa einer LKW-Ladung</li> <li>• ÜW übernimmt Verteilen der Ladung → Straßentransporter kann stehen bleiben</li> </ul> <p><u>Nachteile gegenüber anderen Überladewagen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr energieaufwendig</li> <li>• Komplizierter Aufbau</li> <li>• Sehr hohe Anschaffungskosten</li> </ul>  |  <p>Hawe-Wester SUW 5000</p>                              |
| <p><b>Beschreibung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eigenbau auf Basis eines selbstfahrenden Rübensammlers von Gilles</li> <li>• Knickgelenkt, 6 x 6 Antrieb hydrostatisch</li> <li>• Aufbau nach vorne kippbar, Entleerung mit Kratzboden</li> </ul> <p><u>Vorteile gegenüber anderen Überladewagen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Niedriger Anschaffungspreis</li> <li>• Sehr gute Geländegängigkeit &amp; Handlichkeit</li> <li>• Relativ wenig Energieaufwand zum Überladen, Hohe Überladeleistung</li> </ul> <p><u>Nachteile gegenüber anderen Überladewagen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ladevolumen/Nutzlast zu klein für einen LKW</li> <li>• Kein Überladen ohne Kameras und Funk möglich</li> <li>• Bröckelverluste</li> </ul>  |  <p>Selbstfahrender<br/>Überladewagen<br/>LU Schmidt</p> |

Abbildung 21: *Verglichene Maschinen Direktes Überladen.*

Beim direkten Überladen ist zu berücksichtigen, dass prinzipbedingt jeder Wagen nur etwa 25 bis 30 % seiner Einsatzzeit überlädt. Den Rest braucht er zum Laden neben dem Häcksler beziehungsweise für die Fahrt zum Häcksler und zurück.

| <u>Parameter</u>                   | <u>Annaburger</u>               | <u>Hawe</u>                     | <u>SF-Wagen</u>                 |
|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Anschaffungspreis Anhänger</b>  | 103.910,00 €                    | 174.912,00 €                    | ca. 100.000 €                   |
| <b>Anschaffungspreis Schlepper</b> | 160.000,00 €                    | 160.000,00 €                    | -                               |
| <b>Verbrauch</b>                   | 10,05 l/h                       | 21,53 l/h                       | ca. 20,00 l/h                   |
| <b>Nutzlast / Ladevolumen</b>      | ca. 24 t (60 m <sup>3</sup> )   | ca. 24 t (60 m <sup>3</sup> )   | ca. 12 t (40 m <sup>3</sup> )   |
| <b>Überladeleistung</b>            | 230 t/h (576 m <sup>3</sup> /h) | 246 t/h (612 m <sup>3</sup> /h) | 175 t/h (590 m <sup>3</sup> /h) |

Tabelle 6: *Technische Daten und Preise von Maschinen für das Direkte Überladen*

### 2.2.1 Annaburger HTS 29.06 Fieldliner

Der Überladewagen von Annaburger konnte als Prototyp 26.9. und 27.9. 2011 KTG Agrar AG in Sachsen-Anhalt besichtigt werden. Dabei wurden drei Messfahrten durchgeführt.

Das Überladen beginnt damit, dass der Fieldliner am Feldrand so aufgestellt wird, dass der beladene LKW die Überladestelle problemlos verlassen kann. Nach dem Abstützen durch die vorne angebrachten hydraulischen Stempel, wird der Aufbau angehoben. Nun kann das Transportfahrzeug quer unter die hintere Ladekante fahren, die Heckklappe des Fieldliners wird geöffnet und der eigentliche Überladevorgang kann beginnen.



Abbildung 22: *Durch die lose Schüttung wird ein Schubbodenaufleger von einem Fieldliner gut ausgefüllt.*

Das Überladen funktioniert mittels Kratzboden. Dabei sind zwei in Fahrtrichtung über die komplette Wagenlänge auf dem Boden umlaufende Ketten mit Metalleisten quer verbunden. Durch diese wird die Ladung in die gewünschte Richtung verschoben.

Während des Überladens muss der Straßentransporter Stück für Stück vorfahren, um die Ladung auf der ganzen Länge des Fahrzeugs zu verteilen. Um stellenweises Überlaufen zu verhindern muss dabei im Bedarfsfall auch der Kratzboden durch den Schlepperfahrer gestoppt werden. Nachdem der Wagen leer ist, kann das Transportfahrzeug wegfahren, der Aufbau abgesenkt sowie die Stützen eingefahren werden.

Abgesehen von kleineren "Kinderkrankheiten", deren Beseitigung durch den Geschäftsführer von Annaburger zum Serienstart zugesichert wurde, hat das Fahrzeug den Vorteil, dass mit einer Wagenfüllung auch ein LKW komplett befüllt werden kann. Dies reduziert die Wartezeiten der Straßenfahrzeuge und die Entladezeit des Wagens, da keine teilbeladenen LKW aufgefüllt werden müssen.

Zum Überladen eines Wagens wurden 3 bis 4 Minuten gemessen. Laut Hersteller beträgt die Überladezeit etwa 2 Minuten. Die Differenz zu den selber gemessenen Zeiten entsteht vermutlich dadurch, dass mit auf 400 U/min reduzierter Zapfwellengeschwindigkeit überladen wurde um die Verluste zu minimieren. Diese betragen pro Überladevorgang etwa 30 bis 50 kg, was bei geschätzten 25 Tonnen Wageninhalt 0,1 bis 0,2 % entspricht. Dieser Wert lässt sich aber sicherlich noch durch kleinere konstruktive Maßnahmen deutlich reduzieren. Durch das Kratzbodenprinzip wird es allerdings immer im vorderen Bereich des Wagens zu Rieserverlusten kommen weil die Kratzbodenleisten einen Teil der Ladung mit nach vorne nehmen, wo sie durch das Umlenken der Kette hinunterfällt. Prinzipiell werden Überladeleistung und Verlustmengen maßgeblich von der Abstimmung zwischen Schlepper- und LKW-Fahrer beeinflusst.

Die, den Berechnungen zugrunde liegenden technischen Daten, sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

### **2.2.2 HAWE-Wester SUW 5000**

Am 26./27. 9. 2011 konnte bei der KTG Agrar AG in Sachsen-Anhalt ein erster Eindruck vom Hawe-Wester SUW 5000 gewonnen einige Messungen vorgenommen werden. Ergänzend konnten am 12.10. Messungen an drei aktuellen Wagen beim Lohnunternehmen BABBE in Mecklenburg-Vorpommern vorgenommen werden.

Der Aufbau des Wagens ähnelt dem eines klassischen Silagetransportwagens mit Kratzbodenentleerung. Beim SUW allerdings läuft der Kratzboden in Fahrtrichtung nach vorne. An der Vorderseite des Wagens befindet sich die Überladeeinrichtung, die aus dem Stauschieber, drei Dosierwalzen und zwei Zuführschnecken sowie einem Wurfgebläse mit Vorbeschleuniger und Auswurfkrümmer besteht. Letzterer hat einen Schwenkbereich von 280°, sodass beidseitig Transportfahrzeuge befüllt werden können.

Zum Überladen wird zunächst der Auswurfkrümmer ausgeklappt und die Zapfwelle des Schlepvers gestartet. Nachdem der Stauschieber geöffnet wurde, kann das Überladen beginnen, wobei die Überladegeschwindigkeit durch den Vorschub des Kratzbodens einstellbar ist.



Abbildung 23: *Mit dem Hawe-Wester SUW 5000 waren die besuchten Praktiker wegen der Prozessstabilität sehr zufrieden. Von Nachteil sind die hohen Kosten des Verfahrens.*

Die Überladeleistung hängt vor allem von der Motorleistung des antreibenden Schleppers ab. Gemessen wurden die Überladezeiten und die Kraftstoffverbrauchswerte während des Überladens mit Fendt 930 Vario (ca. 300 PS). Aus diesen Daten ergab sich eine durchschnittliche Überladeleistung von 224 t/h bei 31,7 l/h als Durchschnittsverbrauch während des reinen Überladevorgangs. Der durchschnittliche Verbrauch für die Maschinenleistung insgesamt wurde im Terminal des Schleppers mit 18,6 l/h angezeigt. Verluste traten nicht in nennenswerter Menge auf.

Bei der KTG Agrar AG werden die Wagen seit zwei Jahren neben der Silageernte auch ganzjährig zum Beschicken von Biogasanlagen eingesetzt. Aufgrund der daraus resultierenden hohen Auslastung traten bereits erste Verschleißerscheinungen an den Fahrzeugen auf. Im Vergleich zu dem Wagen bei der KTG gab es beim Lohnunternehmen BABBE einige Detailveränderungen und Sonderausstattungen zu sehen:

- Abdeckung über dem eingeklappten Krümmer
- hydraulische Bordwanderhöhungen
- modifiziertes Überladeaggregat u.a. mit weiter öffnendem Stauschieber
- Heckentladung wie beim einfachen Silagetransportwagen möglich

Am 22. 10. war beim Lohnunternehmen "IVENACKER EICHEN" in der Nähe von Stavenhagen in Mecklenburg- Vorpommern ebenfalls ein SUW 5000 zu beobachten, der als Vorführmaschine dort im Einsatz war und von einem Fendt 939 Vario gezogen und angetrieben wurde. Bei einer Messung wurden etwa 4:30 Minuten als Entladezeit für einen vollen Wagen (geschätzt ca. 23 t) gemessen. Das würde eine Überladeleistung von 307 t/h bedeuten. Die Überladeleistung scheint also maßgeblich von der Motorleistung abzuhängen. Dieser Eindruck wurde auch vom Fahrer bestätigt. Als durchschnittlicher Verbrauch des Schleppers für die letzten Tage wurden 23 l/h abgelesen.

Die oben geschilderten Daten sind ebenfalls in Tabelle 6 auf Seite 28 zusammengefasst.

### 2.2.3 Selbstfahrender Überladewagen

Das Lohnunternehmen SCHMIDT im Niedersächsischen Adelebsen setzt seit nunmehr 5 Jahren mehrere selbstfahrende Überladewagen für Schläge ein, die größere Hof - Feld - Entfernungen aufweisen. Dies ist im Durchschnitt an 20 Tagen im Jahr der Fall. Am 28. 9. konnten die Fahrzeuge in der Nähe von Göttingen bei der Arbeit beobachtet werden.

Die Überladewagen basieren auf gebrauchten Rübensammlern der belgischen Firma Gilles. Von der Firma SCHMIDT wurden für den Einsatz als Überladewagen in Eigenleistung einige Änderungen vorgenommen:

- Entfernen der kompletten Sammeleinrichtung und der Gitter im oberen Teil des Aufbaus
- Vergrößern des Aufbaus durch erhöhte Bordwände
- Installation von längeren Hubzylindern zum Anheben des Aufbaus
- Installation von drei Kamerasystemen, eines davon blickt von oben in das Transportfahrzeug



Abbildung 24: *Diese Überladefahrzeuge basieren auf Rübensammlern von Gilles und wurden in Eigenleistung modifiziert*

Laut Angabe von SCHMIDT haben seine Überladefahrzeuge ein Leergewicht von 16 Tonnen. Der Motor von DAF leistet ca. 400 PS und treibt alle sechs Räder hydrostatisch an, was für Einsatzsicherheit unter schwierigen Bedingungen sorgt. Dabei verbraucht er durchschnittlich etwa 20 l/h. Da auf den Maschinen keine Verbrauchsanzeige installiert war, konnte dieser Wert nicht überprüft werden. Auf der Straße sind die Überladewagen mit 20 km/h bauartbedingter Höchstgeschwindigkeit unterwegs. Der Aufbau arbeitet nach dem Kratzbodenprinzip (Abschnitt 2.2.1).

Wie beim gezogenen Wagen von Annaburger beginnt das Überladen damit, dass das Fahrzeug am Feldrand so aufgestellt wird, dass der beladene LKW die Überladestelle problemlos verlassen kann. Erst am endgültigen Standort wird der Aufbau angehoben, um das Kipprisiko zu reduzieren. Nun kann das Transportfahrzeug quer unter die hintere Ladekante fahren, die Heckklappe des Wagens wird geöffnet und der eigentliche Überladevorgang beginnt. Ebenfalls wie beim HTS.29.06 von Annaburger muss das Transportfahrzeug während des Überladens

Stück für Stück vorfahren, um die Fracht auf der ganzen Länge der Ladefläche zu verteilen. Um stellenweises Überlaufen zu verhindern muss dabei im Bedarfsfall auch der Kratzboden durch den Fahrer gestoppt werden. Wenn der LKW nach dem Überladen nicht voll ist, stößt er einige Meter zurück, sodass das Feldfahrzeug seinen Aufbau absenken kann und für das Fahrzeug der Weg frei ist.

Das fortgeschrittene Alter der Überladewagen führt laut Herrn Schmidt öfter zu Ausfällen, als dies bei neuerer Technik der Fall wäre. Weiterhin entspricht der Fahrerstand mit fehlender Klimaanlage und schlechter Ergonomie nicht mehr den heutigen Anforderungen. Allerdings spricht die geringe Auslastung gegen eine Investition in modernere (teurere) Technik.



Abbildung 25: Der Aufbau fasst ca.  $40 \text{ m}^3$ , Die Kabinen könnten moderner sein.

Für eine LKW-Ladung (ca.  $60 \text{ m}^3$ ) sind 1,5 Ladungen der Überladefahrzeuge nötig. Daraus folgt, dass die Fahrzeuge jeweils um die  $40 \text{ m}^3$  Fassungsvermögen haben. Das Überladen der ersten (kompletten) Ladung auf ein leeres Transportfahrzeug geht mit 1:00-1:30 Minuten deutlich schneller als die zweite (halbe) Ladung. Als reine Überladezeit für einen LKW wurden Werte zwischen 2 und 2:30 Minuten gemessen. Da das Häckselgut relativ trocken und leicht war, wurden Gewichte von "nur" 17 bis 19 Tonnen pro LKW gemessen. Als spezifische Überladeleistung ergeben sich damit 408 bis 570 t/h. Die Verluste betragen schätzungsweise 15 bis 25 kg pro Überladevorgang was bei 16 Tonnen Ladung 0,1 bis 0,2 % bedeutet.

Auch für den selbstfahrenden Überladewagen wurden die wichtigsten Daten in Tabelle 6 auf Seite 28 zusammengefasst.

#### 2.2.4 Weitere Überladewagen

In diesem Abschnitt sollen zwecks einer kleinen Marktübersicht weitere Systeme für das direkte Überladen vorgestellt werden.

**Demmler Überladewagen** Der Überladewagen von Demmler arbeitet nach dem Abschiebeprinzip. Dies hat den Vorteil, dass mit diesen Wagen auch Getreide überladen werden kann und vermutlich weniger Rieselverluste im vorderen Bereich auftreten dürften. Was die Kosten betrifft, dürfte dieser Wagen ähnlich wie die Maschine von Annaburger einzuordnen sein.



Abbildung 26: *Der Demmler Überladewagen arbeitet mit der Abschiebetechnik (Foto: Hersteller)*

**Kaweco Überladewagen** Die niederländische Firma Kaweco hat auf der Agritechnica 2011 einen Überladewagen vorgestellt, der dem Annaburger Fieldliner prinzipiell sehr ähnelt.



Abbildung 27: *Der Kaweco Überladewagen ähnelt dem Wagen von Annaburger (Foto: Brüse, Redaktion profi)*

Der 42 m<sup>3</sup> große Aufbau hat angehoben eine Überladehöhe von 4,50 m. Zusätzlich lässt sich die Mulde um 1,20 nach hinten verschieben, wodurch eine größere Überladeweite erzielt wird.

**Fliegl** Der Nutzfahrzeughersteller Fliegl bietet für seine weit verbreiteten Abschiebewagen zwei Ergänzungen zum Überladen von Silage an. Bei dem einen System wird eine Schnecke mit 600 mm Durchmesser eingesetzt, die je nach Material laut Hersteller ca. 10 m<sup>3</sup>/min (das entspricht 240 t/h) fördern kann.

Bei dem anderen fungiert ein zweiter Kratzboden als Überladeeinrichtung. Dieser wird während der Fahrt nach unten geklappt.

**Vicon T-Rex Shuttle (Veenhuis Shuttle)** Bei diesem Überladewagen wird mittels einer Scherenkonstruktion der komplette Aufbau auf eine Höhe von ca. 4,70 m angehoben. Der T-Rex Shuttle fasst laut Hersteller 30,5 m<sup>3</sup>. Der Kratzboden wird hydraulisch angetrieben und ermöglicht eine Umladezeit von ca. 2 Minuten. Bei einer Dichte von 0,4 t/m<sup>3</sup> würde das eine Überladeleistung von 360 t/h bedeuten. Um die Verluste zu minimieren, schieben sich beim Öffnen der Heckklappe die Seitenwände und die Rückwand nach oben und ein Teil der Heckklappe klappt über den Rand des Lastwagens. Um die Standsicherheit während des Überladens zu erhöhen ist eine teleskopierbare Achse lieferbar.



Abbildung 28: Die Maschinen von Fliegl (links mit Schnecke und rechts mit Kratzboden) konnten leider nicht besichtigt werden. (Fotos: Brüse, Redaktion profi)



Abbildung 29: Der Vicon T-Rex Shuttle (Veenhuis Shuttle) fasst etwa 30 m<sup>3</sup> DIN. (Foto: Hersteller)

## 2.3 Indirektes Überladen

**Allgemeines zum Indirekten Überladen** Generell sind beim Indirekten Überladen drei Maschinen am Transport beteiligt. Analog zu den vorher beschriebenen Verfahren sind hier also bei der Kostenberechnung drei Komponenten (Feldtransporter, Überlademaschine, Straßen-transporter) zu berechnen und anschließend zu summieren.

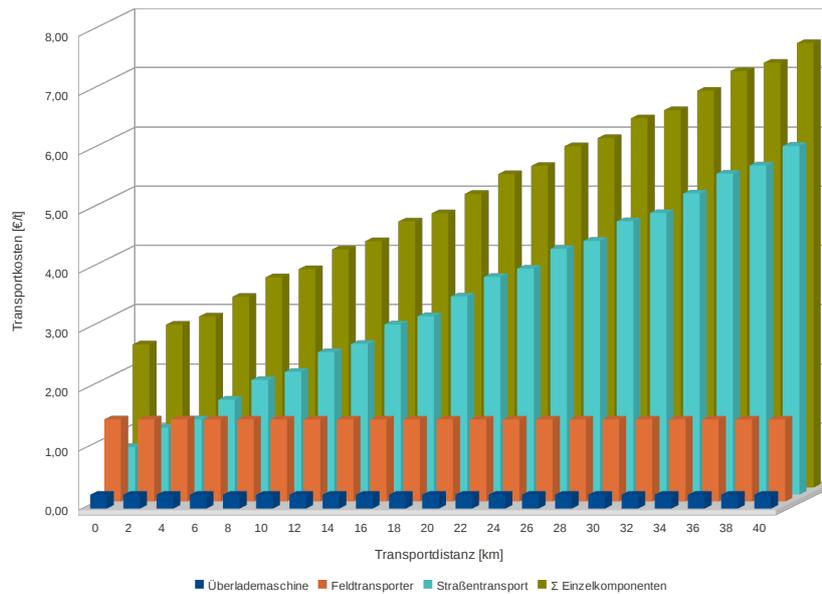


Abbildung 30: *Beim indirekten Überladen sind drei Komponenten bei der Kostenberechnung zu berücksichtigen.*

Wie beim Direkten Überladen bleiben bei der Variation der Transportdistanz die Kosten "frei Feldrand" konstant. Dazu gehören der Feldtransporter und die Überlademaschine. Variieren die Gesamttonnage bzw. die Leistung der Erntemaschine, so hat dies Einfluss auf alle Kostenkomponenten.

Beim Indirekten Überladen allgemein muss die Überlademaschine in der Lage sein, den maximal möglichen Gutstrom des Feldhäckslers sofort zu überladen. Dies gilt auch für die Verfahren mit Puffer. Bei diesen besteht ansonsten die Gefahr der zu langen Lagerung. Bei den Varianten ohne Puffer entsteht bei Überlastung der Überlademaschine ein "Flaschenhals" in der Logistikkette.

### 2.3.1 Indirektes Überladen mit logistischem Puffer

Beim Indirekten Überladen mit logistischem Puffer bringen die Feldfahrzeuge das Häckselgut ausschließlich zu einem Überladeplatz und schütten dort eine Feldmiete auf. Der Überladeplatz sollte möglichst befestigt, zumindest aber eben sein. Als Feldfahrzeuge kommen alle für den Transport von leichten Schüttgütern geeigneten, ackertauglichen Fahrzeuge in Frage.

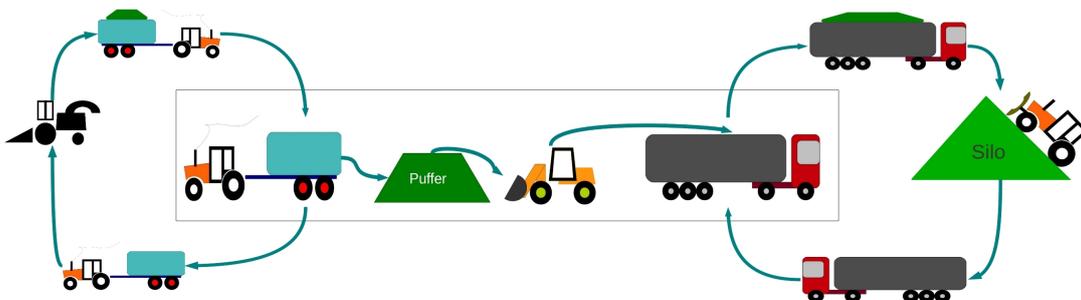


Abbildung 31: *Die Einführung eines Pufferspeichers sorgt für Sicherheit in der Prozesskette.*

Am Überladeplatz wird mit einer separaten Maschine das Häckselgut von der Feldmiete auf handelsübliche Lastkraftwagen für leichte Schüttgüter, beispielsweise Sattelzüge mit Schubboden- oder Kippauflieger verladen. Im Folgenden sollen zwei dieser Maschinen näher beschrieben werden. Die dritte Variante, das Überladen mit Baggern, konnte leider nicht im Einsatz beobachtet werden.

Bei einem Standortwechsel fahren der Häcksler und zwei bis drei Feldfahrzeuge voraus, während die Überlademaschine noch die Reste der alten Feldmiete überlädt. Wenn die Überlademaschine dann am neuen Standort eintrifft, ist die Häckselkette dort bereits seit einiger Zeit aktiv und die neue Feldmiete schon angelegt. Sofern Straßentransporter vorhanden sind, kann sofort mit dem Überladen begonnen werden.

Die große Feldmiete stellt bei diesem Verfahren den Puffer dar. Dadurch ist die Häckselkette weitestgehend unabhängig von der Abfuhrlogistik. Der monetäre Nutzen dieses Vorteils ist nur sehr schwer einzuschätzen. Allerdings muss darauf geachtet werden, dass das Erntegut trotzdem zügig einsiliert wird, da sonst die Silage verderben könnte. Laut einem Futterberater sollten zwischen Ernte und Silierung nicht mehr als zwei bis drei Stunden liegen, wobei die Fahrzeit natürlich einbezogen werden muss [VALENTIN mdl.]. Abhängig von der benötigten Fahrzeit zum Silo kann also bis zu zwei Stunden ohne Straßentransporter weitergehäckselt werden. Je nach Durchsatz des Häckslers fallen in dieser Zeit 200 bis 500 Tonnen bzw. 500 bis 1250 m<sup>3</sup> an.

Das statische Flussmodell in der Logistik kennt keine Lagerbestände, weil die Bestände in jedem Knoten konstant sind [3]. Nur ein dynamischer Fluss kann durch temporäre Ungleichheit von Zu- und Abfluss Bestände in Knoten auf- und abbauen. Demzufolge weist das indirekte Überladen mit Puffer im Unterschied zu allen anderen hier behandelten Transportverfahren einen dynamischen Fluss auf, der auch beabsichtigt wird.

| Bemerkungen   | Maschine  |
|---|---|
| <p><b>Beschreibung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basis komplett regenerierte Rübenverlademaus</li> <li>• Bekommt Umbau für Silomais bei Ropa</li> <li>• Fördereinrichtungen im dreidimensional schwenkbaren Ausleger</li> </ul> <p><u>Vorteile gegenüber anderen Indirekten Überlademaschinen mit Puffer:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Leistung</li> <li>• Kein Rangieren → weniger Verluste und Verschmutzung</li> <li>• Überbrücken von Hindernissen zwischen Feldmitte und Transportfahrzeug möglich</li> </ul> <p><u>Nachteile gegenüber anderen Indirekten Überlademaschinen mit Puffer:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Anschaffungskosten</li> <li>• Kein Verladen von Grassilage möglich → geringe Flexibilität</li> <li>• Geringe Auslastung</li> </ul> |  <p>Ropa NawaRo-Maus</p> |
| <p><b>Beschreibung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Radlader 16 t mit 5 m<sup>3</sup> Hochkippschaufel</li> </ul> <p><u>Vorteile gegenüber anderen Indirekten Überlademaschinen mit Puffer:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Flexibilität und Auslastung</li> <li>• Standardtechnik</li> </ul> <p><u>Nachteile gegenüber anderen Indirekten Überlademaschinen mit Puffer:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Überladeleistung</li> <li>• ständiges Rangieren auf dem Überladeplatz → Verluste und Verschmutzung</li> <li>• ständiges Rangieren auf dem Überladeplatz kann unter widrigen Bedingungen zum Totalausfall führen</li> </ul>   |  <p>Radlader</p>         |

Abbildung 32: Vergleichene Maschinen indirektes Überladen mit Puffer.

| <u>Parameter</u>         | <u>Ropa NawaRo-Maus</u>         | <u>Radlader</u>                 |
|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Anschaffungspreis</b> | 180.000,00 €                    | 189.566,00 €                    |
| <b>Verbrauch</b>         | 10,00 l/h                       | 18,86 l/h                       |
| <b>Überladeleistung</b>  | 267 t/h (668 m <sup>3</sup> /h) | 158 t/h (395 m <sup>3</sup> /h) |

Tabelle 7: Technische Daten und Preise von Maschinen für das Indirekte Überladen mit Puffer

### 2.3.2 ROPA NawaRo-Maus

Am 27. 9. 2010 konnte die Ropa NawaRo-Maus des Lohnunternehmers METZGER in der Nähe von Genthin bei der Arbeit beobachtet werden. Die Ropa-Nawaro-Maus basiert auf einer gebrauchten Rübenverlademaus. Diese wird komplett regeneriert und anschließend mit einer speziellen Aufnahme für Häckselgüter versehen. Zusätzlich werden die gitterartigen Rübenförderbänder mit Gummimatten abgedichtet. Der Mercedes-Motor leistet 299 PS und verbraucht durchschnittlich etwa 10 l/h. Je nach Kaufpreis für die gebrauchte Rübenmaus belaufen sich die Anschaffungskosten auf 170000 bis 200000 €. Die durchschnittliche Leistung beim Beladen von vier LKWs betrug 265 t/h.



Abbildung 33: Die Rübenaufnahme wurde durch eine solche für Mais ersetzt und die Förderbänder abgedichtet.

Am Überladeplatz angekommen, ist die Maus innerhalb von 3 - 4 Minuten einsatzbereit, zum Wechsel auf Straßenfahrt wird etwa dieselbe Zeit benötigt. Es kann also, sofern Transportfahrzeuge vorhanden sind, sofort mit dem Überladen begonnen werden.



Abbildung 34: Durch das Zwischenlagern in einer Feldmiete entsteht ein großer Puffer. (Foto: Hersteller)

Hierzu fährt die Maus im Zeitlupentempo mit der Aufnahme durch die Miete. Die Aufnahme übergibt das Häckselgut an eine Kette von mehreren Förderbändern, wovon zwei an einem dreidimensional beweglichen Ausleger befestigt sind. Dieser misst etwa 13 m in der Länge. Somit kann das Transportfahrzeug stehend, nur durch Bewegen des Auslegers gleichmäßig befüllt werden. Auch das Verladen über Hindernisse wie Gräben oder Hecken hinweg ist problemlos möglich. Wenn die Maus sich etwa bis zur Hälfte in die Miete "hineingefressen" hat, schütten

die Feldtransporter hinter der Maus die Miete erneut auf. Wenn dann die Maus das Ende der Miete erreicht hat fängt sie am Anfang der Miete wieder an und ein neuer Durchgang beginnt.

Als entscheidender Nachteil dieses Verfahrens ist die Verschmutzungsgefahr der Silage durch Aufnahme von Erde zu bewerten. Am Besuchstag herrschten weitestgehend trockene Bedingungen, sodass es auf den Verladeplätzen keine problematischen Fahrspuren gab. Unter diesen Verhältnissen konnte keine nennenswerte Aufnahme von Erde festgestellt werden. Lediglich die auf dem Verladeplatz stehenden Maisstoppeln wurden teilweise mit aufgenommen.

Zusätzlich kann die Verschmutzung dadurch minimiert werden, dass erst beim letzten Durchgang die Aufnahme ganz abgesenkt wird um die Verluste durch liegengelassenes Häckselgut zu minimieren. Vorher wird mit leicht angehobener Aufnahme gearbeitet, um Bodenkontakt definitiv auszuschließen.



Abbildung 35: Nach getaner Arbeit hinterlässt die NawaRo-Maus einen gleichmäßigen Teppich.

Am Ende hinterlässt die Maus am Verladeplatz einen gleichmäßigen, 2-3 cm dicken, Teppich auf einer Fläche von etwa 50 Metern Länge und 12 Metern Breite. Dies entspricht einem absoluten Verlust von 12 bis 18 Kubikmetern. Bei einer angenommenen Dichte der Silage von  $400 \text{ kg/m}^3$  und 3600 an diesem Platz verladene Tonnen ( $9000 \text{ m}^3$ ) ergeben sich daraus prozentuale Verluste von 0,1 bis 0,2 %.

Im Vergleich mit der Maschine vom Lohnunternehmen SCHAPER in Abschnitt 2.3.6 auf Seite 43 muss bedacht werden, dass die absoluten Verlustmengen bei der still stehenden Palandt-Maus mit der überladenen Menge linear zunehmen, während sie bei der Ropa-Nawaro-Maus durch das Nachsetzen teilweise wieder aufgesammelt werden. Ein manuelles Aufsammeln wäre bei der Palandt-Maus durch das haufenweise Ablagern der Verlustmengen zwar möglich, wird aber nicht praktiziert. Durch die großflächige Verteilung der Verluste bei der Ropa-Nawaro-Maus ist dort manuelles Aufsammeln kaum praktikabel.

Die Ropa-Nawaro-Maus ist, laut Aussage des Fahrers, nur zum Verladen von Mais- und Ganzpflanzensilage (GPS) geeignet. Bei Grassilage besteht die Gefahr des Aufschiebens vor der Aufnahme oder des Verklumpens auf den Förderbändern.

### 2.3.3 Radlader

Das Lohnunternehmen BLUNK setzte in der Saison 2011 unter anderem Radlader zum Überladen von Silomais ein. Am 11. 10. konnten die Arbeiten mit der Maschine im Landkreis Güstrow beobachtet werden. Durch die starken Niederschläge konnte leider nur das Überladen von zwei Sattelzügen mit Schubbodenaufleger genauer betrachtet werden, danach wurden die Arbeiten vorübergehend eingestellt. Zum Überladen stand eine ebene Betonäche zur Verfügung, allerdings wurde sonst auch direkt am Feltrand auf losem Untergrund überladen. Das Verfahren gleicht weitestgehend dem Überladen mit der ROPA NawaRo-Maus in Abschnitt 2.3.2 auf Seite 37. Deshalb ergeben sich auch dieselben prinzipbedingten Vor- und Nachteile gegenüber den anderen Überladeverfahren. Gegenüber der Ropa Nawaro-Maus hat der Radlader den Vorteil der potentiell höheren Auslastung durch die vielfältigen Einsatzgebiete. Für Betriebe, die nicht über einen eigenen Radlader verfügen, gibt es zudem die Möglichkeit eine solche Maschine auch tageweise zu mieten.



Abbildung 36: *Das Überladen mit Radladern kann eine spontane und flexible Lösung darstellen.*

Als Nachteil ist die potentiell höhere Verschmutzungsgefahr, durch das ständige Rangieren des Radladers auf dem Verladeplatz, vor allem bei feuchten Verhältnissen auf losem Untergrund, zu bewerten. Über die Verluste unter solchen Verhältnissen kann leider keine Aussage gemacht werden. Am Besuchstag wurde auf einer betonierten Fläche verladen, und die Fläche nach

dem Überladen auch grob gereinigt. Deshalb konnten keine nennenswerten Verluste festgestellt werden. Ein weiterer Nachteil ist die deutlich geringere Überladeleistung des Radladers. Für die zwölf Schaufeln, die ein LKW fasst, werden laut Aussage des Fahrers etwa 7 bis 8 Minuten Ladezeit benötigt. Gemessen wurden 8:49 und 9:10 Minuten für 23,10 bzw. 24,16 Tonnen. Überladeleistungen von etwa 150 t/h scheinen also realistisch. Die ROPA NawaRo-Maus erreichte im Durchschnitt 265 t/h. Laut einem Vergleichstest der Zeitschrift Profi verbrauchten die verglichenen Radlader im Mittel knapp 19 l/h [14]. Der Anschaffungspreis für die Maschine mit der nötigen Hochkippschaufel liegt laut Profi und eigenen Recherchen bei etwa 190000 € [15].

### 2.3.4 Bagger mit Greifschaukel

Das Lohnunternehmen DETTMER aus dem niedersächsischen Kettenkamp überlädt ab 15 km Transportentfernung an einer zentralen Überladestelle mit einem Bagger und großer Greifschaukel. Die Ladezeit pro LKW beträgt laut Gerd DETTMER ca. 5 Minuten. Bei 25 Tonnen Nutzlast würde das einer Überladeleistung von 300 t/h entsprechen [16]. Geeignet für solche Einsatz wäre ein Mobilbagger mit etwa 21 t Einsatzgewicht (z.B. Cat 320) mit 3,5 t Greifer. Dies ergab ein Gespräch mit der Firma Schlieper Landmaschinen GmbH (SCHLÜTER mdl.).

### 2.3.5 Indirektes Überladen ohne logistischen Puffer

Bei diesem Verfahren übergeben die Feldfahrzeuge das Häckselgut direkt an die Überlademaschine. Leider bietet keine der nachfolgend betrachteten Maschinen einen Puffer, der von der Dimensionierung her für die im Abschnitt 2.3.1 auf Seite 35 erwähnte Sicherheit im Ernteprozess sorgen könnte. Deshalb ist es besonders wichtig, dass immer ausreichend LKW bereit stehen, um die Häckselkette nicht zu unterbrechen. Standzeiten der LKW sind weniger ungünstig als die des Häckslers oder der Feldfahrzeuge.

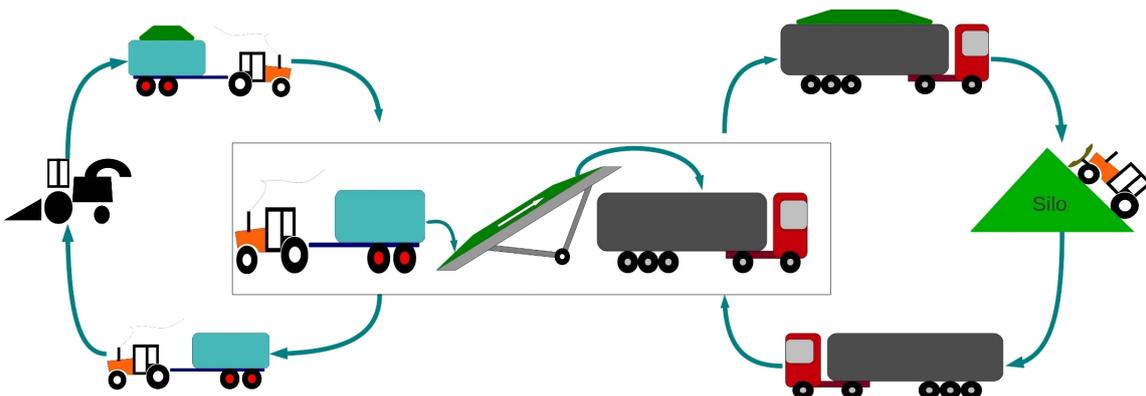


Abbildung 37: Bei der direkten Übergabe an die Überlademaschine ist ein ausreichender Puffer technisch schwierig zu realisieren.

Als Feldfahrzeuge sind Mulden- und Seitenkipper nicht geeignet, da die Maschinen einen kontinuierlichen Gutfluss erfordern. Ein sehr großer Vorteil dieses Verfahrens ist es, dass Verschmutzungen definitiv ausgeschlossen sind.

| Bemerkungen   | Maschine  |
|---|---|
| <p><b>Beschreibung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Basis komplett regenerierte Rübenverlademaus</li> <li>• Bekommt Umbau für Silomais bei Ropa-Händler PALANDT</li> <li>• Fördereinrichtungen im dreidimensional schwenkbaren Ausleger</li> <li>• Gutaufnahme mittels „Bunker“</li> </ul> <p><u>Vorteile gegenüber anderen Indirekten Überlademaschinen ohne Puffer:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Rüstzeiten</li> <li>• Komfortabler Arbeitsplatz</li> <li>• Überbrücken von Hindernissen zwischen Feldmiete und Transportfahrzeug einfacher</li> </ul> <p><u>Nachteile gegenüber anderen Indirekten Überlademaschinen ohne Puffer:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Anschaffungskosten</li> <li>• Kein Verladen von Grassilage möglich → geringe Flexibilität</li> <li>• Geringe Auslastung</li> <li>• Geringe Überladeleistung</li> <li>• Linearer Anstieg der absoluten Verlustmenge</li> </ul>                                 |   <p data-bbox="1187 667 1391 712"><i>NawaRo Bunker-Maus System Palandt</i></p> |
| <p><b>Beschreibung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überbreites Förderband</li> <li>• Vom Schlepper per Zapfwelle angetrieben, Bedienung vom Schlepper aus</li> <li>• Zum Transport an Schlepper angehängt</li> </ul> <p><u>Vorteile gegenüber anderen Indirekten Überlademaschinen ohne Puffer:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Größte Überladeleistung im Vergleich</li> <li>• Geringste Anschaffungskosten im Vergleich, geringe Ansprüche an den Schlepper</li> <li>• Niedrige variable Kosten</li> <li>• Geeignet für alle Silagearten</li> <li>• Geringes Außengeräusch</li> </ul> <p><u>Nachteile gegenüber anderen Indirekten Überlademaschinen ohne Puffer:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rüstzeiten (Umbau von Transport- in Arbeitsstellung) etwas länger → evtl. längere Strecken der Feldfzg, da nur einmal täglich aufgebaut wird</li> <li>• LKW übernimmt Verteilung der Fracht → muss bewegt &amp; eingewiesen werden</li> </ul> |  <p data-bbox="1235 920 1343 943"><i>Benas-Band</i></p>  |

Tabelle 8: Technische Daten und Preise von Maschinen für das indirekte Überladen ohne Puffer.

| <b>Parameter</b>         | <b><u>Nawaro Bunkerm Maus System PALANDT</u></b> | <b><u>Benas-Band</u></b>                  |
|--------------------------|--|---|
| <b>Anschaffungspreis</b> | 200.000,00 €                                     | 125.000,00 €<br>(inkl. 60000 € Schlepper) |
| <b>Verbrauch</b>         | 10,00 l/h  | 6,00 l/h                                  |
| <b>Überladeleistung</b>  | 153 t/h (383 m <sup>3</sup> /h)                  | 701 t/h (1753 m <sup>3</sup> /h)          |

Tabelle 9: Technische Daten indirektes Überladen ohne Puffer

Wie in Abschnitt 2.3 auf Seite 34 bereits erläutert wurde, sind beim indirekten Überladen drei Maschinen am Transport beteiligt. Daraus ergeben sich drei Kostenkomponenten. Die Kosten frei Feldrand sind von der Transportdistanz unabhängig.

### 2.3.6 Nawaro Bunkermaus System PALANDT

In der Nähe von Salzgitter konnte am 29. 9. 2011 die Nawaro Bunkermaus System PALANDT des Lohnunternehmens SCHAPER besichtigt werden. Der entscheidende Unterschied zur am 27. September besichtigten ROPA NawaRo-Maus in Abschnitt 2.3.2 auf Seite 37, ist der, dass die Feldfahrzeuge das Häckselgut in einen Bunker entladen. Dieser ist vorne an der Maschine anstelle der Aufnahme angebaut. Der Rest der Maschine gleicht im Großen und Ganzen der Maschine vom Lohnunternehmen METZGER.

Die Nawaro Bunkermaus System PALANDT basiert ebenfalls auf einer gebrauchten Rübenverlademaus. Diese wird komplett regeneriert und anschließend mit einer speziellen Aufnahme für Häckselgüter versehen. Zusätzlich werden die gitterartigen Rübenförderbänder mit Gummimatten abgedichtet. Der Mercedes-Motor leistet 299 PS und verbraucht laut Aussage des Herstellers durchschnittlich 10 l/h . Der Listenpreis beträgt 200000 € [17].



Abbildung 38: Zum Entladen fährt das Feldfahrzeug rückwärts an den Bunker heran.

Der Bunker fasst laut Herstellerangaben ca. 15 m<sup>3</sup>. An diesen fährt das Feldfahrzeug rückwärts heran, öffnet die Heckklappe und startet die Entladeeinrichtung. Dabei wird der Fahrer des Feldfahrzeugs per Funk vom Fahrer der Maus eingewiesen. Ebenfalls über Funk ergehen Anweisungen über Start und Stop der Entladeeinrichtung des Feldfahrzeugs. Mit einem zweiten Funkgerät gibt es Kontakt zu den LKWs. Die Dimensionen des Bunkers reichen für den Wechsel zwischen zwei Feldfahrzeugen aus, allerdings nicht um die Ladung eines ganzen Feldfahrzeuges aufzunehmen. Zudem sind die Fördereinrichtungen der Maus dem Massenstrom beim Entladen eines solchen Anhängers nicht gewachsen, sodass der Entladevorgang des Anhängers zeitweise gestoppt werden muss. Das Entladen der verwendeten Silagetransportwagen mit ca. 40 m<sup>3</sup>

dauert deshalb mit 4-6 Minuten vergleichsweise lange, sodass entsprechend mehr Feldtransportkapazität benötigt wird. Am Besuchstag wurden bei drei Feldfahrzeugen (je 40 m<sup>3</sup>) und einem direktfahrenden Schleppergespann (ca. 50 m<sup>3</sup>) des öfteren Wartezeiten des (Mittelklasse-) Häckslers beobachtet.



Abbildung 39: *Mit dem langen Ausleger können auch Gräben überbrückt werden. (Foto: Alexander Uhlemann)*

Beim reinen Überladen, ohne Rangierzeiten, bewältigte die Palandt-Maus am Besuchstag Massenströme von durchschnittlich knapp 153 t/h. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Geschwindigkeit der Bänder reduziert wurde, um die Verluste zu reduzieren. Trotzdem waren unter der Maschine größere Haufen von heruntergefallener Silage zu finden. Am Verladeplatz, auf dem etwa 400 Tonnen verladen wurden, blieb schätzungsweise eine Tonne Silomais liegen. In diesem Fall betragen die geschätzten Verluste 0,25-0,35 %. Im Vergleich mit der Maschine vom Lohnunternehmen METZGER muss bedacht werden, dass die absoluten Verlustmengen bei der still stehenden Palandt-Maus mit der überladenen Menge linear ansteigen.

Der entscheidende Vorteil dieser Technik gegenüber den oben genannten Nachteilen ist, dass Verschmutzungen des Erntegutes wegen des fehlenden Bodenkontaktes bei diesem Verfahren ausgeschlossen sind. Zudem besticht das System der Bunkermaus durch die hohe Flexibilität beim Umsetzen von Feld zu Feld sowie bei der Wahl der Überladestelle.

### 2.3.7 Benas Überladeband

Die Biogasanlage Benas in Vorwerk, nahe Bremen, betreibt seit fünf Jahren ein selbst konstruiertes Förderband, um Häckselgüter auf LKWs zu überladen. Am 13. 10. 2011 konnte die Maschine bei der Arbeit beobachtet werden.

Ein solches Überladeband ist beim Betreiber für ca. 65.000 EUR zzgl. MwSt (ohne elektrischen Antrieb) auch käuflich zu erwerben. Beim Einsatz eines Neuschleppers zum Antrieb des Überladebandes kommen Anschaffungskosten von etwa 125000 € zusammen.



Abbildung 40: *Das Benas-Überladeband überzeugte mit hoher Überladeleistung.*

Das Förderband wird wahlweise durch einen Traktor über die Zapfwelle oder elektrisch angetrieben. Beim Überladen von Silage wird für gewöhnlich ein Traktor eingesetzt, am Besuchstag war dies ein John Deere 6800 mit 120 PS, dessen Leistung für das Antreiben des Bandes völlig ausreichte. Zum Überladen wird das Förderband mit 400 bis 500 Zapfwellenumdrehungen pro Minute betrieben. Diese werden bei eingestellter 1000er Zapfwelle im Standgas erreicht. Bei diesen Drehzahlen hat das Band eine Geschwindigkeit von 1,6 m/s [16]. Die Fläche vor dem Band muss ausreichend befestigt sein, da sonst eine immer tiefere Spur vor der Annahme entsteht. Dies kann auch durch dicke Hölzer oder Sandbleche erfolgen. Nach Aussage des Betreibers stellt das Überbrücken von Gräben oder Hecken aufgrund der Länge des Bandes kein Problem dar. Auch bei der Arbeit mit dem Überladeband ist Funkkontakt zu den Feldfahrzeugen und den LKW zwingend notwendig. Die Sicht in den Laderaum des LKW wird über eine Kamera gewährleistet.

Wegen der fehlenden Verbrauchsanzeige konnte am Besuchstag leider kein konkreter Verbrauch ermittelt werden. Laut Aussage des Fahrers benötigt der Schlepper etwa 50 Liter für 14 Stunden Einsatz mit Hin- und Rückfahrt von der Biogasanlage zum Verladeplatz. Rein rechnerisch würde

sich damit ein durchschnittlicher Stundenverbrauch von 3,6 Litern ergeben. Zum Transport wird das Band als Arbeitsmaschine mit 25 km/h-Zulassung an den antreibenden Schlepper gehängt.



Abbildung 41: *Das Band ist fast so breit wie ein Silagetransportwagen. Die Verluste sind äußerst gering und können manuell leicht aufgenommen werden.*

Für das reine Überladen wurden Leistungen zwischen 643 und 817 t/h gemessen. Für den Wechsel zwischen zwei Feldfahrzeugen sind 1,5 bis 2 Minuten nötig. Durch die Breite des Bandes, verbunden mit der hohen Bandgeschwindigkeit, können die Feldfahrzeuge nahezu mit voller Geschwindigkeit entladen. Kippanhänger als Feldfahrzeuge einzusetzen ist nach Aussage des Fahrers zwar möglich, in vielerlei Hinsicht aber suboptimal. Nennenswerte Verluste können nur bei Wind und trockenem Mais auftreten. Dies betrifft allerdings meistens nur die "Spreu" der Silage, welche nur geringe Energieausbeuten aufweist.

Durch die enormen Überladeleistungen bei geringen Anschaffungskosten scheint ein solches Förderband die optimale Lösung für das Verfahren des indirekten Überladens ohne Puffer zu sein.

### 2.3.8 Weitere Überlademaschinen

**Fliegl Überladestation** Die Fliegl Überladestation besteht aus einem Vorratsbunker und zwei Kratzböden. Der Vorratsbunker ist an den beiden Außenteilen klappbar und fasst etwa 50 m<sup>3</sup>. Ausgeklappt kann das Feldfahrzeug in den Bunker entladen, eingeklappt wird das Erntegut dem Kratzboden zugeführt. In der Mitte befinden sich zwei Rotoren, die das Häckselgut auflockern sollen.



Abbildung 42: Die Fliegl Überladestation arbeitet mit einem klappbaren Vorratsbunker. (Foto: Hersteller)

Die Kratzböden fördern dann das Häckselgut auf das Transportfahrzeug. Die Überladeleistung beträgt laut Hersteller ca.  $20 \text{ m}^3/\text{min}$ . Bei einer Dichte von  $0,4 \text{ t/m}^3$  entspricht das  $480 \text{ t/h}$ . Der Listenpreis liegt bei  $139000 \text{ €}$  [18].

**Überladeband Becklönne Maschinenbau** Das Überladeband der Maschinenbaufirma Becklönne ist ähnlich aufgebaut wie das Band der Benas-Biogasanlage. Die vielleicht entscheidenden Unterschiede sind konstruktiv in der Kombination aus zwei Bändern zu sehen. Diese werden hydraulisch angetrieben [18].



Abbildung 43: Das Überladeband von Becklönne ist "nur"  $2 \text{ m}$  breit. (Bildquelle: BRÜSE, Redaktion profi)

Den Herstellerangaben zufolge, können  $336 \text{ t/h}$  überladen werden. Der Anschaffungspreis liegt bei etwa  $55000 \text{ €}$ .

## 2.4 Bunkerhäcksler

Beim Bunkerhäcksler werden serienmäßige Feldhäcksler mit einem Bunker ausgerüstet. Aus logistischer Sicht sind diese Maschinen keine Lösung für große Transportwege. Viele Maschinen müssen (konstruktiv bedingt) im Stand abbunkern, dann kann zwar am Feldrand direkt ein Straßenfahrzeug beladen werden, dafür müssen aber massive Verluste beim Durchsatz des Häckslers hingenommen werden. Die anderen Maschinen können, wie Mähdrescher, während der Fahrt auf ein nebenher fahrendes Fahrzeug abbunkern. In diesem Fall stellen sich aber immer noch alle Fragen, die weite Transportdistanzen betreffen.



Abbildung 44: *Der Bunkerhäcksler hat vor allem seinen Platz als Sondermaschine für extrem schwer befahrbare Flächen.*

## 2.5 Vergleich der Verfahren Allgemein

| Verfahren                     | Direktfahrt  |  |   | Direktes Überladen  |   |  | Indirektes Überladen   |   |  |  |
|-------------------------------|--|--|---|---|---|--|--|---|--|--|
|                               | mit Puffer   |  | ohne Puffer   |   |   |  |  |   |  |  |
| <b>Daten und Preise</b>       |  |  |   |   |   |  |  |   |  |  |
| Maschine                      | Traktor  | 8 x 8 LKW  | Secutor   | Annaburger  | Hawe  | SF-Wagen   | Ropa-Maus  | Radlader  | Palandt-Maus   | Benas-Band   |
| Preis (Gespann)               | 244.000,00 €   | 191.584,79 €   | 237.950,00 €  | 263.910,00 €  | 334.912,00 €  | ca. 100000 €   | 180.000,00 €   | 189.566,00 €  | 200.000,00 €   | 125.000,00 €   |
| Verbrauch Feld                | 197 l/100 km   | 140 l/100 km   | 143 l/100 km  | 10,05 l/h   | 21,53 l/h   | ca. 20 l/h   | 10 l/h   | 18,86 l/h   | 10 l/h   | 6 l/h  |
| Verbrauch Straße              | 63 l/100 km  | 71 l/100 km  | 51 l/100 km   | -   | -   | -  | -  | -   | -  | -  |
| Nutzlast                      | 20 t   | 12,5 t   | 21,3 t  | ca. 24 t  | ca. 24 t  | ca. 16 t   | -  | -   | -  | -  |
| Ø Geschw. Feld                | 6,5 km/h   | 7,0 km/h   | 9,9 km/h  | -   | -   | -  | -  | -   | -  | -  |
| Ø Geschw. Straße              | 37 km/h  | 36 km/h  | 44 km/h   | -   | -   | -  | -  | -   | -  | -  |
| Überladeleistung              | -  | -  | -   | 231 t/h   | 245 t/h   | 236 t/h  | 267 t/h  | 158 t/h   | 153 t/h  | 701 t/h  |
| <b>Vor- und Nachteile</b>     |  |  |   |   |   |  |  |   |  |  |
| Vorteile Verfahren Allgemein  | +kostengünstig für kurze Distanzen<br>+einfach zu organisieren<br>+keine Verluste<br>+für alle Silagearten |  |   | +Transport mit Straßen-LKW<br>+flexibel bzgl. Lage Überladeplatz<br>+mehrere LKW können gleichzeitig beladen werden<br>+für alle Silagearten geeignet |   |  | +zentraler Überladeplatz<br>+Standard Feldfahrzeuge<br>+Transport mit Straßen-LKW  |   |  |  |
|                               |  |  |   |   |   |  | +Häckselkette unabhängig von Abfuhrkette   |   | +Verschmutzungen ausgeschlossen  |  |
| Vorteile Einzelmachine        | +universell<br>+evtl. vorhanden  | +handlich<br>+geländegängig<br>+Anhängeleinen            | +besten Fahrkomfort<br>+ABS Serie<br>+Reifenregler Serie<br>+einfache Bedienung | +geringer Kraftaufwand<br>+einfacher Aufbau<br>+1 Wagen<br>≈ 1 LKW  | +verlustfrei<br>+1 Wagen<br>≈ 1 LKW<br>+ÜW verteilt<br>Fracht | +geringe Investition<br>+handlich<br>+geländegängig                          | +hohe Leistung<br>+kein Rangieren<br>+flexibler Ausleger<br>+Arbeitsplatz  | +flexibel einsetzbar<br>+Standardtechnik<br>+für alle Silagearten | +flexibler Ausleger<br>+komfortabler Arbeitsplatz<br>+geringe Rüstzeiten | +für alle Silagearten<br>+wenig Außengeräusch<br>+einfacher Aufbau |
| Nachteile Verfahren Allgemein | -Straßenverschmutzung<br>-geringe Nutzlasten<br>-teure Spezialfahrzeuge                                    |  |   | -mehrere Spezialmaschinen nötig<br>-Häckselkette abhängig von Abfuhrkette<br>-Straßenfahrten sonntags nur mit Sondergenehmigung                       |   |  | -zusätzliche Maschine mit zusätzlichem Personal nötig<br>-Verluste<br>-Straßenfahrten sonntags nur mit Sondergenehmigung |   |  |  |
|                               |  |  |   |   |   |  | -Verschmutzungsgefahr  |   | -Häckselkette abhängig von Abfuhrkette                                   |  |
| Nachteile Einzelmachine       | -kein Reifenregler*<br>-Außengeräusch<br>-Fahrsicherheit   | -Außengeräusch<br>-Fahrsicherheit<br>-kein Reifenregler* | -reiner Transporter<br>-keine Zapfwelle   | -Standsicherheit<br>-Verluste<br>-geübter Fahrer nötig<br>-LKW verteilt Fracht  | -Leistungsbedarf<br>-Außengeräusch<br>-Bereifung              | -Nischenlösung<br>-veraltete Kabine<br>-Störanfällig<br>-LKW verteilt Fracht | -kein Gras<br>-Endgeschwindigkeit  | -Rangieren<br>-wetterabhängig                                     | -Kein Gras<br>-Endgeschwindigkeit  | -Rüstzeiten<br>-LKW verteilt Fracht                                |

\*i. d. R. Keine Reifendruckregelanlage

Tabelle 10: Vergleich aller Verfahren

## 3 Vergleichsmethoden für die Substratlogistik

Basis dieser Arbeit ist ein umfangreiches Datenmaterial, dessen Herkunft hier erläutert werden soll.

### 3.1 Messungen

Um praxisnahe, kostenrelevante Angaben über die einzelnen Verfahren zum Silomais-Transport zu erhalten war es nötig, die Datenvorgaben der Hersteller durch Messungen in der Praxis zu verifizieren. Dieses Vorgehen birgt das Risiko, ungenaue Werte zu erhalten, weil es nicht möglich ist unter Laborbedingungen zu messen. Zudem wäre ein enormer Aufwand vonnöten, um jede Maschine mit "professioneller" Messtechnik zu erfassen. Der messtechnische Nutzen des Einsatzes solcher Technik unter nicht wiederholbaren Praxisbedingungen ist ebenso fraglich. Das Risiko ungenauer Messungen wurde hier bewusst in Kauf genommen, um im Gegenzug eine möglichst breit angelegte Datenbasis zu erhalten.

### 3.1.1 Recherche, Kontaktierung und Reiseplanung

Am Beginn der Datensammlung für diese Arbeit stand eine umfangreiche Recherche nach Maschinen, die in der derzeitigen Praxis im Einsatz sind. Anschließend, und das war nicht weniger zeitaufwendig, wurde recherchiert, welches Unternehmen die jeweilige Maschine wann und wo einzusetzen plant. Dabei wurde versucht, die Landwirte und Lohnunternehmen direkt und ohne Vermittlung durch die Hersteller zu kontaktieren, um möglichst neutrale Ergebnisse ermitteln zu können. Trotzdem war es verschiedentlich nötig, sich "Referenzadressen" nennen zu lassen. Schließlich wurde ein ungefährer Tourplan mit mehreren Übernachtungen erstellt. Dieser musste allerdings erwartungsgemäß während der Tour mehrmals spontan wetterbedingt oder wegen Maschinendefekten geändert werden. Dieser Teil der Arbeit hat etwa drei Wochen in Anspruch genommen.



Abbildung 45: Insgesamt wurden für die Datenerhebung über 2500 Kilometer zurückgelegt (© Google) [19].

Insgesamt wurden während zweier Touren 11 Häckselketten an 9 Tagen besichtigt. Der Weg führte zu folgenden Stellen:

1. 26. 9. KTG Agrar AG, Landkreis Jerichower Land (Annaburger / Hawe)
2. 27. 9. Lohnunternehmen METZGER, Nähe Genthin im Landkreis Stendal (Ropa NawaRo-Maus)
3. 27. 9. KTG Agrar AG, Landkreis Jerichower Land (Annaburger / Hawe)

4. 28. 9. Lohnunternehmen SCHMIDT, Landkreis Nordhorn (SF-Wagen)
5. 29. 9. Lohnunternehmen SCHAPER, Landkreis Northeim (Nawaro Bunkermaus System PALANDT)
6. 29. 9. Lohnunternehmen PIENING, Landkreis Gifhorn (MAN TGS 41.480 8 x 8 LKW)
7. 7. 10. "IVENACKER EICHEN" Produktions-, Handels- und Dienstleistungsgesellschaft mbH, Landkreis Vorpommern-Greifswald (Schleppergespanne)
8. 11. 10. Lohnunternehmen BLUNK, Landkreis Rostock (Radlader)
9. 12. 10. Lohnunternehmen BABBE-Bülow, Landkreis Rostock (Hawe / Mercedes-Benz Actros 4146 8 x 8-LKW)
10. 13. 10. Biogasanlage Benas, Landkreis Uelzen (Benas-Band)
11. 22. 10. "IVENACKER EICHEN" Produktions-, Handels- und Dienstleistungsgesellschaft mbH, Landkreis Mecklenburgische Seenplatte (Secutor)

### 3.1.2 Messgeräte

Für die Aufzeichnung von Wegen, Geschwindigkeiten und Zeiten sowie für ein ungefähres Höhenprofil der gefahrenen Strecken wurde ein Garmin Forerunner 205 verwendet. Das Gerät, das auf den ersten Blick einer überdimensionierten Armbanduhr ähnelt, wurde vom Hersteller vor allem als Trainingshilfe für das Jogging und ähnliche Freizeitaktivitäten konzipiert.



Abbildung 46: Garmin Forerunner 205 (Foto: Hersteller)

Mit dem eingebauten einfachen GPS-Empfänger wird permanent die aktuelle Position des Gerätes ermittelt und gespeichert. Zum Lieferumfang gehört zudem die Software Garmin Training Center<sup>®</sup>, womit die gespeicherten Daten am PC ausgewertet wurden. Darauf wird im Abschnitt 4.1 auf Seite 59 näher eingegangen.

Zur Ermittlung der Daten für diese Arbeit wurde das verwendete Gerät gezielt ausgewählt. Es zeichnet sich aus durch:

- seine Flexibilität bei der Aufzeichnung von GPS-Daten,
- seine Software, mit der die aufgezeichneten Daten analysiert und gespeichert werden können sowie

- sehr günstige Anschaffungskosten.

Erst die Verwendung eines GPS-Trackers in Verbindung mit den meistens installierten Verbrauchsanzeigen hat es ermöglicht, dass sehr unkompliziert Messungen vorgenommen werden konnten. Ziel dieses Vorgehens war es, Daten für alle relevanten Verfahren aufzunehmen. Wie eingangs erwähnt sind die gemessenen Daten wegen der fehlenden Wiederholbarkeit nicht (im eigentlichen Sinne) wissenschaftlich belastbar. Allerdings entbehren durch die natürlichen Schwankungen der Bedingungen, wiederholbare Messungen in der Landtechnik ohnehin oft der Praxisnähe. Vielmehr kam es darauf an, dem Anwender eine Entscheidungsgrundlage zu bieten, die auf einer möglichst breiten und belastbaren Datenbasis beruht.

Für Zeitmessungen wurde eine im Mobiltelefon integrierte Stoppuhr verwendet.

Die Gewichte wurden größtenteils mit den vorhandenen Fuhrwerkswaagen ermittelt. In einem Fall wurde ein, in das Fahrzeug integriertes, Wiegesystem verwendet. Wenn keine dieser Waagen verfügbar war, wurden die Gewichte anhand technischer Daten über das Ladevolumen geschätzt. Dabei wurde eine Dichte von  $400 \text{ kg/m}^3$  angenommen.

### 3.1.3 Messwertaufnahme

**Aufnahme von Wegen und Geschwindigkeiten** Für die Aufnahme von Wegen und Geschwindigkeiten wurde mit den jeweiligen Fahrzeugen bei einem oder mehreren Zyklen mitgefahren. Dabei wurde zuerst die unter 3.1.2 erwähnte Jogginguhr möglichst mit gutem GPS-Empfang in der Kabine platziert und die Datenaufnahme gestartet. Bei jedem neuen Messereignis (Straßenstrecke voll / leer, Acker usw.) wurde eine neue Messung gestartet, für die dann explizite Daten (Strecke, Durchschnittsgeschwindigkeit, usw.) aufgezeichnet wurden. Bei außergewöhnlichen Aufenthalten (Pause, Bahnschranken, etc.) wurde die Aufzeichnung pausiert.

**Aufnahme von Kraftstoffverbrauchswerten** Für die Aufnahme von Kraftstoffverbrauchswerten wurden zu Beginn jedes Messereignisses die werkseitig installierten Verbrauchsanzeigen für den Durchschnittsverbrauch durch die Fahrer zurückgesetzt. Nach Ende der Messereignisse wurden dann die angezeigten Werte notiert.

Ursprünglich war beabsichtigt, alle Verbrauchswerte durch die werksseitig installierten Verbrauchsanzeigen der Maschinen aufzunehmen. Diese war aber nicht in allen Fällen vorhanden. Bei Maschinen, die nicht über eine Kraftstoffverbrauchsanzeige verfügten, wurden Praxiserfahrungen der Anwender, meistens getankte Liter pro Betriebsstunde beziehungsweise Kilometer erfragt. Bei den Fahrzeugen mit Verbrauchsanzeige war es leider nicht allen Fahrern möglich, die Durchschnittsverbrauchsanzeige zurückzusetzen. In diesen Fällen konnten demzufolge nur die angezeigten Durchschnittswerte aufgenommen werden.

Für den Verbrauch des Secutor im beladenen Zustand lagen wissenschaftlich ermittelte Daten der FH Südwestfalen vor (13). Diese wurden durch Werte für getankte Liter pro Kilometer im Leerzustand sowie für den Verbrauch auf dem Feld ergänzt.

Beim Verbrauch auf dem Feld ist zu berücksichtigen, dass dieser ganz entscheidend (neben den Fahrereinflüssen) von den Boden- und Geländebedingungen abhängt. Es wurde allerdings festgestellt, dass die gemessenen Verbrauchswerte auf dem Feld um 100-150 % höher lagen, als

bei den Messungen auf der Straße. Bei den Verbrauchswerten für befestigte Wege und Straßen sind selbstverständlich auch Fahrer- und Geländeeinflüsse gegeben.

Bei Traktoren wird (anders als bei Straßenfahrzeugen) in der Regel der Kraftstoffverbrauch in Litern pro Stunde [l/h] angezeigt. Dieser Wert muss also noch mit den aufgezeichneten Strecken aus Abs. 3.1.3 in Liter pro 100 Kilometer [l/100 km] umgerechnet werden.

**Aufnahme von Zeiten** Zur Ermittlung der Überladeleistung wurde stets die Zeit für einen kompletten Überladevorgang gemessen. Bei den Straßentransportern und Direktfahrern wurde die reine Entladezeit ohne Nebenzeiten (Wiegen, Rangieren, usw.) gemessen.

**Aufnahme von Gewichten** Bei den Überladeverfahren wurden die Daten aus den Wiegescheinen der Ladungen notiert, für die auch die Überladezeiten gemessen wurden. Hierzu wurden nach der Rückkehr der Fahrzeuge die Fahrer befragt.

## 3.2 Recherchierte Daten

### 3.2.1 Rechtliches

Auch wenn die hier erläuterten rechtlichen Aspekte auf den ersten Blick nicht kostenrelevant erscheinen, soll dennoch darauf eingegangen werden. Die Führerscheinklasse wird dann kostenrelevant, wenn es um den Erwerb oder um die Erhaltung Führerscheins Klasse CE geht. Das Sonntagsfahrverbot schließt unter Umständen einige Einsatztage aus. Die Fahrpersonalverordnung wirkt sich letztlich auf die benötigte Anzahl der Fahrzeuge aus und ist somit ebenfalls kostenrelevant. Die Ladungssicherung erfordert gegebenenfalls bei jedem Zyklus einen gewissen Zeitaufwand, wodurch sich die Zykluszeit verlängert.

Alle diese Aspekte wurden bei den Berechnungen nicht berücksichtigt. Bei Investitionsentscheidungen sollte allerdings auch darauf geachtet werden.

**Führerschein** Der Führerschein Klasse T gilt für Fahrzeuge, die jeweils nach ihrer Bauart zur Verwendung für land- und forstwirtschaftliche (lof) Zwecke bestimmt sind und für solche Zwecke eingesetzt werden. Es ist also nicht nur die Art des Fahrzeugs entscheidend, sondern auch die Art des transportierten Gutes. Laut dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung ist die Fahrerlaubnis nicht davon abhängig, in welchem Zusammenhang die weitere Verwendung der transportierten Güter erfolgt oder in wessen Eigentum sich die Masse befindet. Demnach ist die Beförderung von gewerblich eingestuften lof Erzeugnissen oder lof Bedarfsgütern mit lof Zugmaschinen und deren Anhängern bis 60 km/h Höchstgeschwindigkeit mit dem Führerschein Klasse T möglich. Für die "Prüfung auf Gewerblichkeit" sind die Lieferverträge prüfen. Dabei ist es entscheidend ob ein Dienstleister im Auftrag und auf Rechnung eines Landwirts, dessen lof Erzeugnisse und lof Bedarfsgüter befördert. Dies ist der Fall, wenn es sich schwerpunktmäßig um eine Arbeitsleistung in Verbindung mit einer Beförderung handelt, wie bei der Silomaisenernte. Die gewerblich eingestufte Beförderung von lof Erzeugnissen und lof Bedarfsgütern ist zwar mit der Fahrerlaubnisklasse T grundsätzlich möglich, jedoch müssen die Vorgaben für den gewerblichen Transport berücksichtigt werden. Der Lohnunternehmer kann

gewerblich eingestufte I- und II- Erzeugnisse und I- und II- Bedarfsgüter ebenfalls mit den entsprechenden Zugmaschinen und Anhängern und der T Klasse befördern [20].

**Sonntagsfahrverbot** Für Lastkraftwagen über 7,5 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht sowie für alle Lkw ungeachtet ihres zulässigen Gesamtgewichtes, mit Anhänger gilt in Deutschland an Sonn- und Feiertagen in der Zeit von 0 bis 22 Uhr das sogenannte Sontagsfahrverbot (§ 30 Abs. 4 StVO). Ausnahmen von diesem Verbot für die Landwirtschaft bedürfen einer behördlichen Genehmigung. Beispielsweise in Hessen werden aber alljährlich Ausnahmeregelungen vom allgemeinen Sonn- und Feiertagsfahrverbot vom Landwirtschaftsministerium zur Erntesaison erlassen. Das Sonntagsfahrverbot gilt nicht für Zugmaschinen (Traktoren) sowie selbstfahrende Arbeitsmaschinen.

**Lenkzeiten:** Ein wichtiges Thema bei landwirtschaftlichen Transporten sind die eventuell vorhandenen Vorschriften über Lenkzeiten der Fahrer. In aller Kürze stellen sich die Vorschriften über die Lenkzeiten wie folgt dar [21]:

- Tägliche Lenkzeit: 9 Stunden, 2 x wöchentlich 10 Stunden
- Zusammenhängende Lenkzeit maximal  $4\frac{1}{2}$  Stunden
- Pausen: 1 x 45 Minuten oder 1 x 30 Minuten + 1 x 15 Minuten
- wöchentliche Arbeitszeit: maximal 56 Stunden zwischen Montag 0:00 Uhr und Sonntag 24:00

Laut § 18 der Verordnung zur Durchführung des Fahrpersonalgesetzes (Fahrpersonalverordnung - FPersV) sind folgende, für diese Arbeit relevante Ausnahmen festgelegt:

- Fahrzeuge, die von Landwirtschaftsunternehmen zur Güterbeförderung im Rahmen der eigenen unternehmerischen Tätigkeit in einem Umkreis von bis zu 100 Kilometern vom Standort des Unternehmens verwendet oder von diesen ohne Fahrer angemietet werden
- Landwirtschaftliche Zugmaschinen, die für landwirtschaftliche Tätigkeiten in einem Umkreis von bis zu 100 Kilometern vom Standort des Unternehmens verwendet werden, welches das Fahrzeug besitzt, anmietet oder least

**Ladung und Ladungssicherung** In der Straßenverkehrsordnung (StVO), § 22 sind für die Ladung folgende Regeln festgelegt:

(1) Die Ladung einschließlich Geräte zur Ladungssicherung sowie Ladeeinrichtungen sind so zu verstauen und zu sichern, dass sie selbst bei Vollbremsung oder plötzlicher Ausweichbewegung nicht verrutschen, umfallen, hin- und herrollen, herabfallen oder vermeidbaren Lärm erzeugen können. Dabei sind die anerkannten Regeln der Technik zu beachten.

(2) Fahrzeug und Ladung dürfen zusammen nicht breiter als 2,55 m und nicht höher als 4 m sein. Fahrzeuge, die für land- oder forstwirtschaftliche Zwecke eingesetzt werden, dürfen, wenn sie mit land- oder forstwirtschaftlichen Erzeugnissen oder Arbeitsgeräten beladen sind, samt Ladung nicht breiter als 3 m sein. Sind sie mit land- oder forstwirtschaftlichen Erzeugnissen beladen, dürfen sie samt Ladung höher als 4 m sein.

[...]

Die "anerkannten Regeln" aus Absatz (1) lassen sich beispielsweise der VDI-Richtlinie 2700 und folgenden entnehmen.

Für die Substrattransporte in der Landwirtschaft heißt das, dass ausreichend Platz zwischen dem Schüttkegel und den umgebenden Bordwänden bleiben muss, um gegebenenfalls herabrutschendes Material aufzunehmen. Bei der Verwendung von Schubbodenaufliegern sollte dies kein Problem darstellen.



Abbildung 47: *Wenn der Schüttkegel bis an die Bordwandoberkante reicht oder die Gefahr des Hinunterwehens besteht, muss abgeplant werden.*

Wenn die Gefahr besteht, dass Teile der Ladung vom Anhänger hinunter geweht werden, sollte in jedem Fall abgeplant werden. Dies gilt auch bei Transporten mit Traktoren und ähnlichen Fahrzeugen.

Für das Abdecken von LKW-Aufliegern mit den üblichen Rollplanen sind etwa zehn Minuten einzuplanen. Für die in Abschnitt 2.1 auf Seite 9 beschriebenen Direktfahrer sind Abdecksysteme lieferbar, die vom Fahrersitz aus bedient werden können.



Abbildung 48: *Für die landwirtschaftlichen Transportfahrzeuge sind fernbediente Abdecksysteme lieferbar. (Foto: Pöttinger)*

### 3.2.2 Recherchierte Preise und Kosten

**Kosten für Wartung, Reifen und Reparaturen:** Für die Wartungskosten der Traktoren von Fendt standen Unterlagen des Herstellers zur Verfügung [22]. Den Wartungskosten des Secutor liegt ein Angebot der Firma Bruhns zugrunde. Für die Straßen-LKW und die 8 x 8 LKW wurden die gleichen Wartungskosten wie für den Secutor angesetzt. Bei den Reifenkosten wurden die Wechselintervalle auf 3000 Betriebsstunden geschätzt. Die Preise der Bereifung wurden in einem Online-Shop für landwirtschaftliche Reifen ermittelt [23]. Dabei wurde für die jeweiligen Reifendimensionen ein arithmetisches Mittel aus den Angeboten gebildet was zu folgenden Preisen geführt hat:

- Satz Reifen für Schlepper (nur Zugmaschine): 13661,28 €
  - Schlepper vorne: 600/65 R 34  $\Rightarrow$  1516,46 €/Stck.
  - Schlepper hinten: 710/70 R 42  $\Rightarrow$  5314,22 €/Stck.
- Satz Reifen für Secutor (nur Zugmaschine): 5106,52 €
  - Secutor vorne: 560/60 R 22.5  $\Rightarrow$  981,30 €/Stck.
  - Secutor hinten: 600/55 R 22.5  $\Rightarrow$  1164,29 €/Stck.
- Satz Reifen für Straßen-LKW (nur Zugmaschine): 2954,60 €
  - Straßen-LKW vorne 425/65 R 22.5  $\Rightarrow$  504,20 €/Stck. [24]
  - Straßen-LKW hinten 315/80R22,5  $\Rightarrow$  486,55 €/Stck.  
(4 Stck. nötig wegen Zwillingbereifung) [24]
- Satz Reifen für 8 x 8-LKW: 17584,79 €
  - 8 x 8-LKW (Mercedes Actros) vorne Michelin 16.00 R 20 x Z 2M  $\Rightarrow$  1846,30 €/Stck.
  - 8 x 8-LKW (Mercedes Actros) hinten 800 / 45 R 26.5  $\Rightarrow$  2549,90 €/Stck.

Mit den Reparaturkosten wird der Ersatz von Verschleißteilen wie zum Beispiel Bremsen abgedeckt. Außerdem sind an dieser Stelle Schäden durch Gewalteinwirkung berücksichtigt. Der Betrag wird pauschal angenommen. Mit den Kosten pro Zeiteinheit und der Durchschnittsgeschwindigkeit wurden die Kosten pro Kilometer ermittelt.

|                       | Schlepper | Secutor | Straßen-LKW | 8 x 8-LKW |
|-----------------------|-----------|---------|-------------|-----------|
| Wartungskosten [€/h]  | 2,87      | 1,44    | 1,44        | 1,44      |
| Reifenkosten [€/h]    | 4,55      | 1,70    | 0,98        | 5,86      |
| Reparaturkosten [€/h] | 1,00      | 1,00    | 1,00        | 1,00      |
| Gesamt [€/h]          | 8,42      | 4,14    | 3,42        | 8,30      |
| ⊙ Geschw. [km/h]      | 37,80     | 44,02   | 45,79       | 36,00     |
| Gesamt [€/km]         | 0,22      | 0,09    | 0,08        | 0,23      |

Tabelle 11: *Wartungs- Reifen- und Reparaturkosten der Transportfahrzeuge im Überblick*

**Anschaffungspreis 8 x 8-LKW:** Da leider keine konkreten Angaben zum Anschaffungspreis eines 8 x 8-LKW eingeholt werden konnten, wurde aufgrund der nachfolgend aufgeführten Daten ein ungefährender Preis recherchiert.

- Basisfahrzeug: 120000 € [25]
- Aufbau: 30000 € [26]
- Felgen: 4000 €
- Reifen: 17584,79 € (s. 3.2.2)
- Reifendruckregelanlage: 10000 €
- Montage, Überführungen, Zulassung, etc.: 10000 €
- ⇒Endpreis: 191585 €

**Anschaffungspreis Radlader** Für den Anschaffungspreis eines Radladers wurde ein Vergleichstest der Zeitschrift Profi herangezogen [15]. Der gemittelte Kaufpreis der drei Maschinen betrug 182333 €. Für die zusätzlich benötigte Hochkippschaufel wurden im Internet drei Angebote herausgesucht. Der gemittelte Kaufpreis beträgt für die Hochkippschaufel 7233 €, sodass für die komplette Maschine etwa 189566 € zu veranschlagen sind.

**Anschaffungspreis Traktor** Für die Anschaffungspreise bei den Traktoren wurde ein Mittelwert aus vier Angeboten für Traktoren unterschiedlicher Hersteller über 300 PS gebildet. Diese wurden auf [www.traktorpool.de](http://www.traktorpool.de) abgerufen [27]. Der Mittelwert beträgt 141575 €.

**Anschaffungspreis Silagetransportwagen für Feldtransporter und Direktfahrer** Auch für die Recherche nach dem ungefähren Preis für einen Tridem-Silagetransportwagen wurde [www.traktorpool.de](http://www.traktorpool.de) herangezogen. Das Angebot war äußerst dürftig, sodass nur der Preis für einen Wagen auf diese Weise ermittelt werden konnte. Dieser beträgt 56000 €. Von SGT lag dem Verfasser ein Angebot über 84000 € für die PullBox als Tridem-Traktor-Anhänger vor. Das Mittel aus beiden beläuft sich auf 70000 € [28].

Das komplette Schleppergespann schlägt demnach mit etwa 211575 € zu Buche.

**Anschaffungspreis Straßen-LKW** Auch für die Straßen-LKW konnten im Internet Preise recherchiert werden. Es wurden wieder Mittelwerte aus den Angeboten gebildet, wobei auch hier nur nach Neumaschinen gesucht wurde. Demnach kostet eine Sattelzugmaschine etwa 65000 € [29], ein Schubbodenaufleger etwa 50000 € [30] und ein Kippaufleger 35280 € [31].

### 3.2.3 Entladezeit Schubbodenaufleger

Schubbodenfahrzeuge haben deutlich längere Entladezeiten als Kipper. Deshalb wurde Wert darauf gelegt, an dieser Stelle eine stabile Datenbasis zu erhalten, zumal sich die Entladezeit (je nach Transportdistanz) durchaus stark auf die Transportkosten auswirken kann. Es wurden vier Zeiten recherchiert:

- 22 min. (vermutlich mit manuellem Öffnen/Schließen der Hecktüren = Türzeit) [32]
- 10 min. [33] (zzgl. 6 min. "Türzeit")
- 7 min. [34] (zzgl. 6 min. "Türzeit")
- 12 min. [34] (zzgl. 6 min. "Türzeit")
- 1 Zeit selbst gemessen: 8 min. (zzgl. 6 min. "Türzeit")
- ⇒ Durchschnittlich 17 min. Entladezeit inkl. 6 min. "Türzeit".

## 4 Auswertung

### 4.1 Auswertung der GPS-Daten

Wie bereits in Abschnitt 4.1 erwähnt, wurden die mit dem Garmin Forerunner 205 aufgezeichneten Daten mittels der Software Garmin Training Center<sup>®</sup> ausgewertet.

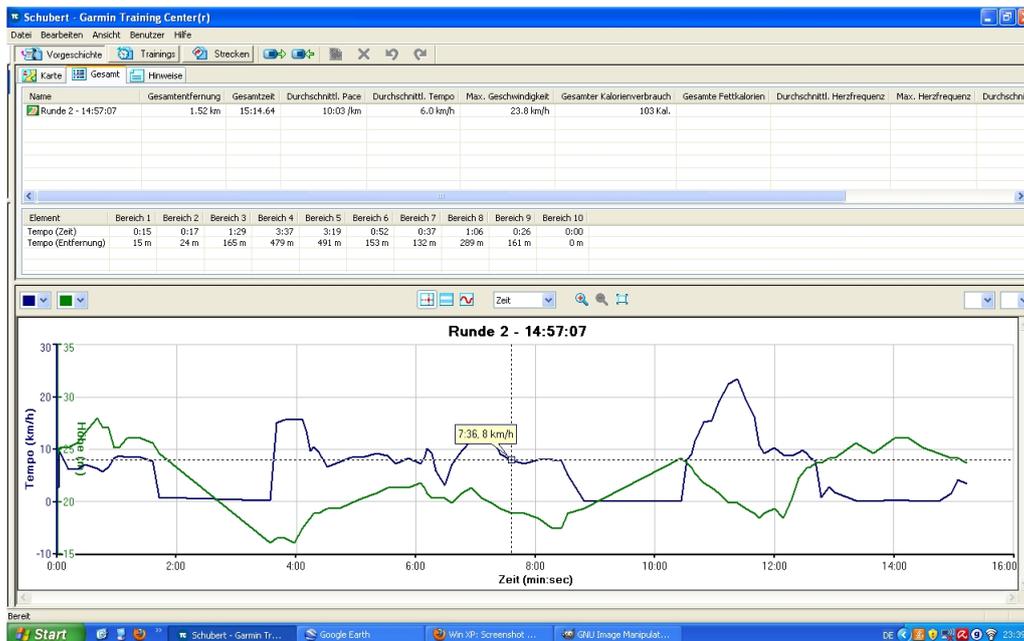


Abbildung 49: Im oberen Teil des Reiters "Gesamtansicht" werden unter anderem Gesamtentfernung und durchschnittliches Tempo angezeigt.

Bei den Messfahrten wurden für die Einzelstappen (z.B. "Acker voll", "Straße voll", "Straße leer", "Laden") neue Abschnitte angelegt. Garmin nennt diese Abschnitte Runden. Dieses Vorgehen ermöglicht das Auslesen der spezifischen Daten für eine bestimmte Einzelstappe. Wichtig für die Auswertung sind die Werte für die Gesamtentfernung und das durchschnittliche Tempo der jeweiligen Runde (Abbildung 49). Für weiterführende Anwendungen ist es eventuell interessant mit der Software in Verbindung mit Google Earth die gefahrene Route auf der Karte anzeigen zu lassen. Außerdem erstellt Garmin Training Center<sup>®</sup> neben einer - vielleicht weniger interessanten und zudem ungenauen Höhenkurve - ein Geschwindigkeitsprofil der Runden (Abb. 50).

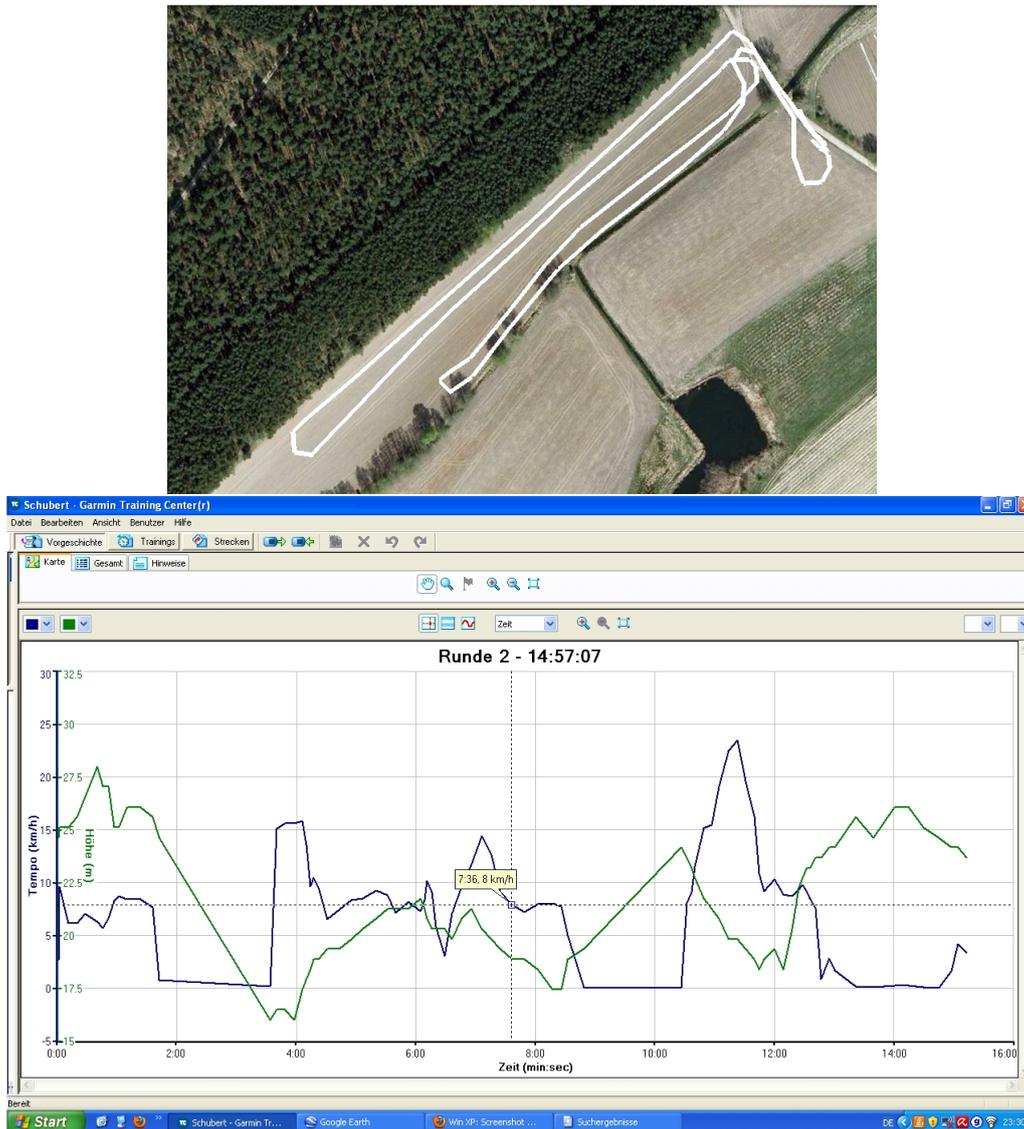


Abbildung 50: *Kartenansicht in Google Earth und Geschwindigkeitsprofil im "Garmin Training Center®" könnten für weitere Analysen oder einfache Dokumentation der Fahrten interessant sein.*

Die Abbildungen 49 und 50 zeigen beispielhaft die Daten für einen typischen Ladezyklus beim indirekten Überladen mit Puffer.

Abb. 51 zeigt neben dem geografischen Verlauf die Zahlendaten und das Geschwindigkeitsprofil einer Messfahrt mit einem Straßen-LKW. In den ersten sechs Minuten zeigt die Geschwindigkeitskurve ein etwas zackiges Profil. Auf diesem ersten Abschnitt der Fahrt wurde ein mittelmäßiger Feld- und Waldweg passiert. Die längere Gerade im unteren Bereich der Kartenansicht findet sich im Geschwindigkeitsprofil auf der rechten Hälfte wieder. Dieser Abschnitt wurde mit Tempomat gefahren. Dies ist am leichten Über- und Unterschwingen der Geschwindigkeitskurve vor der Geraden und der exakten Geraden selbst zu erkennen. Diese Analysen sind zwar für die Berechnung der Kosten irrelevant, zeigen aber das Potential dieser einfachen und preisgünstigen Technik.

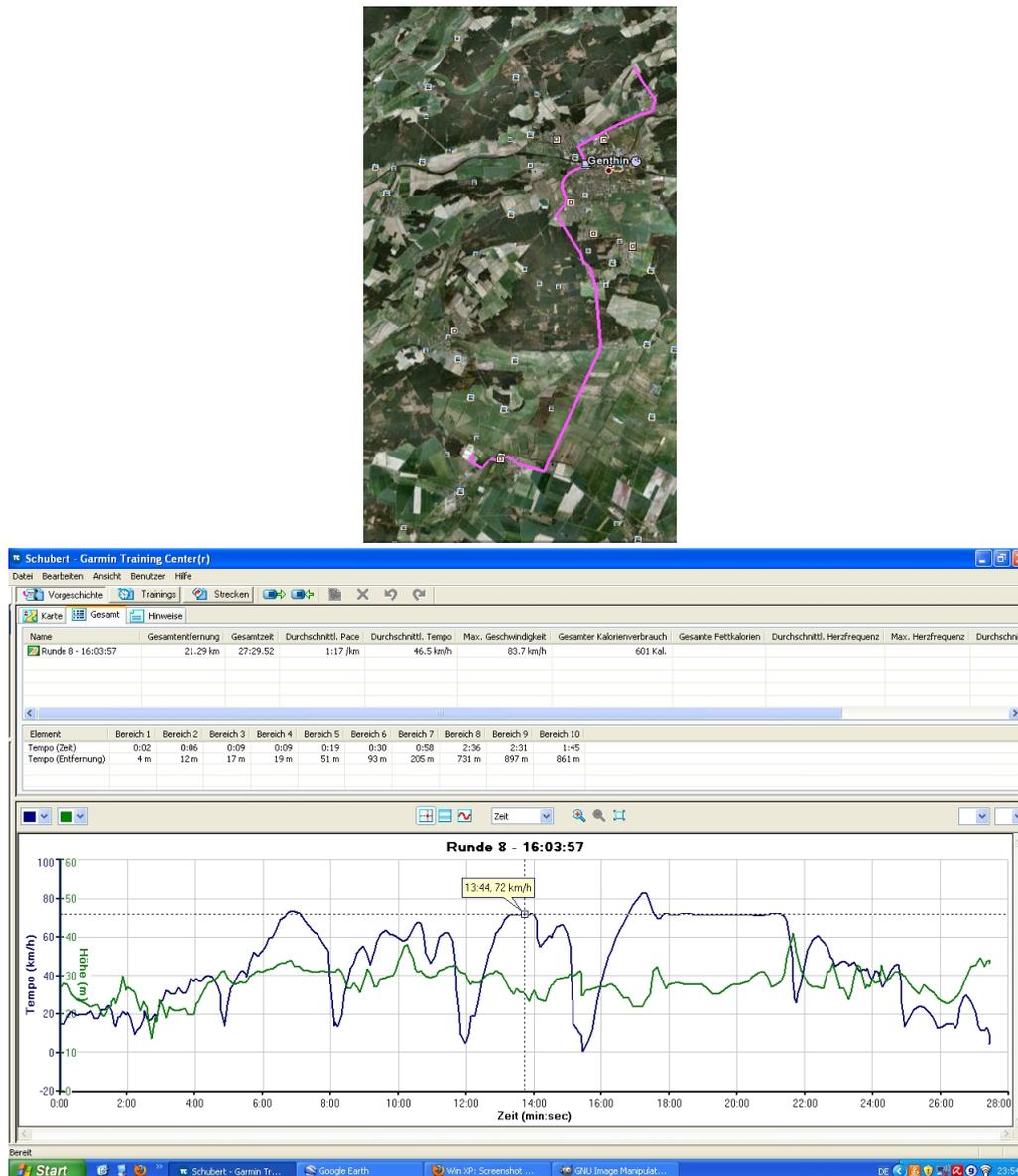


Abbildung 51: Ansichten für einen typischen Zyklus mit einem Straßen-LKW.

## 4.2 Die Kostenvergleichsmethode

Zur Beurteilung einer Investition werden in der Finanzwirtschaft üblicherweise Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung angewandt. Zum Vergleich werden dabei unter anderem die (bei unterschiedlichen Investitionen differierenden) Überschüsse, welche durch die Investition erwirtschaftet werden, herangezogen.

Im Fall der Silagelogistik ist es aber so, dass der Transport von landwirtschaftlichen Gütern selbst keine Überschüsse erwirtschaftet, sondern quasi als notwendiges Übel im Gesamtprozess dasteht. Die Einnahmen aus der Biogasproduktion oder der Milchviehhaltung sind - konstante Qualität des Substrats vorausgesetzt - unabhängig davon, wie das Substrat transportiert wird.

Für die Investitionsentscheidungen sind somit vor allem, neben dem Nutzwert und ausschließenden Faktoren wie der beispielsweise der Verschmutzungsgefahr, die Kosten relevant (s. Abs. 1.3.1). Deshalb soll der Fokus dieser Arbeit vor allem auf den Verfahrenskosten liegen, wobei die Kostenvergleichsmethode für den Alternativenvergleich herangezogen wird.

Bei der Kostenvergleichsmethode werden die Kosten der alternativen Investitionsobjekte analysiert. Dabei wird zwischen fixen und variablen Kosten unterschieden. Die Gesamtkosten einer Maschine werden aus der Summe der fixen und variablen Kosten gebildet. Allgemein lässt sich sagen, dass mit zunehmender Auslastung einer Investition, der Fixkostenanteil an den Stückkosten sinkt. Gleichzeitig bleibt der Anteil der variablen Kosten konstant. Dies bedeutet, dass die Stückkosten (hier €/t FM) (FM=Frishmasse) mit zunehmender transportierter Masse sinken. Naturgemäß steigen sie allerdings mit zunehmender Transportentfernung.

#### 4.2.1 Fixkosten

Die fixen Kosten einer Maschine sind solche, die unabhängig von deren Nutzungsumfang sind. Im Falle der hier betrachteten Maschinen gehören dazu:

- Abschreibung
- Versicherungen
- Steuern
- Unterbringung
- Kapitalkosten (Zinskosten)

**Abschreibung** Die kalkulatorische Abschreibung pro Jahr lässt sich wie folgt berechnen:

$$a = \frac{A - R}{n}$$

- $A$ =Anschaffungsausgabe
- $R$ =Restwert (wird mit  $R = 0$  angenommen)
- $n$ =Nutzungsdauer

**Versicherungen** Die Maschinenparks in der modernen Landwirtschaft sind in der Regel als gesamte Flotte versichert. Dabei sind die Tarife sehr unterschiedlich und Verhandlungssache zwischen den Geschäftspartnern. Deshalb sind allgemeingültige Daten über die Versicherungskosten einer Maschine nicht zu bekommen. Bei der Recherche hat sich allerdings als grober Richtwert 1 % des Neumaschinenwertes als Versicherungskosten abgezeichnet.

**Steuern** In der Landwirtschaft gelten einige Sonderregelungen für die Kfz-Steuer [20; 35]. Von der Kraftfahrzeugsteuer befreit sind Fahrzeuge, die ausschließlich für folgende Zwecke oder Unternehmen eingesetzt werden:

- land-/forstwirtschaftliche Betriebe

- Lohnunternehmer, die im Auftrag und auf Rechnung des Landwirts, dessen lof Erzeugnisse und lof Bedarfsgüter mit lof Zugmaschinen und deren Anhänger mit bis zu 60 km/h Höchstgeschwindigkeit befördern
- die Beförderung von Milch, Molke und Rahm
- zur Pflege öffentlicher Grünanlagen oder zur Straßenreinigung im öffentlichen Auftrag.

Diese Befreiung gilt nicht für Sattelzugmaschinen und Sattelaufleger. Diese Ausnahme von der Ausnahme machen sich die Hersteller des Secutor zunutze. Beim gewerblichen Transport, beispielsweise im Auftrag von Gewerbebetrieben wie Bauunternehmen, sind die Fahrzeuge nicht mehr von der Kfz-Steuer befreit. In diesem Fall wird für mindestens einen Monat die Kfz-Steuer fällig, wobei aber das grüne Kennzeichen (signalisiert die Steuerfreiheit) montiert bleiben darf. Bei der Kostenkalkulation wurden als Straßentransporter Sattelzüge mit 40 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht vorausgesetzt. Mit der heute üblichen Schadstoff- beziehungsweise Geräuschklasse EEV/G1 beläuft sich die Kfz-Steuer für solch ein Fahrzeug auf 556 € jährlich [36]. Für alle anderen Fahrzeuge wurde von Steuerbefreiung ausgegangen.

**Unterbringung** Da die meisten Landmaschinen viel Platz beanspruchen, ist die Komponente "Unterbringung" bei den fixen Kosten nicht immer zu vernachlässigen. Neben den Platzkosten selbst (mit oder ohne Dach) spielt auch der Schutz vor Diebstahl zunehmend eine Rolle. So werden beispielsweise selbstfahrende Arbeitsmaschinen oft im Herbst mit vollem Tank abgestellt, um Korrosion im Kraftstoffsystem zu vermeiden. Dass dann im Frühjahr alle Tanks leer sind, ist eher Regel als Ausnahme.

Die Unterbringungskosten sind stark abhängig vom Einsatzgebiet der Maschine und der benötigten Art ihrer Unterbringung (öffentlicher, eingefriedeter oder überdachter Stellplatz). Deshalb kann in der Kostenrechnungstabelle hierfür ein Wert in €/m<sup>2</sup> eingegeben werden. Aus diesem Wert werden dann mit der benötigten Standfläche die Unterbringungskosten pro Jahr berechnet.

**Kapitalkosten** Die Kapitalkosten entstehen dadurch, dass bei einer Investition entweder Kosten durch Zinsen für den aufgenommenen Kredit entstehen oder bei einer Eigenfinanzierung Zinsen "verloren gehen", die der Anwender bekommen hätte, wenn er das Geld angelegt hätte (kalkulatorische Zinsen). Die kalkulatorischen Zinsen lassen sich wie folgt berechnen:

$$Z = \frac{A \cdot i}{200} = \frac{\text{Anschaffungspreis} \cdot \text{Zinssatz}}{200}$$

Da die Zinssätze starken Schwankungen ausgesetzt sind und zudem noch betriebsindividuelle Unterschiede aufweisen, können in der Kostenrechnungstabelle variable Zinssätze eingegeben werden. Dieser Wert bezieht sich dann auf alle Maschinen.

#### 4.2.2 Variable Kosten

Die variablen Kosten sind direkt vom Nutzungsumfang der Maschine abhängig:

- Kraftstoffkosten

- Personalkosten
- Wartung und Instandhaltung

**Kraftstoffkosten** Für die Kraftstoffkosten wurden die Kraftstoffverbrauchswerte mit dem Kraftstoffpreis multipliziert. Da letzterer starken Schwankungen unterliegt, gibt es dafür in der Kostenrechnungstabelle ein Eingabefeld. Die Kraftstoffverbrauchswerte wurden, wie in Abschnitt 3.1.3 auf Seite 52 dargelegt, ermittelt oder erfragt. Dort, wo es zweckmäßig erschien, wurde zwischen Feld- und Straßenverbrauch unterschieden.

**Personalkosten** Für die Personalkosten kann in der Kostenrechnungstabelle ein Brutto-Stundenlohn eingegeben werden. Dieser wird im Folgenden in spezifische Personalkosten in €/t für jede einzelne Maschine umgerechnet.

**Wartung und Instandhaltung** Für die Wartungs- und Instandhaltungskosten wurden weitestgehend Schätzwerte verwendet. Einzig für die reinen Wartungskosten konnten für die Schlepper der Fendt 900er - Serie und den Mercedes Zetros definitive Kosten ermittelt werden.

## 4.3 Berechnungen und Formeln

Für die Berechnung der Verfahrenskosten anhand der gemessenen oder recherchierten Daten wurde mit OpenOfficeCalc eine Tabellenkalkulation erstellt. Ein Exemplar dieser Datei befindet sich auf der beiliegenden CD.

Die Kalkulation besteht aus zwei Worksheets:

1. Eingabe-Ausgabe
2. Berechnungen

An dieser Stelle soll allerdings nochmals darauf hingewiesen werden, dass die gemessenen Werte nur Momentaufnahmen unter ganz bestimmten, nicht wiederholbaren, Bedingungen sind. Da zur Datenerhebung nur eine Erntesaison zur Verfügung stand, wurden die Werte in der Kalkulation trotzdem als allgemein gültig angenommen.

### 4.3.1 Eingabe-Ausgabe

Da die Verfahrenskosten natürlich sehr stark von den gegebenen, variierenden, betrieblichen Bedingungen abhängig sind, macht es wenig Sinn, die Kalkulation "statisch" zu gestalten, wenn sie einem größeren Anwenderkreis dienlich sein soll. Hinzu kommt, dass auch die außerbetrieblichen Bedingungen starken zeitlichen Schwankungen ausgesetzt sein können. So ist derzeit beispielsweise die Zinsentwicklung noch nicht einmal für die nächsten Monate vorherzusehen.

Dieser erste Worksheet der Kalkulation soll deshalb dazu dienen, die zunächst angenommenen Bedingungen an die realexistierenden, individuellen Parameter anzupassen. Diese Tabelle ist auch die einzige, die durch den Anwender später bearbeitet werden kann. Der Worksheet "Berechnungen" ist schreibgeschützt, um Fehlbedienungen zu vermeiden, kann aber angesehen und überprüft werden. Folgende Werte können eingegeben werden:

- Kraftstoffpreis  $k_K$  [€/l]
- Bruttolohn Fahrer  $k_P$ [€/h]
- Nutzungsdauer  $n$  [a]
- Unterbringung  $u$  [€/m<sup>2</sup> a]
- Zinssatz  $i$  [%]
- Miete Schubboden [€/Mon.]
- Mietmonate (Erntezeitraum) [Mon.]
- Tonnen/Jahr  $G$  [t]
- Betriebsstunden Häcksler  $Bh_H$  [h]
- Hof-Feld-Entfernung  $s_S$  [km]
- Durchsatz Häcksler  $P_H$  [t/h] (voreingestellt:  $P_H = \frac{G}{Bh_H}$ )
- Strecke Feld/Laden  $s_A$ [km]

**Kapazitätencheck** An dieser Stelle wird überprüft, ob die im Folgenden betrachteten Maschinen für das Indirekte Überladen überhaupt in der Lage sind, den vom Feldhäcksler kommenden (angegebenen) Massenstrom ohne Stau weiterzuleiten. Bei allen Maschinen wird die Kapazität automatisch durch die Anzahl der Fahrzeuge angepasst. Ob jedoch der Betrieb von zwei oder mehr Überlademaschinen für die Praxis in Betracht kommt darf bezweifelt werden. Ist der Wert für "Durchsatz Häcksler  $P_H$ " größer als die Leistung der Überlademaschine  $P_{\ddot{U}}$ , so erscheint hier die Warnmeldung "Kapazität Überlademaschine XY zu klein!".

**Ausgabe** Der Abschnitt "Ranking" zeigt die für die aktuellen Eingabewerte geltenden Verfahrenskosten insgesamt an.

Zudem werden auf diesem Arbeitsblatt die im Abs. 4.4.1 auf Seite 70 beschriebenen Diagramme für die aktuell geltenden Eingabewerte angezeigt.

### 4.3.2 Berechnungen

In diesem Worksheet werden die nachfolgend beschriebenen Berechnungen ausgeführt. Im ersten Teil geschieht dies nur für die aktuell geltenden Eingabewerte. Im zweiten Teil werden der (fixe) Eingabewert für die Transportdistanz durch fortlaufende Werte von 0 bis 40 Kilometer ersetzt. Die Erntemenge bzw. die Leistung des Feldhäckslers entsprechen dabei dem Eingabewert, bleiben also konstant. Im dritten Teil bleibt die Transportdistanz konstant bei dem Eingabewert und die Erntemenge wird zwischen 42000 und 240000 Tonnen/a variiert. Der Durchsatz des Feldhäckslers wird dabei aus der jeweiligen Erntemenge und dem (fixen) Eingabewert "Betriebsstunden Häcksler  $Bh_H$ " berechnet. Auf den Ergebnissen des zweiten und dritten Teils basieren die Diagramme.

Eine übliche Größe zur Beurteilung von Transportkosten sind die spezifischen Transportkosten pro transportierte Einheit. Es werden also die absoluten Kosten durch die transportierte Masse

geteilt:

$$k = \frac{K}{G} \left[ \frac{\text{€}}{t} \right]$$

Für die Berechnungen in dieser Arbeit wird  $K$  stets als Gesamtkosten für den Silagetransport einer ganzen Saison berechnet. Analog ist  $G$  die gesamte Erntemenge einer Saison. Wie in Abschnitt 4.2 erwähnt, setzen sich die gesamten Kosten einer Investition stets aus fixen und variablen Kosten zusammen. Da für Silomaistransporte oft mehrere gleiche Fahrzeuge eingesetzt werden, müssen die fixen Kosten einer Maschine  $k_F$  mit der Anzahl der benötigten Fahrzeuge  $c$  multipliziert werden.

$$K = K_F + K_V = k_F \cdot c + K_V$$

**Fixkosten** Die spezifischen Fixkosten pro Maschine  $k_F$  sind die Summe aus den Kosten für Abschreibung  $a$ , Versicherungen  $V$ , Steuern  $F$ , Unterbringung  $U$  und Zinsen  $Z$ .

- $a = \frac{A}{n} = \frac{\text{Anschaffungspreis}}{\text{Nutzungsdauer}}$
- $V = \frac{A}{100}$
- $U = L\ddot{a} \cdot Br \cdot u = \text{L\ddot{a}nge} \cdot \text{Breite} \cdot \text{Miete}/a$
- $Z = \frac{A \cdot i}{200} = \frac{\text{Anschaffungspreis} \cdot \text{Zinssatz}}{200}$

$$k_F = A \cdot \left( \frac{1}{n} + 0,01 + \frac{i}{200} \right) + L\ddot{a} \cdot Br \cdot u$$

Die dimensionslose Anzahl der Fahrzeuge berechnet sich aus dem Durchsatz des Feldhäckslers  $P_H \left[ \frac{t}{h} \right]$  und der Kapazität  $Kap$  oder Leistung der jeweiligen Maschine in  $\left[ \frac{t}{h} \right]$ .

- $c = \frac{P_H}{Kap}$

Bei den Maschinen zum Indirekten Überladen wurden die Überladeleistungen gemessen ( $P_{\ddot{U}}$ ). Bei allen anderen Fahrzeugen wird die Kapazität aus Nutzlast  $NL$  und Zykluszeit  $t_Z$  wie folgt berechnet:

$$Kap = \frac{NL}{t_Z} = \frac{NL}{t_L + t_E + t_F}$$

- $t_L = \text{Ladezeit}$ :
  - Bei Straßentransportern:  
 $t_L = \frac{NL}{P_H} = \frac{\text{Nutzlast}}{\text{Durchsatz H\ddot{a}ckslers}}$
  - Bei Feldfahrzeugen (Indirektes Überladen), Überladewagen und Direktfahrern:  
 $t_L = \frac{s_A}{v_A} = \frac{\text{Strecke Feld/Laden}}{\Phi\text{-Geschwindigkeit Acker}}$
- $t_E = \text{Entladezeit}$ :
  - Bei Feldfahrzeugen zum Indirekten Überladen ohne Puffer:  
 $t_E = \frac{NL}{P_{\ddot{U}}}$
  - Bei allen anderen Maschinen: gemessen / recherchiert

•  $t_F = \text{Fahrzeit}$ :

– entfällt bei Feldfahrzeugen (Indirektes Überladen) und Überladewagen

– Bei Direktfahrern und Straßentransportern:

$$t_F = \frac{2s_S}{v_S} = \frac{2 \cdot \text{Transportdistanz}}{\text{Ø-Geschwindigkeit Straße}}$$

Für Straßentransporter gilt demnach:

$$c = \frac{P_H}{NL} \cdot \left( \frac{NL}{P_H} + t_E + \frac{2s_S}{v_S} \right)$$

Die Anzahl von Feldfahrzeugen (Indirektes Überladen mit Puffer) und Überladewagen ergibt sich aus:

$$c = \frac{P_H}{NL} \cdot \left( \frac{s_A}{v_A} + t_E \right)$$

Bei Feldfahrzeugen zum Indirekten Überladen ohne Puffer heißt es:

$$c = \frac{P_H}{NL} \cdot \left( \frac{s_A}{v_A} + \frac{NL}{P_{\ddot{U}}} \right)$$

Bei den Direktfahrern lautet die Formel:

$$c = \frac{P_H}{NL} \cdot \left( \frac{s_A}{v_A} + t_E + \frac{2s_S}{v_S} \right)$$

Die Anzahl der Überlademaschinen zum Indirekten Überladen weist die einfachste Formel auf:

$$c = \frac{P_H}{P_{\ddot{U}}}$$

Die Anzahl der Maschinen ist stets auf ganze Zahlen aufzurunden, da sonst der Gutstrom gebremst wird. Bei folgenden Fahrzeugen sind zudem mindestens zwei Maschinen nötig:

- Straßentransporter außer beim Indirekten Überladen mit Puffer
- Feldfahrzeuge beim Indirekten Überladen
- Überladewagen beim Direkten Überladen
- Direktfahrer

**Variable Kosten** Wie im Abs. 4.2.2 bereits erwähnt, sind bei den variablen Kosten Kraftstoffkosten, Personalkosten sowie Wartungs- und Instandhaltungskosten zu berechnen.

$$K_V = K_P + K_W + K_K$$

Mit  $K_P$  werden die Personalkosten beschrieben. Diese basieren auf den jährlichen Betriebsstunden der jeweiligen Fahrzeuge  $Bh$  und dem Bruttostundenlohn des Personals  $k_P$ . Für die Berechnung der Betriebsstunden gilt folgender Zusammenhang:

- $Bh = \frac{t_Z \cdot G}{NL}$  für alle Transportfahrzeuge, beziehungsweise  
 $Bh = \frac{G}{P_U}$  für die Überlademaschinen beim Indirekten Überladen.

Daraus folgen die gesamten Personalkosten mit:

- $K_P = k_P \cdot \frac{t_Z \cdot G}{NL}$  beziehungsweise  $K_P = k_P \cdot \frac{G}{P_U}$

Die spezifischen Wartungskosten  $k_W$  sind bei den Straßentransportern und den Direktfahrern streckenbezogen  $\left[\frac{\text{€}}{\text{km}}\right]$ . Bei allen anderen wurden zeitbezogene Werte verwendet  $\left[\frac{\text{€}}{\text{h}}\right]$ .

- $K_W = k_W \cdot S$ 
  - Bei Straßentransportern:  $S = \frac{G \cdot 2s_S}{NL}$
  - Bei Direktfahrern:  $S = \frac{G \cdot (2s_S + s_A)}{NL}$

- $K_W = k_W \cdot Bh$  bei allen anderen Maschinen

Für die Kraftstoffkosten werden die spezifischen Kraftstoffkosten  $k_K \left[\frac{\text{€}}{\text{l}}\right]$  mit dem gesamten Kraftstoffverbrauch  $B [l]$  multipliziert.

- $K_K = k_K \cdot B$

Auch der Kraftstoffverbrauch wird zeit- oder streckenbasiert berechnet.

- $B = b_h \cdot Bh$  oder  $B = b \cdot S$

Die spezifischen Kraftstoffverbräuche  $b$  wurden als streckenbezogene Größe in  $\left[\frac{\text{l}}{100 \text{ km}}\right]$  und als zeitbezogene Größe  $\left[\frac{\text{l}}{\text{h}}\right]$  ermittelt. Bei den Traktoren als Direktfahrer wurde der angezeigte Verbrauch pro Zeiteinheit  $b_h$  mit der Durchschnittsgeschwindigkeit  $v$  in den Verbrauch pro Streckeneinheit  $b$  umgerechnet.

- $b = \frac{b_h}{v \cdot 100}$

Der Absolutverbrauch während eines Einsatzzeitraumes wird also in den einzelnen Kategorien wie folgt berechnet:

- Bei Direktfahrern:  $B = b_Z \cdot Z$ 
  - Verbrauch pro Zyklus:  $b_Z = \left(\frac{b_A \cdot s_A}{100}\right) + \left(\frac{b_S \cdot 2s_S}{100}\right)$ 
    - \*  $b_A$  &  $s_A$ : Verbrauch (spez.) & Strecke Acker
    - \*  $b_S$  &  $s_S$ : Verbrauch (spez.) & Strecke Straße
  - Anzahl Zyklen:  $Z = \frac{G}{NL}$
- Bei Straßentransportern:  $B = \frac{b_S \cdot S}{100}$
- Alle anderen Maschinen:  $B = b_h \cdot Bh$

Die Variablen Kosten lassen sich demnach zusammengefasst wie folgt darstellen:

- Straßentransporter:

$$K_{V_S} = k_P \cdot \frac{t_Z \cdot G}{NL} + k_W \cdot \frac{G \cdot 2s_S}{NL} + k_K \cdot b_S \cdot \frac{G \cdot 2s_S}{NL}$$

$$K_{V_S} = \frac{G}{NL} \cdot \left[ k_P \cdot \left( \frac{NL}{P_H} + t_E + \frac{2s_S}{v_S} \right) + 2 \cdot s_S \cdot (k_W + k_K \cdot b_S) \right]$$

- Überlademaschinen:

$$K_{V_{\ddot{U}}} = k_P \cdot \frac{G}{P_{\ddot{U}}} + k_W \cdot \frac{G}{P_{\ddot{U}}} + k_K \cdot b_h \cdot \frac{G}{P_{\ddot{U}}}$$

$$K_{V_{\ddot{U}}} = \frac{G}{P_{\ddot{U}}} \cdot (k_P + k_W + k_K \cdot b_h)$$

- Feldfahrzeuge zum Indirekten Überladen:

- Ohne Puffer:

$$K_{V_{Fe}} = k_P \cdot \frac{t_Z \cdot G}{NL} + k_W \cdot \frac{t_Z \cdot G}{NL} + k_K \cdot b_h \cdot \frac{t_Z \cdot G}{NL} K_{V_{Fe}}$$

$$K_{V_{Fe}} = \frac{G}{NL} \cdot \left( \frac{s_A}{v_A} + \frac{NL}{P_{\ddot{U}}} \right) \cdot (k_P + k_W + k_K \cdot b_h)$$

- Mit Puffer:

$$K_{V_{Fe}} = \frac{G}{NL} \cdot \left( \frac{s_A}{v_A} + t_E \right) \cdot (k_P + k_W + k_K \cdot b_h)$$

- Überladewagen zum Direkten Überladen:

$$K_{V_{\ddot{U}w}} = \frac{G}{NL} \cdot \left( \frac{s_A}{v_A} + t_E \right) \cdot (k_P + k_W + k_K \cdot b_h)$$

- Direktfahrer:

$$K_{V_{Di}} = k_P \cdot \frac{t_Z \cdot G}{NL} + k_W \cdot \frac{G \cdot (2s_S + s_A)}{NL} + k_K \cdot \frac{G}{NL} \cdot \left[ \left( \frac{b_A \cdot s_A}{100} \right) + \left( \frac{b_S \cdot s_S}{100} \right) \right]$$

$$K_{V_{Di}} = \frac{G}{NL} \cdot \left\{ k_P \cdot t_Z + k_W \cdot [2s_S + s_A] + k_K \cdot \left[ \left( \frac{b_A \cdot s_A}{100} \right) + \left( \frac{b_S \cdot s_S}{100} \right) \right] \right\}$$

## 4.4 Grafische Auswertung der Ergebnisse

Für einen Eindruck über die Kostenverläufe der jeweiligen Transportsysteme unter variierenden Bedingungen wurden aktive Diagramme erstellt. Diese passen sich automatisch den Eingabewerten an (s. Abs. 4.3.2 auf Seite 65).

Werden im Kostenrechner andere Werte eingegeben, ändern sich die Ergebnisse der Berechnungen und somit auch die Diagramme, weil sie die aktuell geltenden Werte anzeigen. Dieser Abschnitt soll dem Leser die grundsätzliche Aussage der Diagramme vermitteln.

### 4.4.1 Erläuterung der Grafiken

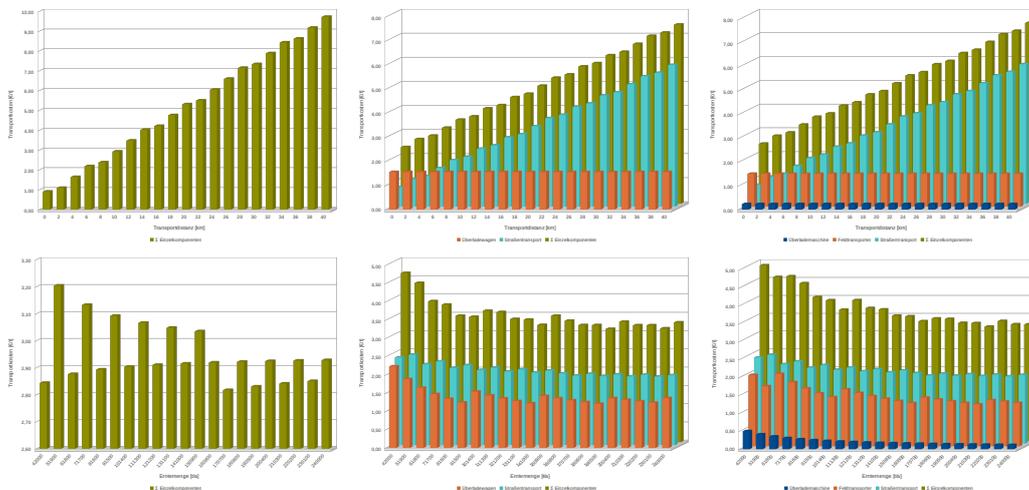


Abbildung 52: *Kostenstrukturen der Verfahren*

Abb. 52 stellt nochmal die Diagramme zu den Kostenstrukturen der einzelnen Kategorien nebeneinander. Dabei wird in der oberen Reihe die Transportdistanz variiert (Diese Diagramme sind auch im Abs. 2 zu sehen). In der unteren Reihe hingegen ist die jährliche Erntemenge variant.

Abbildung 53 macht deutlich, dass mit zunehmender Transportdistanz und / oder zunehmendem Gutstrom die Anzahl der benötigten Fahrzeuge steigt. Dabei sind für die Fahrzeuge verschiedene starke Anstiege, sichtbar. Begründet auf Nutzlast und Umlaufzeit ergeben sich für die einzelnen Transportfahrzeuge unterschiedliche Transportkapazitäten. Die Transportleistung aller Abfuhrfahrzeuge zusammen muss mindestens so groß sein wie der Gutstrom des Feldhäckslers. Zudem müssen stets mindestens zwei Feldfahrzeuge beziehungsweise Direktfahrer vorhanden sein, da es sonst zum Stillstand des Häckslers kommen muss. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass für die Erstellung der nachfolgenden Diagramme ein linearer Zusammenhang zwischen der gesamten Erntemenge und dem Massenstrom des Feldhäckslers mittels der Betriebsstunden der Erntemaschine als Leitmaschine hergestellt wurde. Betriebsstunden und Erntemenge sind Eingabewerte, der Massenstrom wird wie folgt berechnet:

$$P_H = \frac{G}{Bh}$$

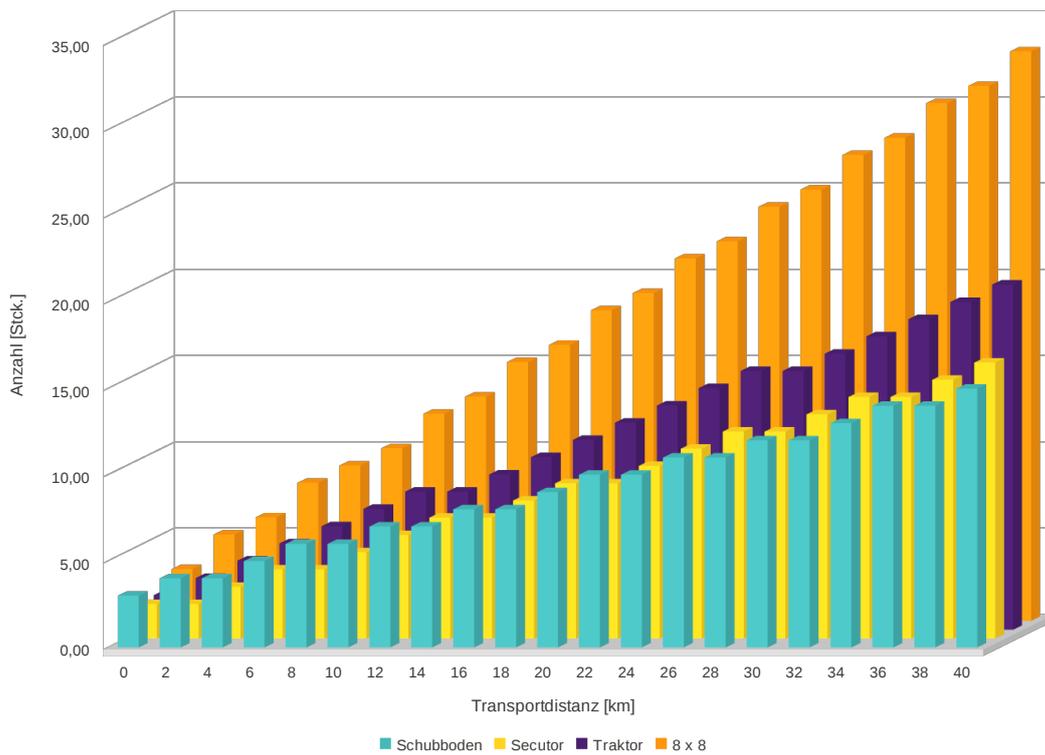
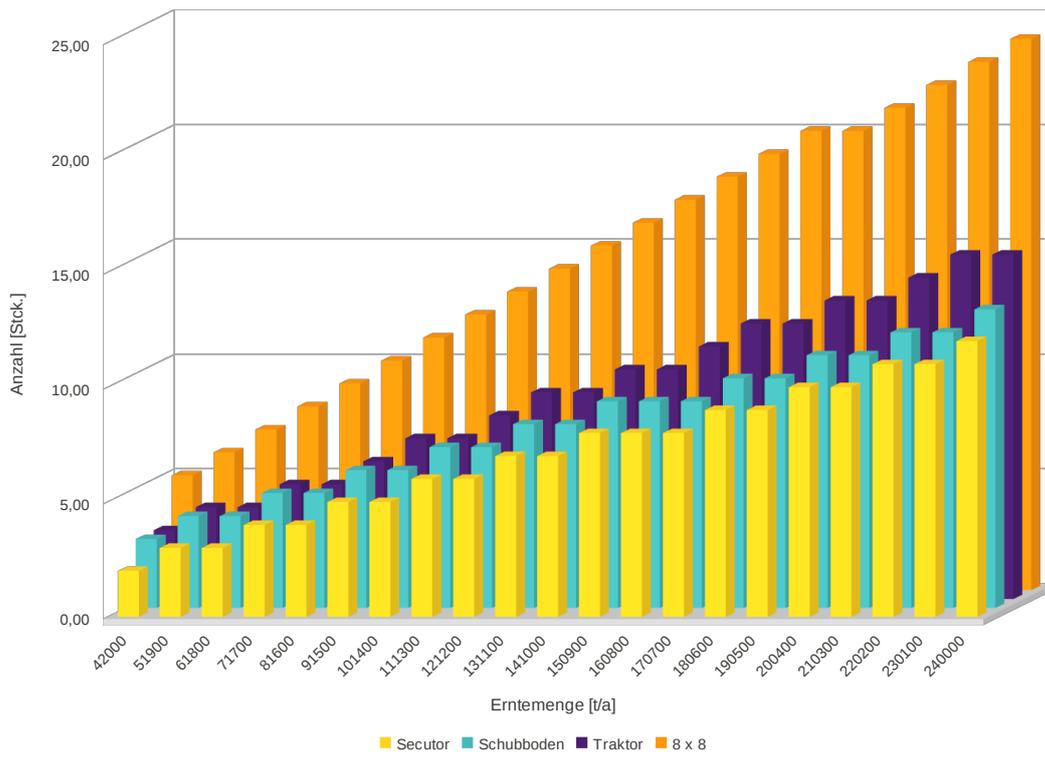


Abbildung 53: Anzahl benötigter Fahrzeuge

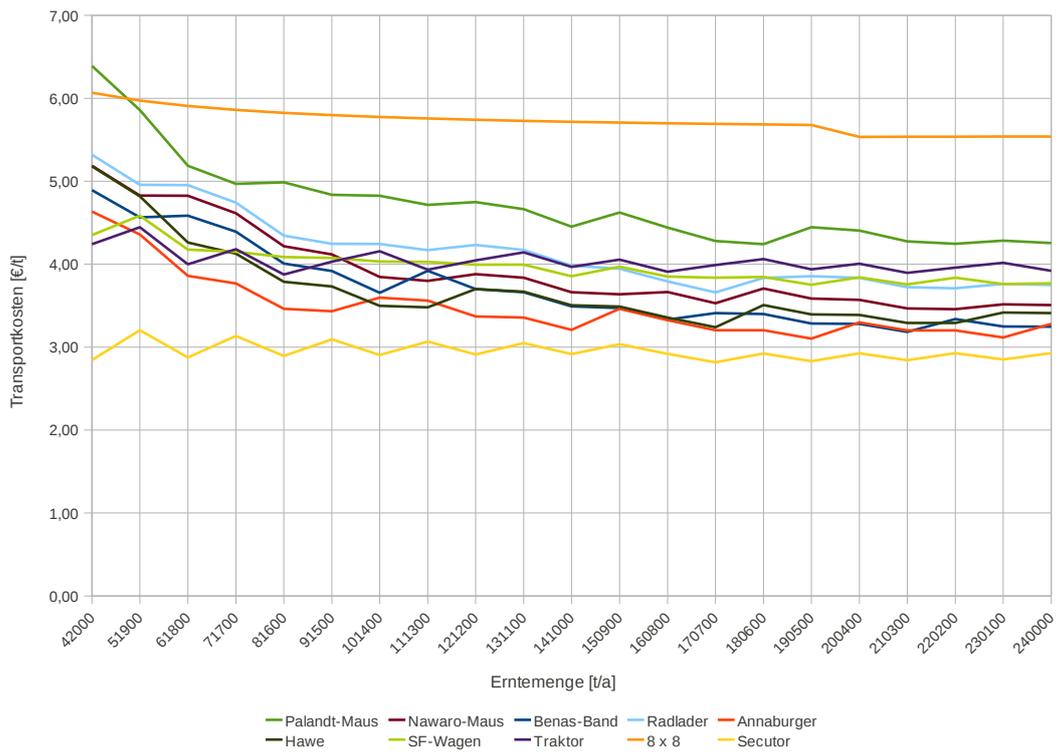


Abbildung 54: Vergleich aller Verfahren. Transportkosten über Erntemenge

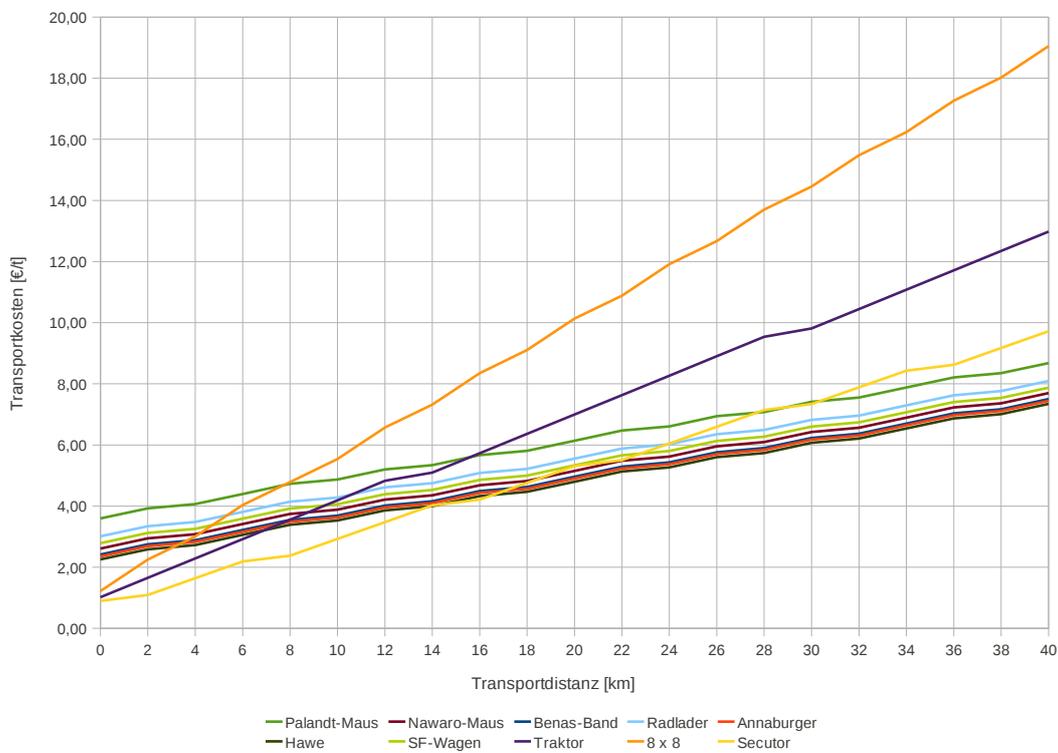


Abbildung 55: Vergleich aller Verfahren. Transportkosten über Transportdistanz

Die Grafiken in Abbildung 54 und 55 zeigen den Kostenverlauf für alle hier behandelten Verfahren. Es zeigt sich für die Variation der Erntemenge beziehungsweise des Gutstroms ein völlig anderer Verlauf als für die Variation der Transportdistanz. Bei letzterer bleiben die Kosten für das Überladen konstant, wie die Grafiken in Abbildung 52 zeigen. Zudem verwenden alle Überladeverfahren denselben Straßentransporter. Deshalb entstehen hier stets parallele Kostenverläufe für die Überladeverfahren. Die Direktfahrer zeigen einen gänzlich anderen Verlauf als die anderen Kategorien. Das liegt bei varianten Transportdistanzen daran, dass sie verschiedene variable Kosten pro Kilometer Transportdistanz aufweisen.

Bei der Variation der Erntemenge bleiben bei allen Verfahren die variablen Stückkosten konstant. Es ändert sich nur der Anteil der fixen Kosten an den gesamten Transportkosten. Dabei hat die Anzahl der benötigten Fahrzeuge einen erheblichen Einfluss (Abbildung 53). Dieser äußert sich bei allen Grafiken übrigens im teilweise gestuften Verlauf der Kurven. Bei der Variation der Erntemenge weisen alle Systeme einen regressiven Stückkostenverlauf auf. Die regressiv Komponente stammt vom sinkenden fixen Anteil der Kosten an den gesamten Stückkosten.

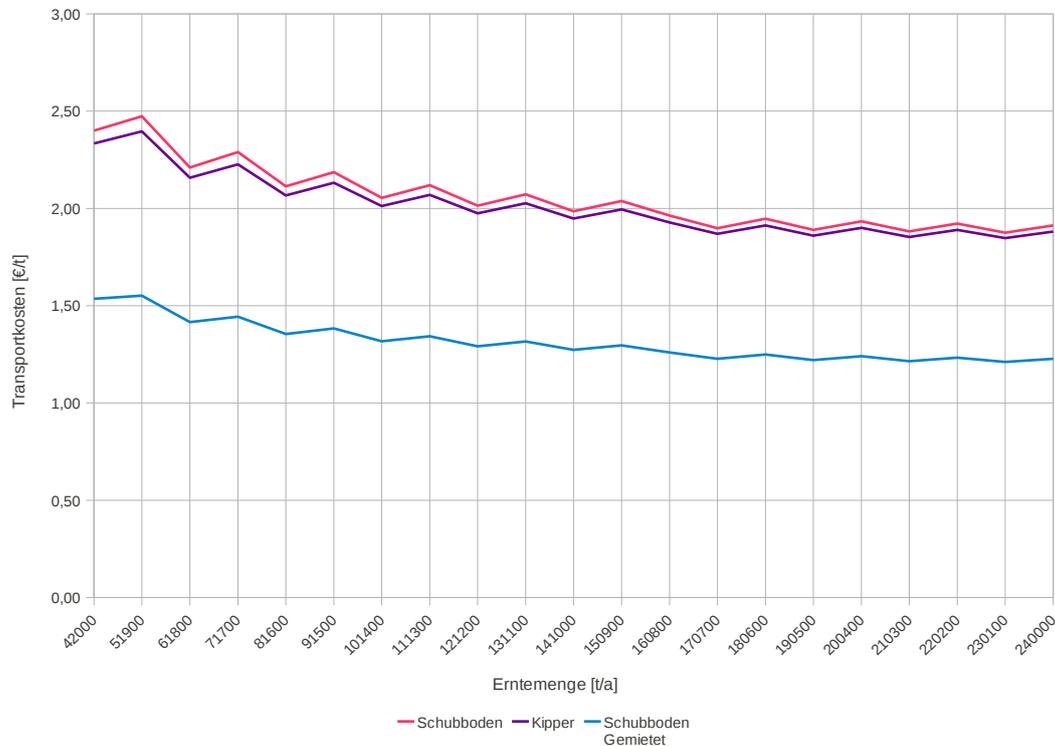


Abbildung 56: Vergleich Straßentransporter. Transportkosten über Erntemenge

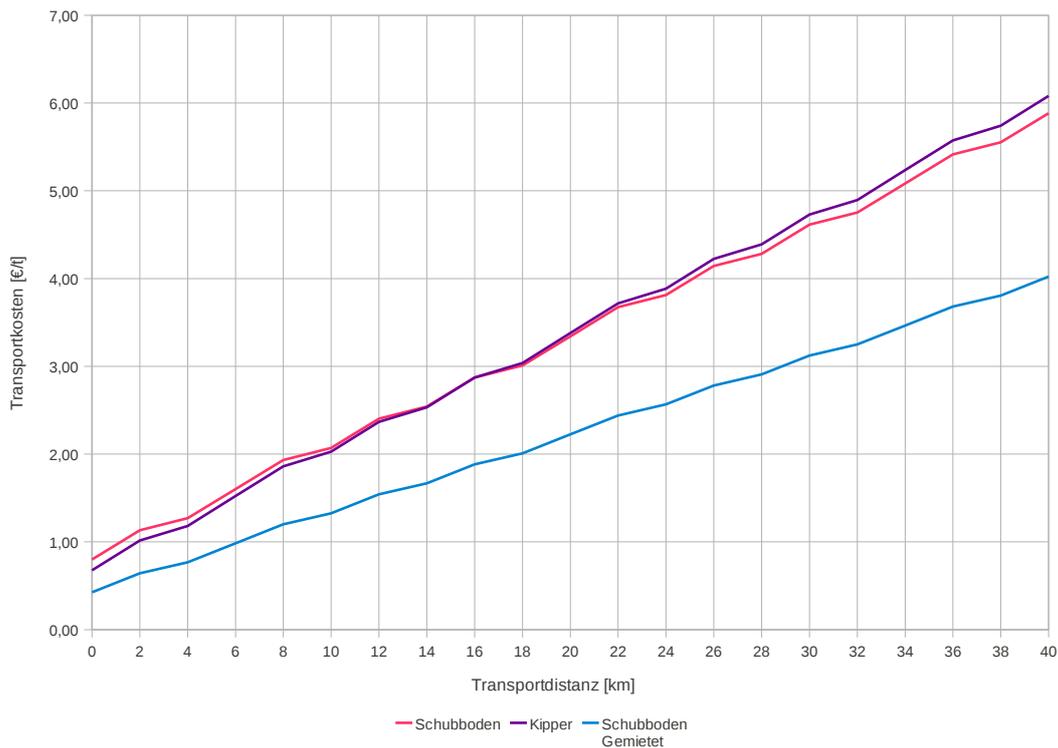


Abbildung 57: Vergleich Straßentransporter. Transportkosten über Transportdistanz

Abb. 55 zeigt in Abhängigkeit von der Transportstrecke ein scherenförmiges Auseinanderlaufen der Kosten. Wird die Erntemenge verändert, zeigen die Stückkosten nur einen sehr leicht regressiven Verlauf. Dies liegt daran, dass bei zunehmendem Massenstrom immer mehr Fahrzeuge eingesetzt werden müssen. Dadurch kommen immer wieder die Fixkosten eines weiteren Fahrzeugs hinzu, sodass der Fixkostenanteil der ganzen Transportkette an den gesamten Stückkosten keine großen Änderungen erfährt. Die variablen Stückkosten sind bei der Variation der Erntemenge exakt konstant. Dass die Kurve dennoch einen leicht regressiven Verlauf zeigt ist in der kürzeren Ladezeit bei steigender Häckslerleistung begründet (s. Abs. 4.3.2). Diese wirkt sich auf die Anzahl der Fahrzeuge und damit auf die Fixkosten der gesamten Flotte aus. Allen in diesem Abschnitt gezeigten Diagrammen liegen die Kosten für die gekaufte Variante des LKW mit Schubboden-Auflieger zugrunde, weil die Kosten für alle anderen Maschinen ebenfalls den Kauf voraussetzen.

Die Abbildungen 58 und 59 zeigen das Kostenverhalten der Direktfahrer. Wegen der unterschiedlichen variablen Kosten der Maschinen ist auch hier bei der Variation der Transportdistanz das scherenförmige Auseinanderlaufen der Kurven wie bei den Straßentransportern zu sehen. Bei den Direktfahrern hat die Häckslerleistung einen noch geringeren Einfluss auf die Kosten als bei den Straßentransportern (s. Abs. 4.3.2) Deshalb zeigen die Kurven in Abb. 59 einen annähernd konstanten Verlauf.

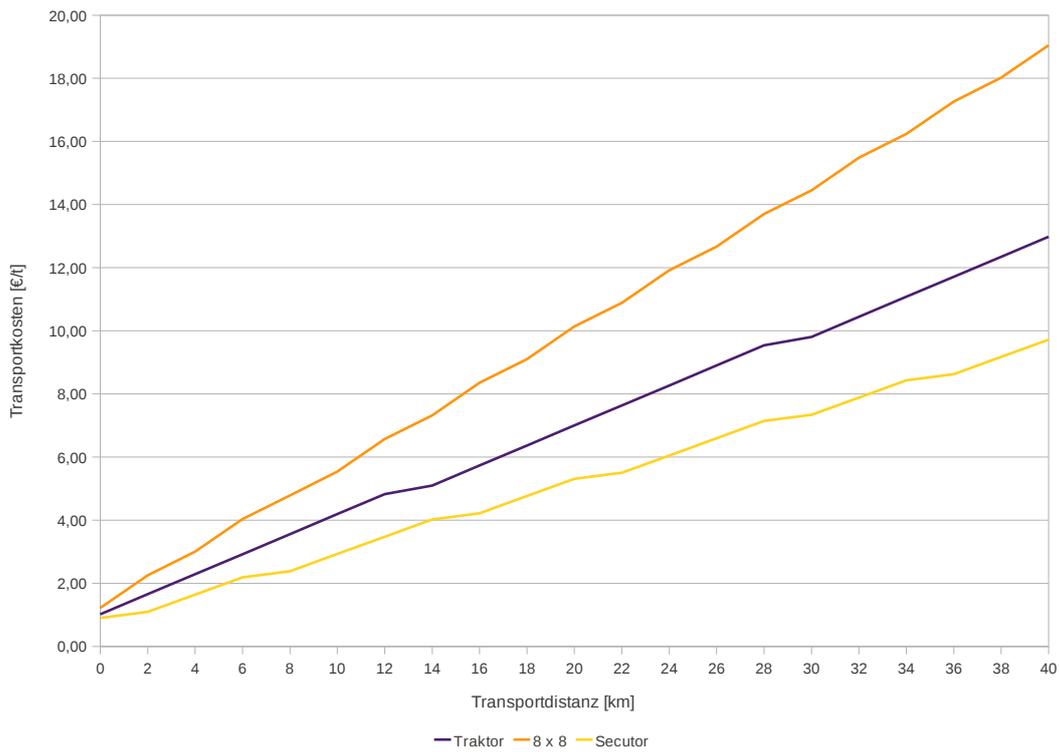


Abbildung 58: Vergleich Direktfahrer. Transportkosten über Transportdistanz

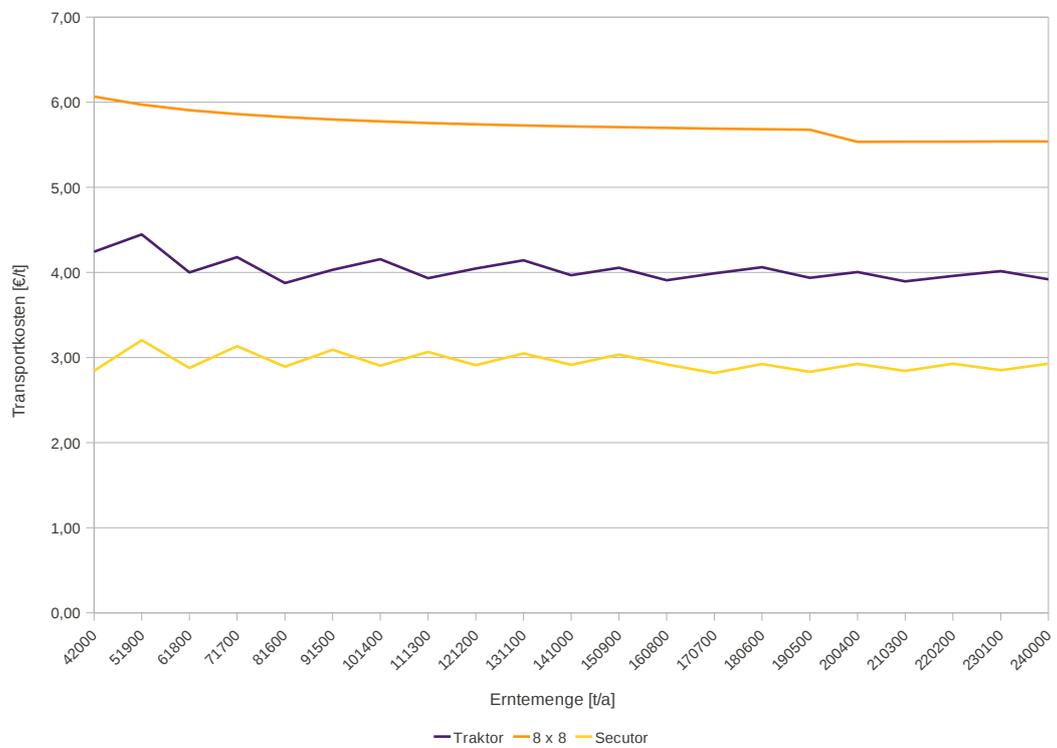


Abbildung 59: Vergleich Direktfahrer. Transportkosten über Erntemenge

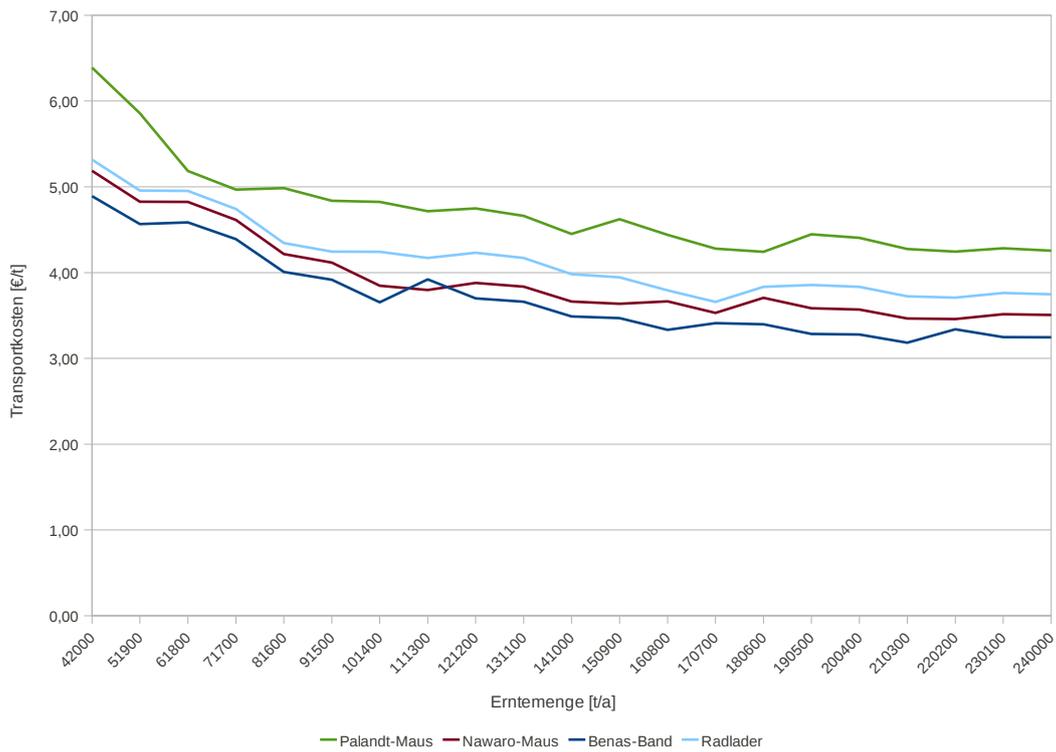


Abbildung 60: Vergleich Indirektes Überladen

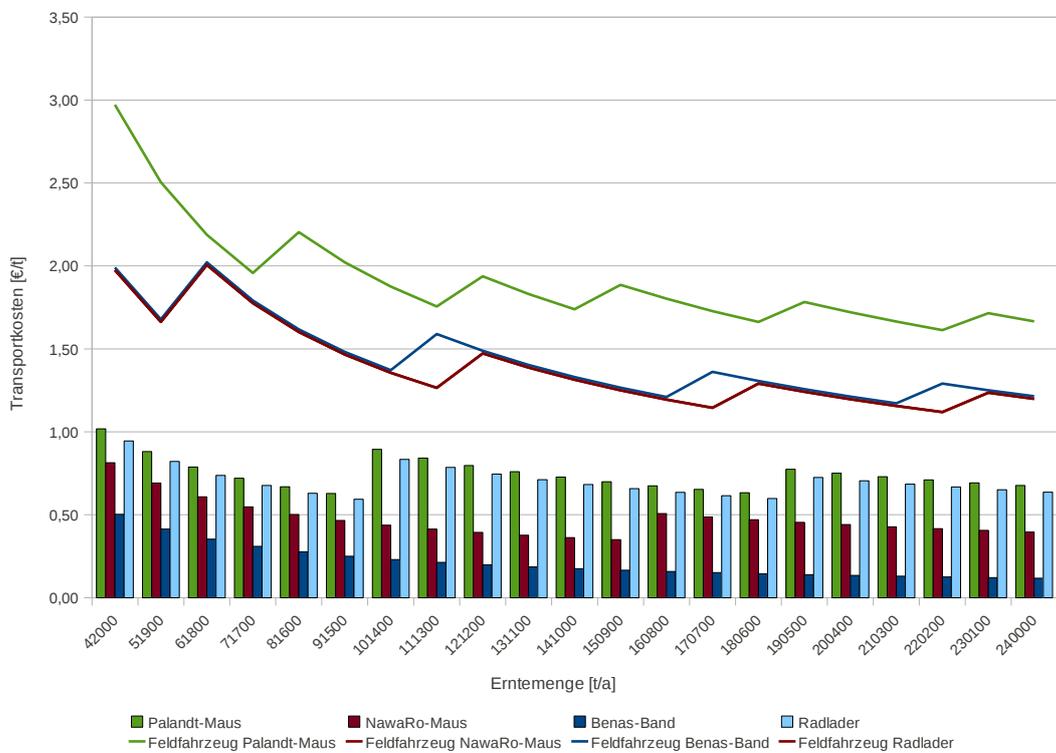


Abbildung 61: Vergleich Indirektes Überladen, Kosten frei Feldrand

Bei allen Überladevarianten werden nur die Kostenverläufe bei variierenden Erntemengen dargestellt, da Diagramme bezüglich wechselnder Transportdistanzen bei diesen Verfahren keinen praktischen Wert besitzen.

Abbildung 60 stellt die gesamten Transportkosten beim Indirekten Überladen, inklusive des Straßentransportes dar. Es ist an dem regressiven Kostenverlauf erkennbar, dass mit zunehmender Erntemenge der Fixkostenanteil der Überlademaschine an den Stückkosten sinkt. Beim Indirekten Überladen wirkt sich die Überladeleistung auch auf die Kosten dieser Feldfahrzeuge aus, wie Abbildung 61 zeigt. Dort sind die Kosten der Überlademaschinen als Säulen dargestellt. Die Kosten der dazugehörigen Feldfahrzeuge sind als Kurven in derselben Farbe wie für die Überlademaschine aufgetragen. Bei den Varianten mit Puffer wirkt es sich günstig auf die Kosten der Feldfahrzeuge aus, dass sie stets mit voller Geschwindigkeit entladen können. Aus diesem Grunde sind die Kurven der Feldfahrzeuge exakt deckungsgleich. Sie wurden braun eingefärbt. Beim Benas-Band ist die Überladegeschwindigkeit ähnlich hoch wie die maximale Entladegeschwindigkeit der Feldtransporter. Aus diesem Grunde decken sich die Kurven von NawaRo-Maus, Radlader und Benas-Band in weiten Teilen.

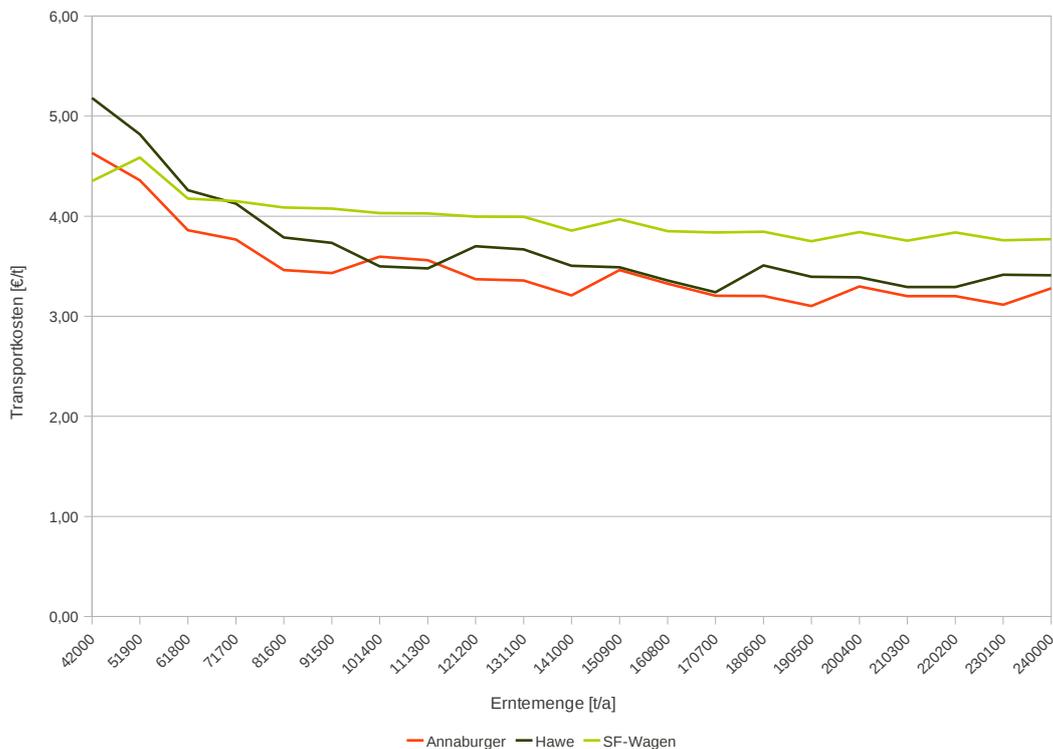


Abbildung 62: Vergleich Direktes Überladen. Transportkosten über Erntemenge

Analog zu Abbildung 60 zeigt Abbildung 62 die gesamten spezifischen Transportkosten vom Feldhäcksler bis zum Silo für die Maschinen der Kategorie Indirektes Überladen.

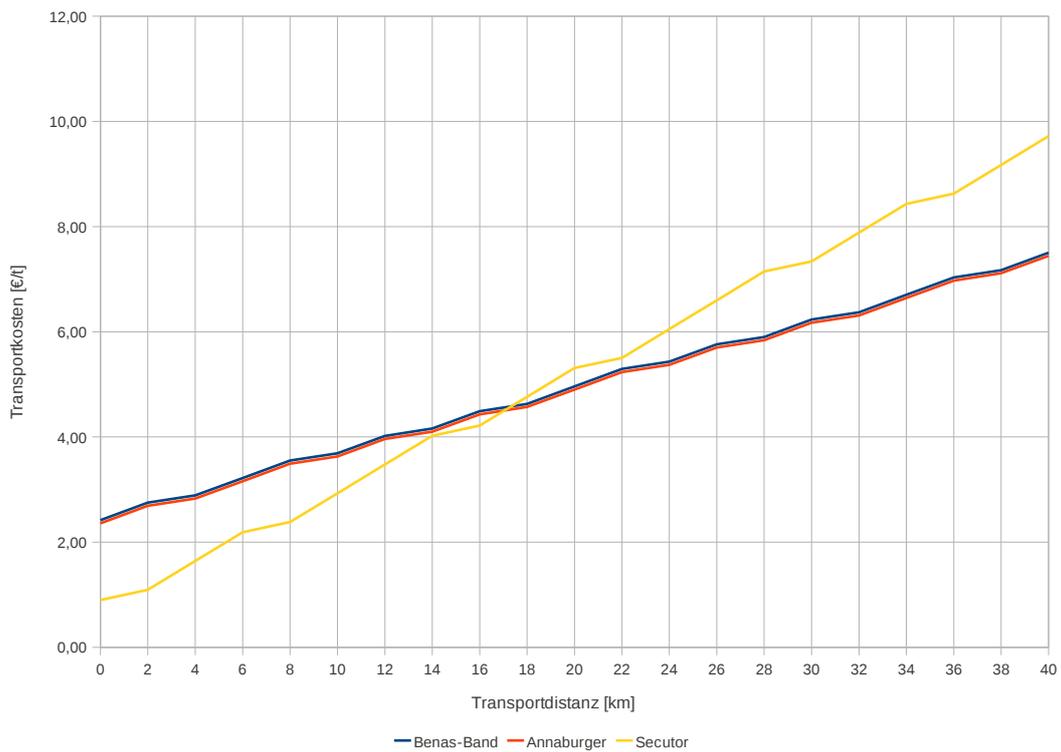
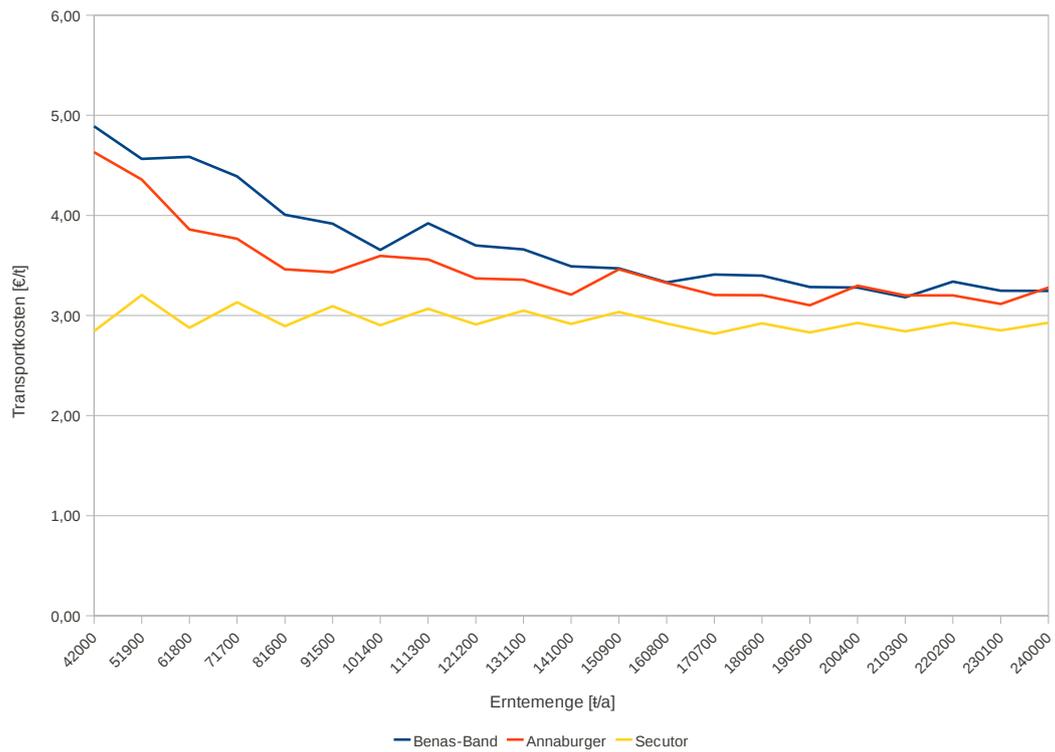


Abbildung 63: *Vergleich der "Klassenbesten"*

Die Grafiken in Abbildung 63 stellen die spezifischen Transportkosten frei Silo der jeweils kostengünstigsten Verfahren aus den drei Kategorien nebeneinander.

## 5 Schlussfolgerungen

Ähnlich wie die erhobenen Daten, sind die gezeigten Grafiken lediglich Momentaufnahmen bei bestimmten Eingabewerten. Die Diagramme "Kosten über Transportdistanz" ändern sich mit der Erntemenge beziehungsweise dem Gutstrom. Umgekehrt ändern sich die Diagramme "Kosten über Erntemenge" mit der Transportdistanz. Endgültigen Aufschluss über die kostengünstigste Variante des Silomaistransportes gibt demzufolge nur die Eingabe der betriebspezifischen Daten im Kostenrechner.

### 5.1 Straßentransporter

Der Kipper kann bei Distanzen bis 16 km durch geringere Entladezeiten Vorteile erzielen. Die LKW mit Schubbodenaufflieger tun dies bei größeren Transportdistanzen durch das größere Volumen und die damit verbundene höhere Nutzlast. Nachteil der Schubbodenaufflieger ist die lange Entladezeit. Die Grafik 56 zeigt auch, dass für den kurzen Zeitraum der Silomaisernte ein Mietfahrzeug die günstigste Variante darstellt. Der Kostenvorteil schwindet allerdings mit zunehmender Mietdauer. Beim Einsatz von Sattelzügen in der Landwirtschaft sind verschiedene gesetzliche Faktoren zu beachten. Probleme bereiten hier neben dem Sonntagsfahrverbot vor allem Vorschriften über die Lenkzeiten der Fahrer. Die vorgeschriebenen Pausen können zu beträchtlichen Stillstandszeiten der gesamten Häckselkette führen. Bei der Berechnung der nötigen Fahrzeuganzahl und damit der Kosten des gesamten Verfahrens, ist der Gutstrom des Feldhäckslers die maßgebliche Größe. Alle Überladelösungen müssen sich in ihrer Dimensionierung daran orientieren, weil der Abtransport des Erntegutes "Just in Time" zu erfolgen hat. Das heißt, dass die LKW eben so schnell beladen werden müssen, wie der Feldhäckseler häcksel. Die Überladeleistung der eingesetzten Überlademaschinen muss in ihrer Summe mindestens so groß sein wie der Durchsatz des Häckslers. Ist die Summe größer, so sind, wenn der Ladezeit der LKW die Leistung des Häckslers zugrunde liegt, Wartezeiten aufgrund von Überkapazitäten der Überlademaschine bereits berücksichtigt.

### 5.2 Direktfahrer

Wie zu erwarten war, weisen die Direktfahrer auf den ersten Kilometern die geringsten Kosten pro Tonne auf. Die entscheidende Frage ist nun, wie groß die Entfernungen maximal sein dürfen, in denen das Verfahren noch wirtschaftlich ist. Hierüber gibt Abb. 55 auf Seite 72 Aufschluss. Wird die Erntemenge im Kostenrechner variiert, so ergeben sich für die Distanzen der Kostengleichheit\* mit dem jeweils günstigsten Überladeverfahren folgende Werte:

- 8 x 8 LKW 2 bis 6 km
- Schleppergespann 6 bis 10 km
- Secutor 13 bis 22 km

*\*Bei diesen Entfernungen schneidet die Kostenkurve des jeweiligen Fahrzeugs diejenige der günstigsten Überladevariante.*

Die kleinen Werte für die Distanzen der Kostengleichheit entstehen bei der maximalen Erntemenge (240000 t) und die großen bei der minimalen Erntemenge (42000 t). Die besuchten Häckselketten hatten im Durchschnitt eine Transportdistanz von rund 16 Kilometern.

### 5.2.1 Schleppergespann

Die Kosten beim klassischen Verfahren mit Traktoren liegen im gesamten Betrachtungsbereich zwischen dem Secutor und dem 8 x 8 LKW. Gegenüber dem Secutor machen sich die hohen Kosten für Wartung/Instandhaltung und Kraftstoff sowie die etwas geringere Nutzlast negativ bemerkbar. Gegenüber dem 8 x 8 LKW weist der Traktor mit Tridemanhänger eine um 7,5 t höhere Nutzlast auf, die ihm einen bequemen Kostenvorteil gegenüber dem Vierachser beschert.

An dieser Stelle muss berücksichtigt werden, dass für die Berechnungen der ausschließliche Einsatz in der Silomaisernernte vorausgesetzt wurde. Traktoren werden in der Praxis aber meistens noch anderweitig eingesetzt, was den Fixkostenanteil der Transportkosten beim Silomaistransport etwas senken dürfte. Nach Aussage vieler Praktiker beträgt aber der Anteil der Transportarbeiten bei ihren Traktoren oft schon 80% und mehr.

### 5.2.2 Secutor

Wie in der Einleitung zu diesem Abschnitt erwähnt, stellt der Secutor vom ersten Kilometer an bis zu 14. bis 23. Kilometer die günstigste Transportvariante von allen dar. Die Kombination aus Mercedes Zetros und PullBox kann durch die hohe Nutzlast und den geringen Kraftstoffverbrauch bedeutende Kostenvorteile gegenüber den anderen Verfahren vorweisen. Hinzu kommt die hohe Durchschnittsgeschwindigkeit, welche durch das voll gefederte LKW-Fahrwerk der Zugmaschine und das hochwertige Kaweco-Fahrwerk des Anhängers erst ermöglicht wird. Die Durchschnittsgeschwindigkeit hat hohen Einfluss auf die Zykluszeit und damit auf die Transportleistung des Systems insgesamt. An dieser Stelle kann festgestellt werden, dass ein guter Fahrkomfort sich eben nicht "nur" in der Fahrgesundheit bzw. -ermüdung niederschlägt, sondern auch im direkten monetären Nutzwert der Maschine. Der Secutor ist daher beim Vergleich der Direktfahrer der eindeutige Sieger. Im Vergleich mit den Überladeverfahren stellt sich für den Anwender die Frage, welcher Anteil der zu beerntenden Fläche außerhalb eines Radius von etwa 20 Kilometern um das Silo liegt. Optimal wäre für diese großen Distanzen, die eher eine Ausnahme darstellen sollten, eine Ergänzung zum System Direktfahrer. Diese können prinzipbedingt nur die Indirekten Überladeverfahren bieten. Wegen der geringen Anschaffungskosten und überzeugenden Leistungswerte würde sich hier das Benas-Band anbieten. Zuletzt muss noch bemerkt werden, dass der Secutor als reines Transportfahrzeug konzipiert ist. Mit dem 29 m<sup>3</sup> großen Tankaufbau kann er neben der Maisernernte auch für Gülletransport und -ausbringung eingesetzt werden. Die PullBox ist für den Transport von allen landwirtschaftlichen Schüttgütern, auch Hackfrüchten, konzipiert und rapsdicht. Ein ganzjähriger Einsatz ist somit realistisch. Für die Zugmaschine ist auch eine Ausrüstung für den Winterdienst erhältlich.

### 5.2.3 8 x 8 LKW

Die sogenannten Agro-Trucks weisen in keinem der kostenrelevanten Punkte Vorteile auf. Die geringen Anschaffungskosten pro Fahrzeug werden durch die geringe Nutzlast und Durchschnittsgeschwindigkeit und die daraus resultierende höhere Anzahl benötigter Fahrzeuge wieder aufgehoben. Der Kraftstoffverbrauch ist noch höher als bei den betrachteten Traktoren (von Fendt) und die Nutzlast beträgt nur 12 bis 13 Tonnen. Aus diesem Grunde kann der 8 x 8 LKW in seinen verschiedenen Ausführungen als klarer Verlierer des gesamten Vergleichs festgestellt werden.

## 5.3 Direktes Überladen

Bei diesem Verfahren ist der Anwender auf das Überladen ab dem ersten Kilometer angewiesen. Alle Maschinen zum Direkten Überladen sind als Ergänzung zur Direktfahrt geeignet, weil die Anhänger durch die Überladeeinrichtungen ein hohes Eigengewicht besitzen. Als Vorteil könnte es sich erweisen, dass mehrere LKW gleichzeitig beladen werden können. Dadurch werden die Feldfahrzeuge unter Umständen schneller frei als beim Indirekten Überladen. Dieses Szenario tritt beispielsweise dann auf, wenn die LKW nach längerer Abwesenheit als Kolonne am Feld erscheinen, eine Angewohnheit, die bei den Fahrern leider weit verbreitet ist und im Kontext mit der Erntelogistik immer wieder zu Engpässen und persönlichen Konflikten führt. Alle hier behandelten Maschinen sind ausschließlich für das Überladen von Häckselgütern konzipiert.

### 5.3.1 Annaburger HTS 29.06 Fieldliner

Der Überladewagen von Annaburger schneidet bezüglich der Kosten unter fast allen Bedingungen etwas günstiger ab als der von Hawe. Durch das Volumen von etwa 60 m<sup>3</sup> kann ein LKW mit einem Wagen voll beladen werden. Der Leistungsbedarf der Maschine ist relativ gering und wird vor allem von der Zugkraft bestimmt. Auch der Geräuschpegel beim Überladen ist niedriger als beim SUW 5000. Der besichtigte Prototyp wies noch einige "Kinderkrankheiten" auf, deren Beseitigung aber durch den Hersteller zugesichert wurde. Es stellt sich allerdings die Frage, ob die Standsicherheit bei hängigen Bedingungen zum Problem werden könnte. Das Handling des Wagens erfordert vom Fahrer in jedem Fall Konzentration und Verantwortungsbewusstsein. Während des Überladens muss der LKW bewegt werden, das bedeutet, dass die Fahrer der Überladewagen mit denen der LKW auf irgendeine Weise kommunizieren müssen (Das kann z.B. bei verschiedenen Muttersprachen der Fahrer problematisch sein). Die Sicht auf den Gutstrom beim Überladen ist nur durch Kamerasysteme möglich. Bei Missverständnissen können beträchtliche Verluste entstehen. Die Kommunikation zwischen den beiden Fahrern ist auch der begrenzende Faktor für die Überladeleistung. Verluste entstehen prinzipbedingt durch den Kratzboden im vorderen Bereich des Wagens. Sie betragen etwa 0,1- 0,2 %.

### 5.3.2 Hawe SUW 5000

Der Überladewagen mit dem Wurfgebläse besticht durch seine hohe Prozesssicherheit. Rein technisch funktioniert dieses System immer. Auch Handling und die Bedienung sind einfacher als beim Annaburger, und das Überladen kann vollkommen verlustfrei geschehen. Für das Überladen ist keine Kommunikation mit den LKW-Fahrern nötig und die Sicht auf den Auswurfkrümmer ist deutlich besser als bei den Systemen mit Heckentladung. Im Gegenzug muss allerdings in Kauf genommen werden, dass das Überladen per Gebläse sehr kraftaufwendig ist. Die erzielbaren Überladeleistungen hängen direkt von der Motorleistung des antreibenden Schleppers ab. Dieser kann kaum groß genug sein. Ein weiterer Aspekt ist, dass während des Überladens hohe Geräuschemissionen entstehen, da die Schlepper dann für etwa fünf Minuten am Leistungslimit betrieben werden und die Wagen ebenfalls Lärm emittieren. Dadurch sind Nachtschichten in bewohnten Gebieten ausgeschlossen. Durch die vergleichsweise aufwendige Technik ist der Wagen in der Anschaffung zudem sehr teuer.

### 5.3.3 Selbstfahrender Überladewagen

Die selbstfahrenden Überladewagen des Lohnunternehmens SCHMIDT aus dem niedersächsischen Adelebsen sind im diesem Vergleich die einzigen echten Gebrauchtmaschinen. Sie sind daher nicht jederzeit für jedermann käuflich zu erwerben. Dieser Umstand macht einen fairen Vergleich zu den anderen Maschinen schwierig. Die Überladefahrzeuge weisen durch die geringen Nutzlasten und Fahrgeschwindigkeiten im Vergleich größtenteils die höchsten Kosten auf. Als Selbstfahrer sind die Maschinen allerdings überaus handlich und mit den sechs angetriebenen Rädern sehr geländegängig. Bei den gebrauchten Maschinen besteht naturgemäß eine erhöhte Gefahr, dass sie wegen Defekten ausfallen. Zudem muss mit erhöhten Wartungs- und Instandhaltungskosten gerechnet werden. Auch bei den Fahrerinnen müssen Abstriche gemacht werden. So ist beispielsweise die Anordnung von Lenkrad und Fahrhebel so ungünstig, dass die Fahrer stets etwas gekrümmt sitzen und es fehlt eine Klimaanlage, zumal der Motor direkt hinter der Kabine sitzt und die Kabine erwärmt. Bedingt durch die Kratzbodenentleerung fallen Verluste in Höhe von 0,1 bis 0,2 % an.

## 5.4 Indirektes Überladen

Obwohl beim Indirekten Überladen eine separate Maschine samt Fahrer nötig ist, liegen die Kosten des günstigsten Verfahrens dieser Kategorie sehr eng beim günstigsten direkten Überladeverfahren. Nicht alle Verfahren sind zum Überladen von Grassilage geeignet. Dieser Umstand schränkt die ohnehin sehr geringe mögliche Auslastung dieser Maschinen zusätzlich ein. Ein großer Vorteil dieser Kategorie ist, dass als Feldtransporter dieselben Fahrzeuge wie für die Direktfahrt eingesetzt werden können. Das bedeutet, dass bis zu einer individuell bestimmbaren Distanz (z.B. wenn die vorhandenen Fahrzeuge nicht mehr reichen) direkt abgefahren und erst danach überladen werden kann. Diese Praxis nutzt die Kostenvorteile beider Kategorien und schafft Flexibilität für große Distanzen, da Straßen-LKW als Mietfahrzeuge oder über Speditionen in der Regel spontan verfügbar sind.

### 5.4.1 Nawaro Bunkermaus System PALANDT

Die Bunkermaus bietet als großen Vorteil den langen und flexiblen Ausleger. Dadurch ist es möglich, auch Gräben, Hecken und ähnliche Hindernisse am Feldrand zu überbrücken. Außerdem ermöglicht er das Beladen des gesamten LKW ohne ihn bewegen zu müssen. Der Wechsel von Arbeitsposition zur Straßenfahrt geschieht sehr schnell und bequem von der Kabine aus. Diese ist im Übrigen sehr komfortabel, bietet eine exzellente Übersicht und verfügt über einen drehbaren Sitz in dessen Armlehne die wichtigsten Bedienelemente integriert sind. Leider ist die Bunkermaus wie die Ropa NawaRo-Maus nicht für Grassilage geeignet. Die besonderen Eigenschaften dieses Erntegutes bergen die Gefahr der Verstopfung. Der Begriff Bunkermaus lässt auf einen gewissen Puffer der Maschine schließen. Dies ist allerdings nicht der Fall. Der Bunker reicht gerade für den Wechsel zwischen zwei Feldfahrzeugen. Durch die vielfältigen Fördereinrichtungen entstehen Verluste in Höhe von 0,25-0,35 %. Insgesamt bringt es die Nawaro Bunkermaus System PALANDT auf Überladeleistungen von etwa 150 t/h. Da die Maschine, wie oben erwähnt keinen Puffer besitzt bedeutet dies, dass die Feldfahrzeuge auch nur mit einer solch geringen Geschwindigkeit entladen können. Das wiederum hat zur Folge, dass mehr

Feldfahrezuge benötigt werden. Laut einem aktuellen Bericht des VDMA wiesen im Jahre 2011 die meisten verkauften Feldhäcksler Leistungen zwischen 600 und 800 PS auf. Feldhäcksler dieser Größe ernten durchschnittlich etwa 170 t/h Mais. Daraus folgt, dass die Bunkermaus bereits durchschnittlichen Gutströmen nicht gewachsen ist. Die Summe der genannten Faktoren macht die Nawaro Bunkermaus System PALANDT zum teuersten Überladesystem in diesem Vergleich.

#### **5.4.2 ROPA NawaRo-Maus**

Wie bei der Nawaro Bunkermaus System PALANDT erweist sich der 13 Meter lange Ausleger der Maschine als großer Vorteil beim Überbrücken von Hindernissen und beim Beladen der LKW. Wie die Palandt-Maus gemein hat sie den Vorteil des schnellen und komfortablen Umrüstens von Arbeits- in Transportstellung und des guten Fahrerstandes. Bei Letzterem gibt es allerdings Unterschiede, die von der verwendeten Ursprungsmaschine abhängen. Ältere Kabinen haben verschiedentlich keine Klimaanlage, einen höheren Geräuschpegel und eine schlechtere Ergonomie der Bedienelemente. Ein weiterer Kostenvorteil entsteht dadurch, dass die Feldfahrzeuge immer mit voller Entladeleistung arbeiten können. Die Maschine selbst weist mit 265 t/h die zweitgrößte Überladeleistung bei den Indirekten Verfahren auf und wird damit auch kostenmäßig zweitplatzierte beim Indirekten Überladen. Der Kostenvorteil, welcher durch das Vorhandensein eines großen Pufferspeichers entsteht ist schwer zu beziffern und daher hier nicht berücksichtigt. Für viele Praktiker könnte sich die potentielle Gefahr der Futtermittelverschmutzung als entscheidendes Kriterium gegen diese Maschine und damit gegen das Indirekte Überladen mit Puffer allgemein erweisen. Um diese Gefahr zu umgehen, wäre ein befestigter Überladeplatz in Feldnähe nötig, der aber nicht immer verfügbar ist. Die prozentualen Verluste der Maschine sind mit 0,1 bis 0,2 % etwas geringer als bei der Bunker-Maus. Dies liegt daran, dass beim mehrmaligen Überfahren des Überladeplatzes die eigenen Verluste teilweise wieder aufgenommen werden. Weitere Nachteile sind die fehlende Eignung für Grassilage und die hohen Anschaffungskosten.

#### **5.4.3 Benas Überladeband**

Das Förderband der Benas Biogasanlage stellt in diesem Vergleich ganz klar das günstigste Verfahren in der Kategorie Indirektes Überladen dar. Die Gründe dafür liegen in der enormen Überladeleistung und dem geringen Anschaffungspreis. Die Verluste sind normalerweise vernachlässigbar gering, sie betreffen nur bei Starkwind und trockenem Häckselgut die energiearmen Fraktionen. Eine Verschmutzung des Häckselgutes ist ausgeschlossen. Die Feldfahrzeuge werden ihre Ladung mit annähernd voller Geschwindigkeit los, was zu weiteren Kostenvorteilen führt. Die geringen Anschaffungskosten des Förderbandes bieten in Verbindung mit dem Secutor die Möglichkeit, die Kostenvorteile der Direktfahrt mit denen des Überladens zu kombinieren. Bei Distanzen bis etwa zwanzig Kilometer könnte der Secutor somit als Direktfahrer eingesetzt werden. Für längere Distanzen (und auch nur dann) böte sich der Einsatz des Benas-Bandes an mit dem Secutor als Feldfahrzeug. Einzig die etwas längeren Rüstzeiten und das Verteilen der Ladung durch Bewegen des LKW können hier als Nachteil angeführt werden. Diese sind allerdings kostenmäßig schwer zu beziffern.

#### 5.4.4 Radlader

Der Ansatz, mit handelsüblichen Rad- oder Teleskopladern Häckselgüter auf LKW zu verladen, bietet sich nach Ansicht des Verfassers vor allem als Einstiegstechnologie oder bei gelegentlichen Einsätzen an. Die kostengünstigste Variante ist es allerdings nicht. Der Vorzug dieser Technik besteht zum einen darin, dass solche Standardmaschinen oft schon vorhanden sind oder spontan angemietet werden können. Zum anderen bietet das Verfahren, wie die ROPA NawaRo-Maus einen großen Puffer. Entscheidender Verfahrensnachteil ist, dass vor allem unter feuchten Verhältnissen auf losem Untergrund die Gefahr der Futterschmutzung besteht. Bei der Arbeit auf einer befestigten Fläche spielt dieser Umstand freilich keine Rolle, ebensowenig wie die potentiellen Verluste, da diese einfach wieder aufgenommen werden können. Ein weiterer Nachteil des Radladers ist die geringe Überladeleistung von etwa 150 t/h, die schon bei durchschnittlichen Gutströmen nicht ausreichen könnte.

### 5.5 Energiebilanz

Im Zuge dieser Untersuchung kam immer wieder die Frage auf, ob mit der Produktion von Biogas aus weit transportiertem Silomais tatsächlich eine Senkung des  $CO_2$ -Ausstoßes realisiert werden kann. Auf diese Fragestellung nimmt nachfolgend der Versuch einer Bilanzierung Bezug, wobei von erntereifem Silomais ausgegangen wird. An dieser Stelle soll darauf kurz in Form einer Energiebilanz eingegangen werden. Dabei wird aber wieder ausschließlich der Transport von Silomais betrachtet. Die vor- und nachgelagerten Prozesse sind zu vielschichtig, als dass sie in diese kurze Bilanzierung einbezogen werden könnten.

Laut Fachverband Nachwachsende Rohstoffe (FNR) beträgt die Biogasausbeute aus einer Tonne Silomais 190 m<sup>3</sup> [38]. Ein Kubikmeter Biogas hat wiederum den Heizwert von 0,6 l Heizöl [39]. Demzufolge entspricht eine Tonne Silomais 114 Liter Dieselkraftstoff. Dieser Wert wird allgemein als Heizöläquivalent ( $H$ ) bezeichnet. Mit einem Secutor als sparsamstem Direktfahrer können 21,3 t Silomais ( $\hat{=}$  2924 l DK) transportiert werden ( $NL$ ) bei 44,02 l/100 km Dieserverbrauch ( $b_S$ ). Mit diesen Werten kann nun folgende Gleichung aufgestellt werden.

$$\begin{aligned} H &= \frac{b \cdot 2s}{NL} \\ s &= \frac{H \cdot NL}{2b} \\ s &= \frac{114 \frac{l}{t} \cdot 21,3 t}{2 \cdot 0,44 \frac{l}{km}} \\ s &= 2759,32 km \end{aligned}$$

Aus dieser Rechnung wird ersichtlich, dass mit dem Seutor erst bei einer Transportdistanz (einfache Strecke) von 2759 Kilometern die transportierte Energiemenge verfahren wird. Mit einem 8 x 8 LKW würde diese Transportdistanz 1004 km betragen, mit einem Schubboden-LKW 3481 km. Diese Zahlen zeigen, dass der Kraftstoffverbrauch beim Transport von Silomais im Verhältnis zur transportierten Energiemenge vernachlässigbar gering ist. Im ungünstigsten Fall (Transport mit 8 x 8 LKW über 40 km) beträgt der Anteil der beim Transport verbrauchten Energie an der gewonnenen Energie 4 %. Mit Schubboden-LKW lässt sich dieser Wert auf 1 % senken.

## 6 Fazit

Die hohen Anschaffungs- und Betriebskosten der Maschinen und Fahrzeuge zum Transport von Silomais erfordern, die technischen Vor- und Nachteile der verschiedenen logistischen Varianten sowie deren Kosten für die jeweilige betriebliche Situation genau abzuwägen. Dabei stellt sich zum einen die Frage nach der Einsetzbarkeit einer bestimmten Maschine unter den betrieblich gegebenen Bedingungen und zum anderen die Frage nach der kostengünstigsten Methode, das Häckselgut vom Feld zum Silo zu transportieren.

Während der Silomaisernte 2011 sind Leistungsdaten erhoben und Messungen an zehn verschiedenen Maschinen aus drei Kategorien unter Praxisbedingungen vorgenommen worden. Die so gewonnenen Werte wurden zusammen mit recherchierten Daten in einer aktiven Tabellenkalkulation verarbeitet. Mit dieser ist es möglich, einerseits für einen konkreten Einsatzfall die entsprechenden Kosten der zehn Verfahren zu ermitteln und andererseits anhand der erstellten aktiven Grafiken Aussagen über Kostentendenzen abseits des konkreten Falles zu treffen. Durch Beobachtungen und Befragungen während der Praxiseinsätze konnten zudem Eindrücke über die praktische Arbeit mit den Systemen gewonnen werden.

Die Rohdaten, welche während der Praxiseinsätze ermittelt wurden, sind jedoch nur Momentaufnahmen, und eine Wiederholung der Messungen würde naturgemäß mit einiger Wahrscheinlichkeit abweichende Resultate erbringen. Allerdings wurden alle Werte im Nachhinein durch die Anwender auf deren Plausibilität geprüft und bestätigt, dass sie sich mit den eigenen Erfahrungen decken.

Die Frage nach der günstigsten Methode, Häckselgüter vom Feld zum Silo oder zur Biogasanlage zu transportieren, kann nicht pauschal für alle irgend denkbaren Fälle beantwortet werden. Es haben sich jedoch einzelne Maschinen bzw. Verfahren finden lassen, die unter fast allen betrieblichen Bedingungen die kostengünstigste Variante innerhalb der jeweiligen Kategorie darstellen. Dies sind der SECUTOR für die direkte Abfuhr vom Häcksler zum Silo („Direktfahrt“), der ANNABURGER HTS 29.06 Fieldliner für das direkte Überladen (Feldfahrzeug übergibt mittels spezieller Vorrichtungen die Ladung direkt an ein anderes Fahrzeug) und das BENAS-BAND für das indirekte Überladen (Separate Maschine übernimmt Ladung von Feldfahrzeugen und verlädt diese auf dritte Fahrzeuge).

Wie erwartet, hat sich die Direktfahrt als günstigste Methode für kurze Distanzen herausgestellt. Entscheidend ist nun der Definitionsbereich für den Begriff „Kurze Distanzen“. Ist dieser definiert, kann auch die Frage, ob sich das Überladen auf LKW am Feldrand lohnt beantwortet werden. Der Definitionsbereich für „kurze Distanzen“ hängt vorrangig von zwei Variablen ab. Dies sind

1. die jährliche Erntemenge bzw. der zu transportierende Massenstrom und
2. die Transportkosten der Referenzmaschine für die Direktfahrt mit der verglichen wird.

Je kleiner die Erntemenge und je günstiger die Referenzmaschine desto größer ist der Bereich der "kurzen Distanz". Wird z. B. ein Traktor als Referenzmaschine zur Direktfahrt herangezogen, endet dieser Bereich bei 6 bis 13 Kilometern. Mit dem Secutor dagegen vergrößert sich die „kurze Distanz“ auf 14 bis 23 Kilometer. Erst wenn erhebliche Teile der Flächen größere Hof-Feld-Entfernungen als 20 km aufweisen, ist es deshalb, was die Transportkosten betrifft, sinnvoll auf Straßen-LKW zu überladen. Hierbei gilt es zu bedenken, dass die Organisation einer solchen Transportkette erheblichen Aufwand bedeutet und dennoch viele Unsicherheiten bezüglich der

Lieferzuverlässigkeit birgt. Bei der Wahl des Überladeverfahrens gilt es, eine gute Ergänzung zur kostengünstigen Direktfahrt zu finden, da diese ja für die meistens trotzdem vorhandenen „kurzen Distanzen“ die günstigste Methode darstellt. Diese wäre beispielsweise durch das Benas-Band gegeben da es durch geringe Fixkosten bei einer hohen Leistung hervorsteicht. Direkte Überladeverfahren kommen nur eingeschränkt als Ergänzung zur Direktfahrt in Frage.

Das heißt, dass der Secutor für Transporte bis etwa 20 km die kostengünstigste Variante von allen ist. Dieser Bereich dürfte den größten Teil der landwirtschaftlichen Transporte abdecken.

## 7 Danksagung

Diese Arbeit ist erst durch die Mithilfe vieler Menschen und Institutionen möglich geworden, die im Folgenden Erwähnung finden sollen.

- Harald BRUHNS und Reyk WERNICKE, Harald BRUHNS GmbH für die materielle Unterstützung während der gesamten Zeit
- Prof. Dr. rer. pol. Petra JORDANOV und Prof. Dr.-Ing. Wilhelm PETERSEN, Fachhochschule Stralsund, für die fachliche Betreuung und Begutachtung der Masterthesis
- Meiner Lebensgefährtin, Theresa JÜNGER, für die reine Existenz ihrer selbst, die seelische und tatkräftige Unterstützung während der Bearbeitungszeit und überhaupt
- Meinem Vater, Dr. Michael SCHUBERT, für die Durchsicht der Arbeit
- Dr. Steffen BRASCH, Freie Waldorfschule Greifswald, für die mathematische Unterstützung
- Prof. Dr. Ludwig VOLK, Fachhochschule Südwestfalen, für die fachliche Unterstützung
- Vielen Dank an alle besuchten Praktiker für ihre wertvolle Zeit während der Maisernte und die nachträgliche Kontrolle der erhobenen Daten:
  - Christian EIDAM, Delta Agrar und Handels GmbH, Annaburger Fieldliner und Hawe SUW 5000
  - Manuela METZGER, Landtechnisches Lohnunternehmen H. & K. Metzger GbR, ROPA NawaRo-Maus
  - Axel SCHMIDT, Lohnunternehmen SCHMIDT GmbH & Co. KG, Selbstfahrender Überladewagen
  - Heinrich SCHAPER, Lohnbetrieb SCHAPER, Nawaro Bunkermaus System PALANDT
  - Michael PIENING, Landwirtschaftliches Lohnunternehmen Michael PIENING, MAN TGS 41.480
  - Daniel CUMMEROW und Holger PELOW, „IVENACKER EICHEN“ Produktions-, Handels- und Dienstleistungsgesellschaft mbH, Schleppergespanne
  - Hr. KRUSE, BABBE Bülow GmbH, HAWE-Wester SUW 5000 und Mercedes-Benz Actros 4146
  - Philipp STARITZ, BLUNK GmbH, Radlader und fachliche Unterstützung
  - Magnus SACKMANN, BENAS GmbH, Überladeband

– Tobias GRIGULL, Harald Bruhns GmbH, Secutor

- Gerhard RÜSCHEN, HAWE-Wester GmbH & Co. KG, für die Referenzadressen
- Alfred SCHMIDT, Bundesverband Lohnunternehmen (BLU) e.V, für die Tips bezüglich der Anwender
- Christian BRÜSE, Redaktion Profi, für die fachliche Unterstützung, die Fotos und die Tips bezüglich der Anwender
- Alexander "Chefkoch" UHLEMANN, für die Fotos

## 8 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel sind angegeben. Die Arbeit habe ich mit gleichem bzw. in wesentlichen Teilen gleichem Inhalt noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegt.

Greifswald, 09.02.2012 \_\_\_\_\_

## 9 Beiliegender Datenträger

Zur gedruckten Version dieser Arbeit gehört ein elektronischer Datenträger mit folgendem Inhalt:

- Schubert\_Kostenvergleich\_bei\_Silomaistransporten.pdf
- Kostenrechner\_Silomaistransporte\_3.2.xls
- Tourtagebuch\_Silomaistransporte.pdf
- Ordner: "Quellen"
  - verschiedene pdf-Dokumente, die teilweise als Quellen verwendet wurden
  - Ordner: "Angebote"
    - \* Angebote verschiedener Firmen über Miete oder Kauf bestimmter Maschinen
  - Ordner: "Bunkermaus"
    - \* Infomaterial zur Nawaro Bunkermaus System PALANDT vom Hersteller

## 10 Quellenverzeichnis

1. SONNEN, Johannes: Simulation von Ernteprozessketten für Siliergüter.. Dissertation. 2007 Humboldt- Universität zu Berlin.
2. KOBLER, Roland: Energiereich. Tagungsband Internationales CLAAS Symposium Biogas Harsewinkel: Claas KGaA 2011.
3. ARNOLD, Dieter ; Isermann, Heinz ; Kuhn, Axel ; Tempelmaier, Hans: Handbuch Logistik. 3. Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2008.
4. DÖRING, Georg; Schilcher, Andreas; Strobl, Martin; Schleicher, Roland; Seidl, Martin; Mitterleitner, Johann: Verfahren zum Transport von Biomasse: Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. Freising 2010.
5. DÖRING, Georg; Schilcher, Andreas: Verfahrensalternativen für Biomassetransporte. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. Freising 2010.
6. MITTERLEITNER, Hans; Schilcher, Andreas; Demmel, Andreas: Konzepte zur Reduzierung der Kosten beim Transport von nachwachsenden Rohstoffen für Biogasanlagen. 1. Auflage. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan 2007.
7. STROBL, Martin: Biomasse-Erntelogistik. Arbeitspaket I-III. Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. Freising 2009.
8. RADEMACHER, Thomas: Logistik im landwirtschaftlichen Betrieb. Bildschirmpräsentation beim ÖKL- Kolloquium. Graz 2010.
9. BRANDHUBER, R.: Bodenbelastung durch Landmaschinen - Wirkungsmechanismen und Risikobeurteilung. In: Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umwelttechnik, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: Ackerbau vor neuen Herausforderungen. Landtechnische Jahrestagung November 2006 in Deggendorf. Tagungsband. Freising-Weihenstephan. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2006, S. 53.
10. BOSSMANN, A.: Kleine Ursache, große Wirkung. Profi-Magazin für professionelle Agrartechnik 7 H. 10 S. 51-54. Landwirtschaftsverlag Münster 1995.
11. VOLK, Ludwig: Messungen zum Fahrkomfort, zum Dieserverbrauch und zum Vorbeifahrgeräusch. Fendt 933 Vario, MAN TGS 41.440, Mercedes Secutor 1833. Soest: Fachhochschule Südwestfalen 2011.
12. BENSING, Tobias: Schiebt, zieht, rollt. Rollband-Abschiebewagen Pullbox von SGT. Profi-Magazin für professionelle Agrartechnik. 23 H. 11 S. 46-47. Landwirtschaftsverlag Münster 2011.
13. VOLK, Ludwig: Lkw Mercedes Zetros versus Traktor Fendt 933. Studie zum Dieserverbrauch und zum Fahrkomfort. Fachhochschule Südwestfalen Soest 2010.
14. BRÜSE, Christian; Eikel, Gottfried: Ausgewachsene Radlader. Profi-Magazin für professionelle Agrartechnik 21, H. 5 S. 24. Landwirtschaftsverlag Münster 2009.
15. BRÜSE, Christian; Eikel, Gottfried: Vier Radlader, ein Fazit. Profi-Magazin für professionelle Agrartechnik 21, H. 6 S. 28-29. Landwirtschaftsverlag Münster 2009.

16. PLISCHKE, Mirja: Agritechnica Forum Logistik für Biogaslangen. Sechs Lohnunternehmer-Lösungen. Lohnunternehmen. Spezial Agrologistik 1 S. 35. Lehrte: Beckmann Verlag 2010.
17. PALANDT, Matthias: Maschinenkostenkalkulation Nawaro Bunkermaus. Excel-Tabelle zur Kundeninformation.
18. BRÜSE, Christian: Für die weiten Wege. Überladelösungen für Biomasse. Profi-Magazin für professionelle Agrartechnik 23 S. 68-71. Landwirtschaftsverlag Münster 2011.
19. ANONYMUS 1: <http://maps.google.com/>
20. HEITMANN, Günter: Mit Klasse T gewerblich transportieren. Führerscheinrecht: Lohnunternehmen. Spezial Agrologistik 1 S. 35. Beckmann Verlag GmbH & Co. KG, Lehrte 2010.
21. BOPP, Götz: Sozialvorschriften im Straßenverkehr. Digitales Kontrollgerät sowie Lenk-, Ruhe- und Arbeitszeiten nach nationalem und EU-Recht. 3. Aufl. Industrie und Handelskammer Region. Stuttgart 2010.
22. AGCO GmbH: Fendt Star Service-Dienstleistungsprogramm. Leistung und Wirtschaftlichkeit unter Vertrag. PL 721. Marktoberdorf 2011.
23. ANONYMUS 2: [www.schlepperreifen.de](http://www.schlepperreifen.de) (Stand 08. 12. 2011).
24. ANONYMUS 3: [www.reifendirekt.de](http://www.reifendirekt.de). [http://ssl.delti.com/cgi-bin/rshop.pl?suchen=Ordern &cart\\_90](http://ssl.delti.com/cgi-bin/rshop.pl?suchen=Ordern&cart_90) (Stand 11. 12. 2011).
25. ANONYMUS 4: mobile.international GmbH: Suche 8 x 8 Fahrgestell". URL: [http://suchen.mobile.de /fahrzeuge/](http://suchen.mobile.de/fahrzeuge/) (Stand 13. 01. 2012).
26. ANONYMUS 5: Harald Bruhns GmbH: Preisliste Secutor 2011.
27. ANONYMUS 6: Anzeige: Suche Traktor ab 221 kW, bis 100 Bh in Deutschland. URL: <http://www.traktorpool.de/de/details/Traktoren/Fendt-930-PROFI/1477354/> Landwirtschaftsverlag (Stand 14. 01. 2012).
28. ANONYMUS 7: Anzeige: Suche Silierwagen ab Bj. 2011 Tridem in Deutschland. URL: <http://www.traktorpool.de/gebraucht/a-Transportfahrzeuge/25/b-Lade-Silierwagen-Siliertechnik/87/netgross/1/page/1/sort/DESC/sortby/314/year/2011-0/279/336/> Landwirtschaftsverlag (Stand 09. 12. 2011).
29. ANONYMUS 8: Anzeige in: mobile.international GmbH: Suche neue Sattelzugmaschine 4 x 2 in Deutschland. URL: [http://suchen.mobile.de/fahrzeuge/search.html?scopeId=STT &isSearch Request=true&sortOption](http://suchen.mobile.de/fahrzeuge/search.html?scopeId=STT&isSearchRequest=true&sortOption) (Stand 05. 12. 2011).
30. ANONYMUS 9: Anzeige in: mobile.international GmbH: Suche neuen Sattelaufieger Walking Floor in Deutschland. URL: [http://suchen.mobile.de/fahrzeuge/search.html?scopeId= ST&isSearch Request=true&sortOption](http://suchen.mobile.de/fahrzeuge/search.html?scopeId=ST&isSearchRequest=true&sortOption) (Stand 05. 12. 2011).
31. ANONYMUS 10: mobile.international GmbH: Suche neuen Sattelaufieger Kipper in Deutschland. URL: [http://suchen.mobile.de/fahrzeuge/searchresults.html?pageNumber=3& \\_\\_lp=4&scopeId=ST&](http://suchen.mobile.de/fahrzeuge/searchresults.html?pageNumber=3&__lp=4&scopeId=ST&) (Stand 05. 12. 2011).
32. WEBER, Markus: Abfalltausch. Reduzierung von Siedlungsabfalltransporten mit LKW unter ökologische und ökonomischen Aspekten. Dissertation Universität Kassel 2007.

33. WIECHEL, Uwe: (2011): Schubböden der Firma STAS.  
URL: [http://www.wiechel-transporte.de/pageID\\_](http://www.wiechel-transporte.de/pageID_) (Stand 15. 12. 2011).
34. SAMMER, Jörg: (2011): Schubboden. URL: <http://schubboden.info/html/prinzip.html>  
(Stand 15. 12. 2011)
35. ANONYMUS 11: Text in Wikipedia: Kraftfahrzeug-Steuervergünstigung.  
URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kraftfahrzeug-Steuerverg%C3%BCnstigung#Landwirtschaft>. (Stand 30. 11. 2011).
36. RODE, Thomas W. W.; Römer, Torsten: GbR: Kfz-Steuer. Nutzfahrzeuge über 3500 kg zulässige Gesamtmasse. URL: [http://www.kfz-steuer.de/kfz-steuer\\_nutzfahrzeuge35t.php](http://www.kfz-steuer.de/kfz-steuer_nutzfahrzeuge35t.php)  
(Stand 30. 11. 2011).
37. JORDANOV, Petra: Investition und Finanzierung. Investition und Investitionsrechnung. Bildschirmpräsentation zum Seminar „Finanzwirtschaft“, Studiengang Master Maschinenbau-Fahrzeugtechnik, Fachhochschule Stralsund 2010
38. ANONYMUS 12: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.: Faustzahlen Biogas. URL: <http://www.biogas-portal.fakten/faustzahlen>. (Stand 14. 01. 2012).
39. THEISSEN, Gerd: Biogas und Co. in Zahlen. Rund um erneuerbare Energien. Profi-Magazin für professionelle Agrartechnik 19, H. 12 S. 108-110. Landwirtschaftsverlag Münster 2011.
40. BENSING, Tobias: Die Transporter. Profi-Magazin für professionelle Agrartechnik 23, H. 4 S. 78-79. Landwirtschaftsverlag Münster 2011.
41. ANONYMUS 13: Investitionsrechnungsverfahren. In:  
<http://www.wirtschaftslexikon24.net/d/dynamische-investitionsrechnungsverfahren/> .  
(Stand 01. 09. 2011 21:14)
42. DILLERUP, Ralf; Albrecht, Tobias: Kapitalwertmethode. In: Haufe. Rechnungswesen Office. Version 3.2. Rudolf-Haufe-Verlag Freiburg 2005. (liegt als .pdf-Dokument vor)
43. ANONYMUS 14: Kapitalwert. In: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kapitalwert>. (Stand 07. 09. 2011)
44. EILENBERGER, Guido: Betriebliche Finanzwirtschaft. Lehr- und Handbücher zu Geld, Börse, Bank und Versicherung. 7. Aufl. Oldenbourg Wissenschaftsverlag. München 2003.
45. ANONYMUS 15: Daimler AG: Technische Daten Allradkipper; Fahrgestell einzelbereift 3641 AKE 8X8/4 / 4800 ( 1700 / 3100 / 1350 )\_ Datenblatt. Stuttgart. Aug. 2011 (liegt als pdf-Dokument vor)
46. KARPENSTEIN-MACHAN, Marianne: Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG-Verlag, Frankfurt 2005.