



# Bestimmung des Gutvolumens auf landwirtschaftlichen Anhängern

## Abschlussbericht

**Manfred Nadlinger**  
**Andreas Greil**  
**Andreas Auer**  
**Bernhard Jäch**  
**Heinrich Prankl**  
**Johannes Prankl**

Heft Nr. 56 / März 2013





# Abschlussbericht zum Forschungsprojekt Nr. BLT 10/3344

## Bestimmung des Gutvolumens auf landwirtschaftlichen Anhängern

März 2013

Dipl.-HLFL-Ing. Manfred Nadlinger  
Andreas Greil  
Andreas Auer  
Bernhard Jäch  
Dipl.-Ing. Heinrich Prankl  
Dipl.-Ing. Dr. Johannes Prankl

### Angaben zum Projektträger

HBLFA Francisco Josephinum  
BLT WIESELBURG  
Rottenhauser Straße 1  
3250 Wieselburg  
Kontaktperson: Heinrich Prankl  
Tel: 07416/52175-0  
Email: blt@josephinum.at



### Projektpartner:

Technische Universität Wien  
Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik (ACIN)  
Gußhausstraße 25-29  
1040 Wien  
Tel.: +43 (1) 58801-376 01  
Kontaktperson: Andreas Greil



Das Projekt wurde gemeinsam von Hr. Andreas Auer und Hr. Bernhard Jäch im Rahmen einer Diplomarbeit des 5. Jahrgang Landtechnik Francisco Josephinum, sowie in Zusammenarbeit mit Hr. Andreas Greil, TU Wien, Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik (ACIN) / Univ.-Prof. DI Dr. techn. Markus Vincze durchgeführt.

## **Impressum**

*Herausgeber:*

HBLFA Francisco Josephinum, A-3250 Wieselburg  
des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

*Direktor:*

HR Dipl.-Ing. Alois Rosenberger

*Leiter für Forschung und Innovation:*

HR Dipl.-Ing. Heinrich Prankl

*Für den Inhalt verantwortlich:*

Dipl.-HLFL-Ing. Manfred Nadlinger  
Dipl.-Ing. Heinrich Prankl

*Redaktion:*

BLT Wieselburg  
Tel.: +43 (0)7416 52175-0  
E-Mail: [blt@josephinum.at](mailto:blt@josephinum.at)  
Web: [blt.josephinum.at](http://blt.josephinum.at)

*Druck, Verlag und ©2013*

Lehr- und Forschungszentrum Francisco Josephinum, A-3250 Wieselburg  
Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-902451-11-8

*Dieser Bericht wird wie folgt zitiert:*

Nadlinger, M. et al. : Bestimmung des Gutvolumens auf landwirtschaftlichen Anhängern, Forschungsbericht Nr. 56,  
Wieselburg, BLT Eigenverlag, 2013 – ISBN 978-3-902451-11-8

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>AUFGABENSTELLUNG</b> .....	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>ERGEBNISSE DER SOFTWARE-ENTWICKLUNG [1]</b> .....	<b>9</b>
3.1	Methoden zur Volumserfassung .....	9
3.2	Ausgewählte Methode zur Volumsbestimmung .....	9
3.3	Schritte zur Durchführung einer vollständigen Messreihe .....	11
3.4	Verwendeter Laserscanner der Firma SICK „LMS111“ .....	13
<b>4.</b>	<b>BAU EINER FELDTAUGLICHEN VORRICHTUNG</b> .....	<b>14</b>
4.1	Aufgabenstellungen .....	14
4.2	Ergebnis.....	14
<b>5.</b>	<b>INBETRIEBNAHME DES LASERSCANNERS</b> .....	<b>16</b>
5.1	Ablauf der Inbetriebnahme.....	16
5.2	Bedienoberfläche der Software .....	16
<b>6.</b>	<b>ERGEBNISSE DER FELDVERSUCHE</b> .....	<b>18</b>
6.1	Einflussfaktoren auf das Versuchsergebnis .....	18
6.2	Versuchsumfang .....	18
6.3	Einfluss der Laserhöhe .....	19
6.4	Einfluss der Fahrgeschwindigkeit.....	21
6.5	Auswirkungen der Oberflächenform des Gutes und dem Befüllungsgrad des Anhängers auf die Volumsbestimmung.....	23
6.6	Versuche mit drei verschiedenen Anhängertypen.....	25
6.7	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	26
<b>7.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>28</b>
<b>8.</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>29</b>
<b>9.</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>30</b>
<b>10.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>31</b>



## 1. EINLEITUNG

Für Logistikuntersuchungen in der landwirtschaftlichen Verfahrenstechnik ist es notwendig, Gewicht und Volumen von Erntegut auf landwirtschaftlichen Anhängern zu bestimmen. Während die Gewichtsbestimmung vor Ort sehr einfach über mobile Wiegesysteme durchgeführt werden kann, ist die Bestimmung des Volumens durch die unregelmäßige Beladung meist nur sehr ungenau möglich. Bisher wurde dazu die Oberfläche manuell vermessen und das Volumen überschlagsmäßig bestimmt. Mit einem Laserscanner kann aber eine Oberfläche exakt abgetastet werden. Eine derartige Anwendung war bisher nicht existent. Erfahrungen im Bereich der Abtastung biologischer Materialien sind gering. Deshalb wurde in Zusammenarbeit mit der TU-Wien, Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik (Diplomarbeit von Andreas Greil) und dem Francisco Josephinum, Abt. Landtechnik (Diplomarbeit von Andreas Auer, Bernhard Jäch) diese Arbeit durchgeführt.

## 2. AUFGABENSTELLUNG

Im Besonderen ging es um folgende Aufgabenstellung:

- Entwicklung einer Software zur Erfassung des Gutvolumens mittels Laser-Scanner
- Bau einer feldtauglichen Vorrichtung zur Montage an eine Staplergabel zur Verwendung am Traktor oder Stapler
- Überprüfung der Praxistauglichkeit der Anbauvorrichtung für den Laserscanner
- Durchführung von Feldversuchen zur Überprüfung der Genauigkeit der Volumsbestimmung mit unterschiedlicher Versuchsanstellung

Das Aufgabengebiet von Hr. Greil (TU-Wien) umfasste die Entwicklung einer Software zur Bestimmung des Ladevolumens mittels Laserscanner im Rahmen seiner Diplomarbeit. Die Arbeiten von Hr. Auer und Hr. Jäch waren die Konstruktion und der Bau einer feldtauglichen und mobilen Vorrichtung zum Aufbau des Laserscanners, sowie die Durchführung von Messungen im Praxiseinsatz mittels dieser Software, um die Praxistauglichkeit dieses Volumsmesssystems zu bestimmen.



### 3. ERGEBNISSE DER SOFTWARE-ENTWICKLUNG [1]

#### 3.1 Methoden zur Volumserfassung

Die Volumsbestimmung unförmiger oder asymmetrischer Körper stellt in vielen praktischen Fällen eine Herausforderung dar. Eine manuelle Vermessung ist meist aufwendig und geht oft mit einer komplizierten mathematischen Berechnung einher. Zeit- und Kostenaufwand stehen dabei in einer schlechten Relation zum eigentlichen Nutzen. Aus diesen und ähnlichen Gründen ist es erstrebenswert, solche Vorgänge zu automatisieren und zu beschleunigen.

Verfahren, die auf der Messung des Gewichts beruhen, sind in einigen Fällen eine ausreichende Lösung. Bei höheren Anforderungen an die Genauigkeit und unzureichender Kenntnis der Massendichte sind alternative Ansätze notwendig.

Einer dieser Ansätze ist, die Oberfläche des zu vermessenden Objekts mit Sensoren abzutasten und das Volumen anschließend rechnerunterstützt zu ermitteln. Dieses sogenannte maschinelle Sehen (*machine vision*) gewinnt in der Automatisierung immer mehr an Bedeutung. Darunter versteht man die optoelektronische Erfassung, Verarbeitung und Auswertung eines gewissen Bereiches oder einer Umgebung durch Maschinen oder Roboter. Je nach Anwendung werden unter anderem einfache Fotodioden, Laser-Scanner oder Kameras eingesetzt. Für die Verarbeitung der optischen Daten stehen für viele Problemstellungen bereits eine Fülle an Methoden und Frameworks zur Verfügung, welche laufend erweitert und optimiert werden.

Für Volumsbestimmungen bietet es sich an, mit einem Laser-Abstandsscanner die Oberfläche des zu bestimmenden Objekts zu erfassen. Durch eine solche Abtastung erhält man meist eine 3D-Punktwolke (*point-cloud*). Da sich auf diesen Punktwolken im Allgemeinen auch Oberflächenpunkte der Objektumgebung befinden, ist es notwendig die Daten entsprechend zu filtern und zu segmentieren. Für die Segmentierung (Trennung der gewünschten von den unerwünschten Punkten) gibt es mehrere Ansätze, wie beispielsweise die *Euclidean-Cluster-Extraction*. Viele dieser Algorithmen erfordern gewisses Feingefühl bei der Einstellung der Parameter und schränken somit die Flexibilität gegenüber unterschiedlichen Objektgeometrien ein. Rekonstruiert man anschließend die Oberfläche mittels Interpolation kann das Volumen beispielsweise durch Integration einfach bestimmt werden. Da bei solchen Oberflächenerfassungen der Laser im Allgemeinen eine Relativbewegung zum Messobjekt ausführt, ist es natürlich notwendig diese entsprechend zu erfassen. Je nach Anwendungsfall verwendet man einfache Drehwinkelgeber, unterschiedlichste Geschwindigkeits-/Beschleunigungssensoren bis hin zu Kameras für eine optische Objektverfolgung.

#### 3.2 Ausgewählte Methode zur Volumsbestimmung

In dieser Arbeit wurde ein System zur Volumsbestimmung des Ladeguts von Anhängern entworfen. Die Volumsbestimmung sollte flexibel hinsichtlich des verwendeten Anhängers sein. Das heißt, dass Größe und Geometrie des Anhängers wenig bis keine Auswirkungen auf die Qualität des Messergebnisses haben sollten. Weiters wurde gefordert, dass das Verfahren weitgehend unabhängig gegenüber der Form, Oberflächenbeschaffenheit oder Farbe des Ladeguts ist. Die Messung soll *outdoor* erfolgen. Ein bereits gefertigter Messaufbau ist so ausgelegt, dass sich die Fahrzeuge unter dem Laser durchbewegen können, wobei der Laser selbst starr montiert ist.

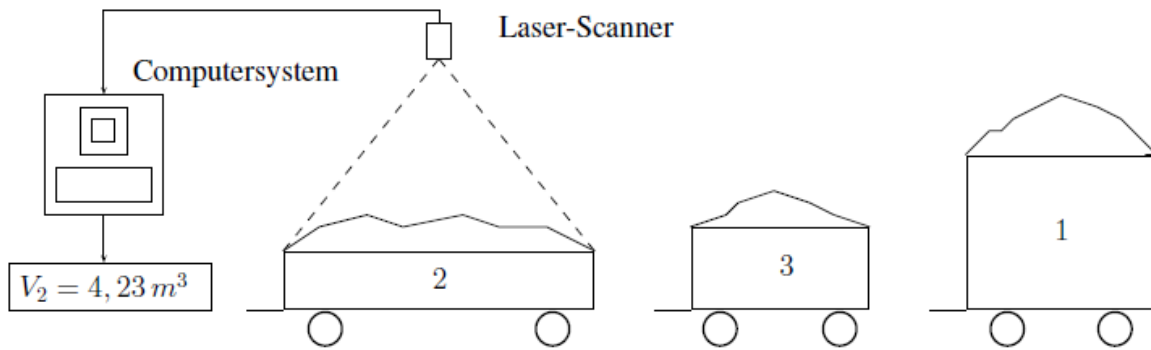


Abbildung 1: Messprinzip der Volumsbestimmung

Für die Oberflächenabstastung stand ein Laser-Range-Scanner der Firma Sick „2D SICK LMS111“ zur Verfügung. Die Realisierung des Verfahrens und die Implementierung wurde in C++ durchgeführt und anhand mehrerer Messungen in einem Labor-Versuchsaufbaus geprüft.

Der Anhänger bewegt sich unter dem Laser durch (Abb. 1). Dieser erfasst sequenziell diskrete 2D-Oberflächenkonturen, welche im Speicher abgelegt werden. Die erfassten Daten liegen in Form von Punktwolken vor, wobei jeder Punkt eine Abstandsmessung bezüglich des Laserkoordinatensystems repräsentiert (Abb. 2).

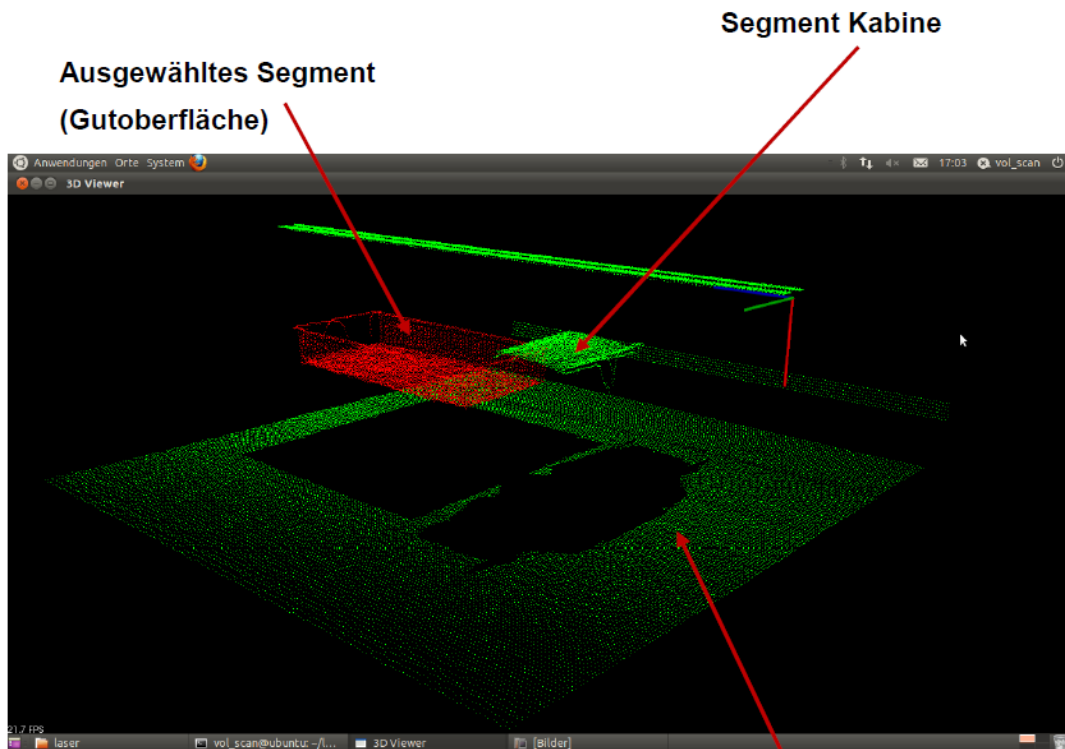


Abbildung 4 : Punktwolke mit ausgewähltem Segment

Punktwolke des abgetasteten Boden

Abbildung 2: Punktwolke mit ausgewähltem Segment

Da die Geschwindigkeit der Anhänger nicht als konstant angenommen werden kann, ist es notwendig diese ebenfalls zu erfassen, um die einzelnen Laserlinien korrekt zu einer diskreten 3D-Oberfläche zusammenzufügen. Um möglichst flexibel gegenüber Art, Größe und Bauform der Anhänger zu sein, wurde dafür ein optisches Objektverfolgungsverfahren gewählt. Eine Kamera zeichnet zu jeder Laserabtastung ein Bild auf. Aus dieser Bildfolge wird anschließend versucht die Bewegungstrajektorie des Anhängers zu ermitteln.

Konkret wurde dazu der Lucas-Kanade-Algorithmus implementiert. Dabei werden markante Punkte bzw. Regionen in einem Bild detektiert (Harris-Detektor) und anschließend in den Folgebildern durch Minimierung einer Fehlerfunktion gesucht (tracking). Da beim tracking auch Fehler und falsch verfolgte Punkte auftreten können, werden diese durch einen RANSAC-Algorithmus erkannt und eliminiert. Aus der 2D-Bewegung im Bild und des vom Laser ermittelten Abstands der Punkte zum Bezugskordinatensystem wird anschließend über die Gleichungen der projektiven Abbildung die Bewegungstrajektorie des Anhängers ermittelt. Aus dieser Information können nun die einzelnen Laserabtastungen als Gesamtpunktwolke zusammengesetzt werden.

Für die Bestimmung des geladenen Volumens ist es notwendig, die Anhänger sowohl im leeren als auch im vollen Zustand abzutasten. Dabei gilt die Annahme, dass die Anhänger von oben vollständig einsehbar sind. Da die 3D-Daten zusätzlich zum Anhänger auch Teile der Umgebung beinhalten, werden diese durch einen Segmentierungsalgorithmus entfernt.

Die extrahierten Oberflächensegmente von vollem und leerem Anhänger werden anschließend durch lineare Interpolation rekonstruiert und das Volumen durch Integration errechnet. Auf einem Miniatur-Versuchsaufbau im Labor gelingt es, eine Genauigkeit von  $\pm 2.5\%$  zu erreichen.

### 3.3 Schritte zur Durchführung einer vollständigen Messreihe

Die Durchführung einer vollständigen Messreihe erfordert somit folgende Schritte:

Kalibrierung: Die Transformationsmatrizen zwischen den verwendeten Koordinatensystemen müssen ermittelt werden. Dies erfolgt mittels Kalibriermuster.

Datenaufnahme: Alle Anhänger, die bei einer Messreihe verwendet werden, müssen einmalig im leeren Zustand gescannt werden. Auf diese Daten wird bei der Volumsberechnung zurückgegriffen.

Objektverfolgung: Die Objektverfolgung erfolgt optisch mittels einer digitalen Kamera. Dafür wird für jede Laserabtastung zeitgleich ein Bild aufgenommen. Ein Objektverfolgungsalgorithmus erfasst die Bewegungstrajektorie des Anhängers und fügt die 2D-Oberflächenkontur in einer Punktwolke zu einer 3D-Oberfläche zusammen.

Segmentierung: Die Oberflächen des leeren und vollen Anhängers werden von den nicht benötigten Messdaten der Umgebung getrennt.

Volumsberechnung: Die Oberflächen der Anhänger werden durch lineare Interpolation rekonstruiert. Dies erfolgt sowohl für den leeren als auch für den gefüllten Zustand. Kombiniert man nun beide Oberflächen, lässt sich das Volumen des Zwischenraums durch Aufsummierung einzelner Volumselemente bestimmen.

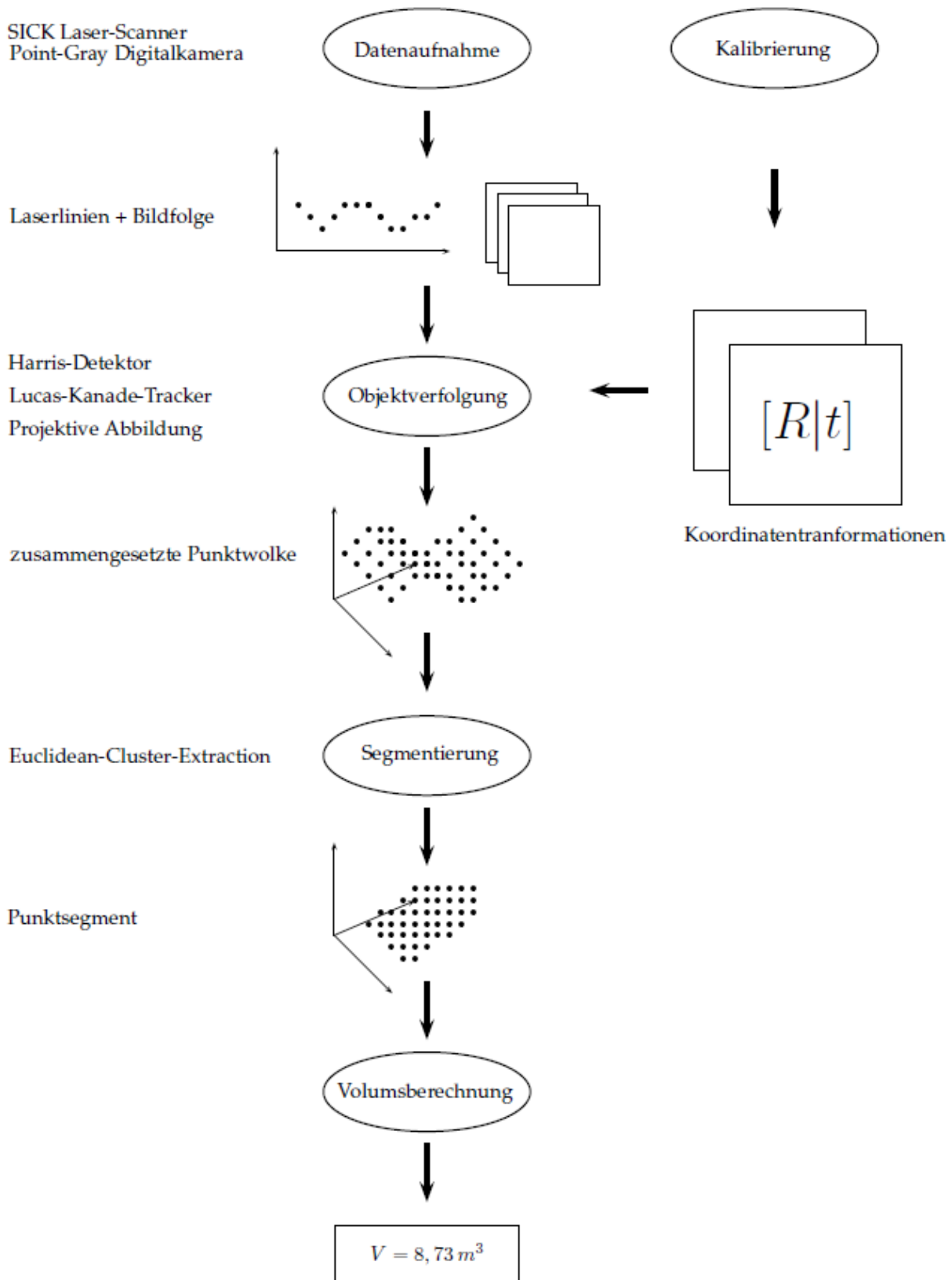


Abbildung 3: Ablauf des gesamten Volumsbestimmungsverfahrens schematisch dargestellt.

### 3.4 Verwendeter Laserscanner der Firma SICK „LMS111“

Der LMS111 ist ein, gegenüber anderen Produkten der Firma SICK, kostengünstiges Lasermesssystem. Der Laser-Scanner wird vor allem in Bereichen eingesetzt, wo hohe Reichweite und Geschwindigkeit eine übergeordnete Rolle spielen. Einige wichtige Einsatzgebiete des LMS111 sind:

- Verkehrstelematik (Überwachung einer oder mehrerer Fahrspuren)
- Gebäudesicherung (z.B. Näherungserkennung von Besuchern in Museen)
- Antikollision (Erkennung von Hindernissen bei bewegten Maschinen)

#### Kommunikation

Die Kommunikation mit dem LMS111 erfolgt über TCP/IP-Telegramme im ASCII-Format. Dies erledigt ein Treibermodul, welches aus ROS (Robot-Operating-System) übernommen wurde, einem open-source Framework, welches Libraries für Roboteranwendungen zur Verfügung stellt. Die Funktionen des Treibers ermöglichen folgende Aktionen:

- Verbindungsauf-/abbau
- Abrufen der Scannerkonfiguration (Scan-Frequenz, Winkelauflösung, Anfangs-/Endwinkel)
- Einstellen der Scannerkonfiguration
- Abrufen des aktuellen Status (Initialisierung, Konfiguration, ruhend, rotierend, Vorbereitung, bereit, bereit zur Messung)
- Datenempfang als Momentaufnahme oder kontinuierlich.

#### Arbeitsweise

Mit Hilfe von Laserstrahlen vermisst der Scanner den Umriss der Umgebung berührungslos. Die Messdaten werden in 2D Polarkoordinaten zurückgegeben. Die Abtastung erfolgt in einem Winkelbereich von maximal 270° bei einer Reichweite von maximal 20 m.

#### Entfernungsmessung

Zur Messung werden gepulste Laserstrahlen ausgesendet. Eine Fotodiode detektiert Reflexionen dieser Strahlen an Oberflächen. Durch Pulslaufzeitmessung wird die Entfernung zum Objekt berechnet.

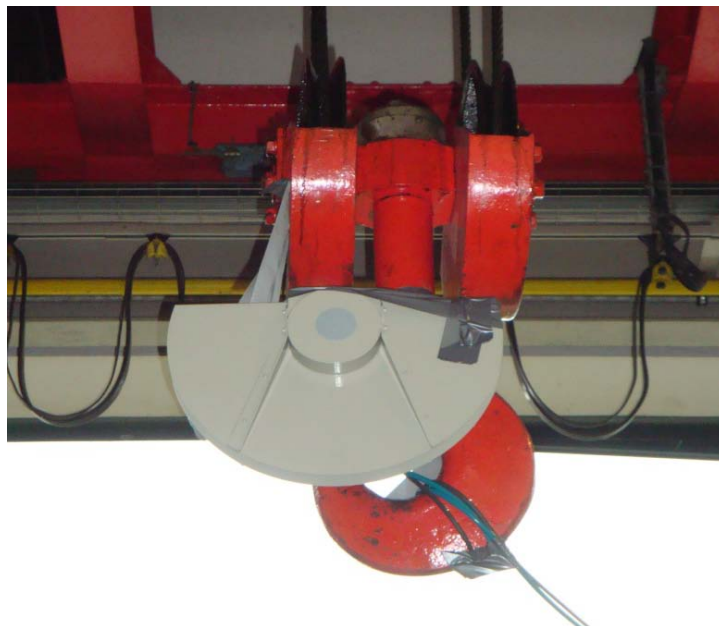


Abbildung 4: Laserscanner am Kranhaken montiert

## 4. BAU EINER FELDTAUGLICHEN VORRICHTUNG ZUR AUFNAHME DES LASERSCANNERS AN EINE PALETTENGABEL [2]

Um die Genauigkeit der Messergebnisse nicht zu beeinflussen, muss der Laserscanner vor den Messungen exakt in einer bestimmten Höhe horizontal ausgerichtet werden. Die Höhe ist abhängig von den verwendeten Anhängern. Somit war ein höhenverstellbarer Rahmen mit einem kardanischen Gelenk für die Befestigung des Laserscanners notwendig.

### 4.1 Aufgabenstellungen

- Die Konstruktion und Fertigung eines Rahmens, zur Befestigung des Laserscanners auf einer Palettengabel, geeignet für Stapler, Traktorfrontlader und Hoftrak.
- Die Höhenverstellung des Laserscanner bis mindestens 6 m über dem Boden.
- Die Vorrichtung sollte einfach zerlegbar und von einer Person wieder aufbaubar sein.
- Die Teile der Vorrichtung sollten in einem Kleinbus transportierbar sein.
- Durchführung von Feldversuchen zur Überprüfung der Genauigkeit der Volumsbestimmung bei unterschiedlicher Versuchsanstellung.

### 4.2 Ergebnis

Im Laufe der Diplomarbeit wurden viele Varianten zur Aufhängung des Laserscanners durchdacht. Die kostengünstigste Lösung mit gleichzeitig bestem Nutzen und Flexibilität wurde gebaut (Abb. 4). Durch eine einfache Konstruktion ist eine leichte Demontage und ein Höchstmaß an Bedienerfreundlichkeit und Sicherheit gegeben.

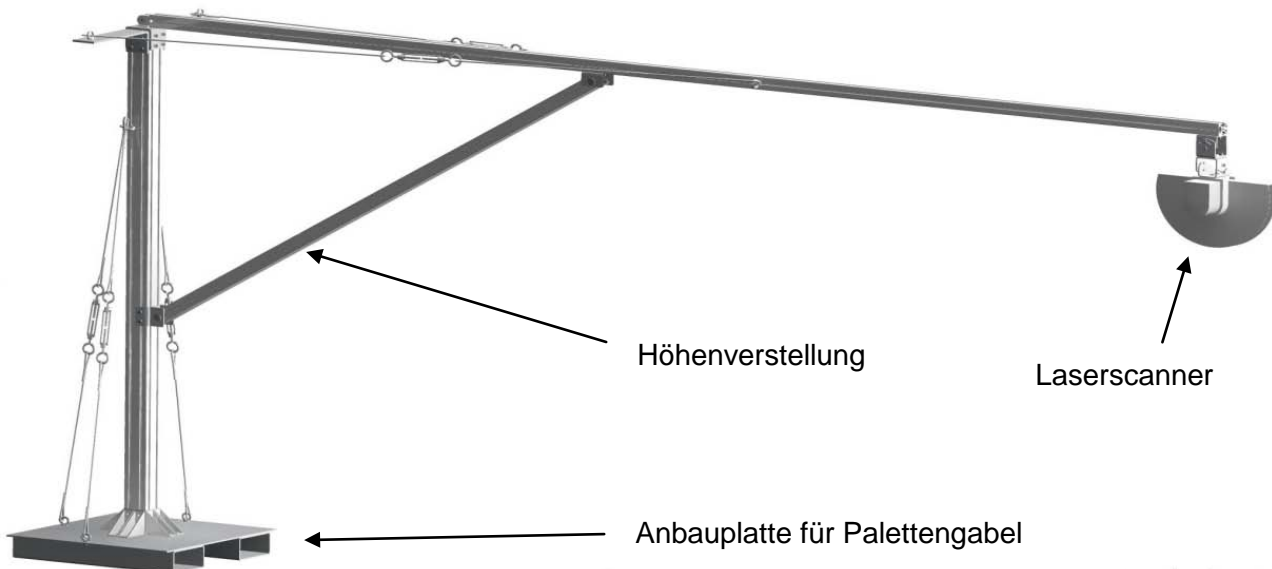


Abbildung 5: Anbaurahmen mit Laserscanner

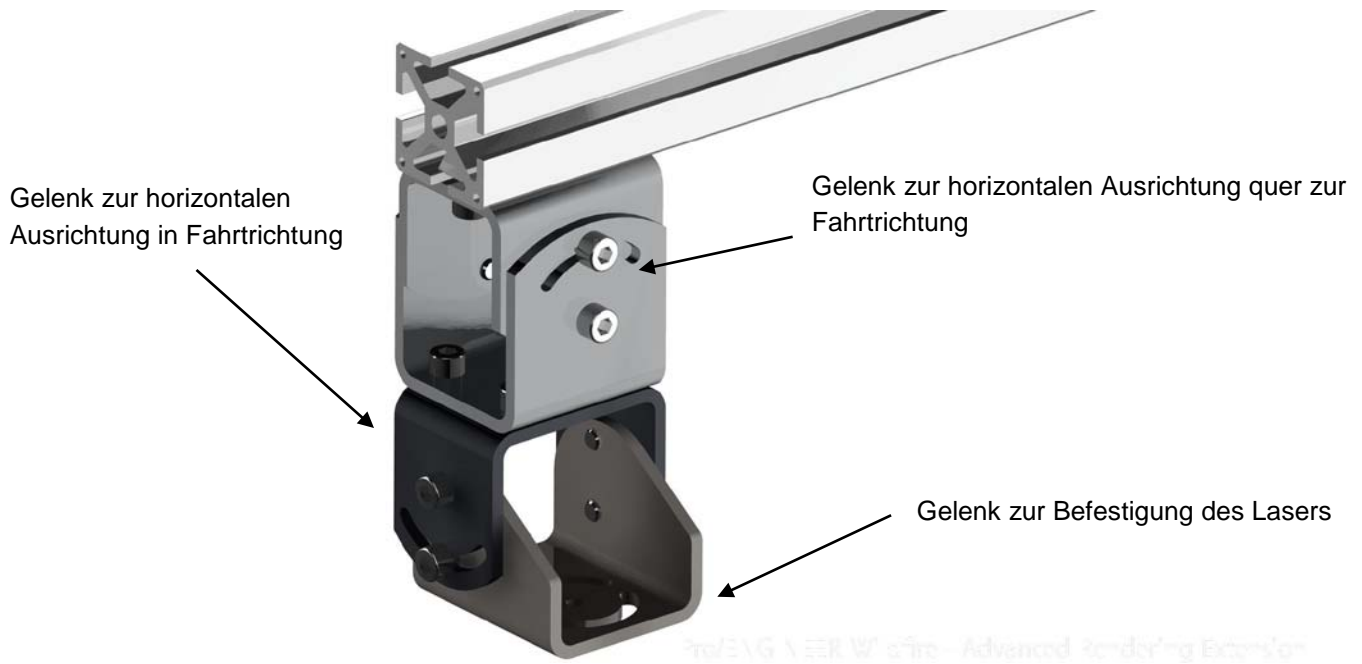


Abbildung 6: Gelenk zur Aufnahme des Laserscanners

Mit diesem Gelenk konnte der Laserscanner immer exakt waagrecht eingestellt werden.



Abbildung 7: Messaufbau zur Volumsbestimmung eines mit Hackgut beladen LKW

## 5. INBETRIEBNAHME DES LASERSCANNERS

### 5.1 Ablauf der Inbetriebnahme

1. Anschließen des Netzversorgungskabels und des Kommunikationskabels an den Laser.
2. Anschließen des Kommunikationskabels an den Laptop/PC mittels LAN-Stecker.
3. Anschließen des Netzkabels an das Netzteil: Das blaue Kabel muss mit dem –Anschluss, das braune Kabel mit dem +Anschluss verbunden werden.
4. Überprüfen, ob der Laser Strom erhält und kontrollieren, ob er funktioniert mittels der grünen Kontrollampe am Laser.
5. Laptop/PC mit dem Betriebssystem Linux (Ubuntu) starten.
6. Am Desktop die Tastenkombination Strg+Alt+t eingeben.
7. Im darauf erscheinenden Systemfenster den Befehl „cd laser“ eingeben.
8. Als nächsten Befehl „./laser\_volume“ eingeben.
9. Danach startet das Bedienungsprogramm für den Laser und das dazugehörige Visualisierungsprogramm zur grafischen Darstellung des Messergebnisses.
10. Weitere Befehle sind im Menü des Bedienungsprogrammes beschrieben.

### 5.2 Bedienoberfläche der Software

Die Bedienoberfläche der Software ist gegliedert in 3 Bereiche.

Der **erste Bereich** ist der Ausgabebereich. Hier wird unter „Geladene Messdaten“ ausgegeben, welche Datei sich zurzeit im Zwischenspeicher befindet. Weiters ist zu sehen, welche Laserhöhe, Anhängerhöhe und Anhängerlänge eingegeben worden ist. Als letzter Punkt wird das zuletzt berechnete Volumen ausgegeben.

Der **zweite Bereich** dient zur Erleichterung der Bedienung. Im zweiten Bereich werden alle Befehle aufgelistet die nötig sind um den Laser und die Software zu handhaben.

Der **dritte Bereich** ist der Eingabebereich. Nach dem Feld "Ihre Wahl" wird die gewünschte Ziffer aus dem zweiten Bereich eingegeben. Danach erscheinen die weiteren Funktionen die vom Programm ausführlich beschrieben werden.



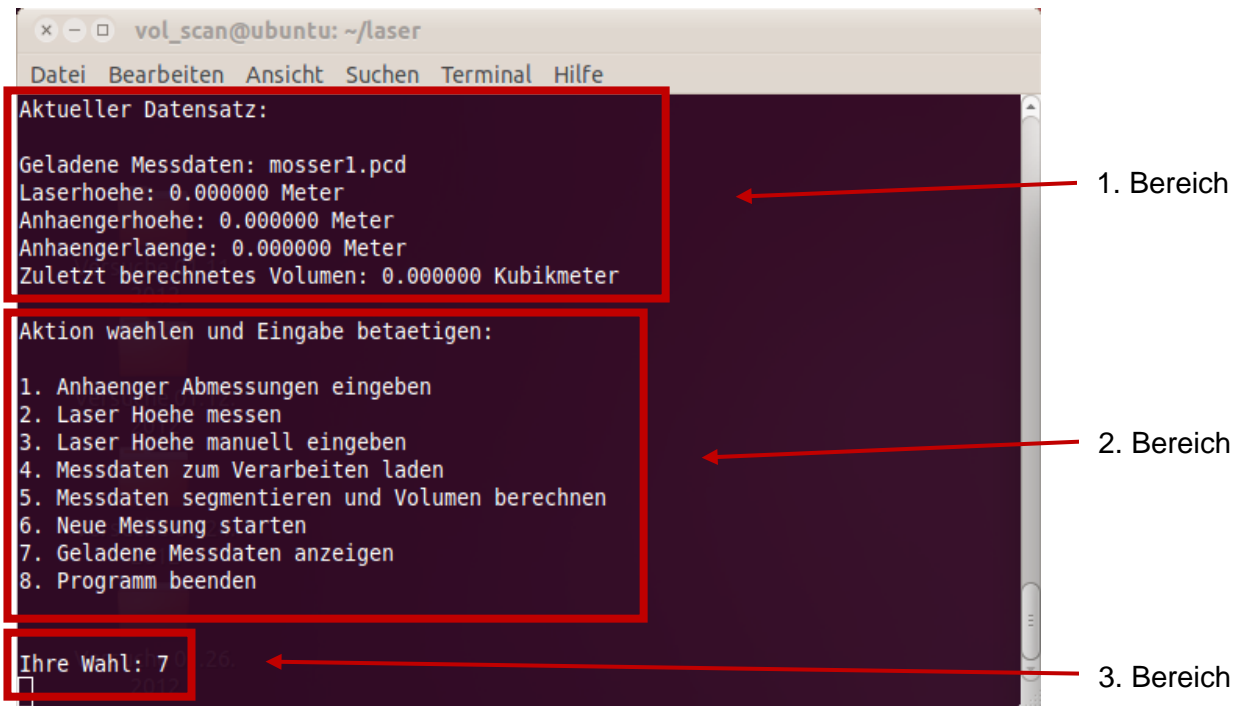


Abbildung 8: Bedieneroberfläche der Software am Notebook

## 6. ERGEBNISSE DER FELDVERSUCHE

### 6.1 Einflussfaktoren auf das Versuchsergebnis

Folgende Parameter haben möglicherweise einen Einfluss auf die Genauigkeit des Messergebnisses:

- Fahrgeschwindigkeit beim Durchfahren des Lasers
- Fahrverhalten beim Durchfahren (konstant, beschleunigend, ...)
- Belichtung (Sonne, Schatten)
- Art des Gutes (Getreide, Halmgut, Holzspäne, Dünger usw.)
- Form des Gutes
- Temperatureinfluss
- Höhe des Laserscanners über dem Gut
- Lage des Lasers zum Anhänger (mittig oder nicht mittig)
- Länge des Anhängers

Aufgrund des großen zeitlichen Aufwandes konnten nicht alle Einflussfaktoren auf die Genauigkeit des Messergebnisses untersucht werden. Im Rahmen der Versuche wurden insbesondere der Einfluss der Montagehöhe des Laserscanners über dem Gut, die Fahrgeschwindigkeit beim Durchfahren, die Auswirkung der Oberflächenform sowie der Befüllungsgrad untersucht.

### 6.2 Versuchsumfang

Insgesamt wurden ca. 200 Versuche durchgeführt. Nach jeder Durchfahrt mit dem Anhänger unter dem Laserscanner sind die Daten in Form von Punktwolken am Bildschirm ersichtlich (Abb. 9). Jeder Punkt repräsentiert eine Abstandsmessung bezüglich des Laserkoordinatensystems und dient zu Berechnung des Gesamtvolumens.

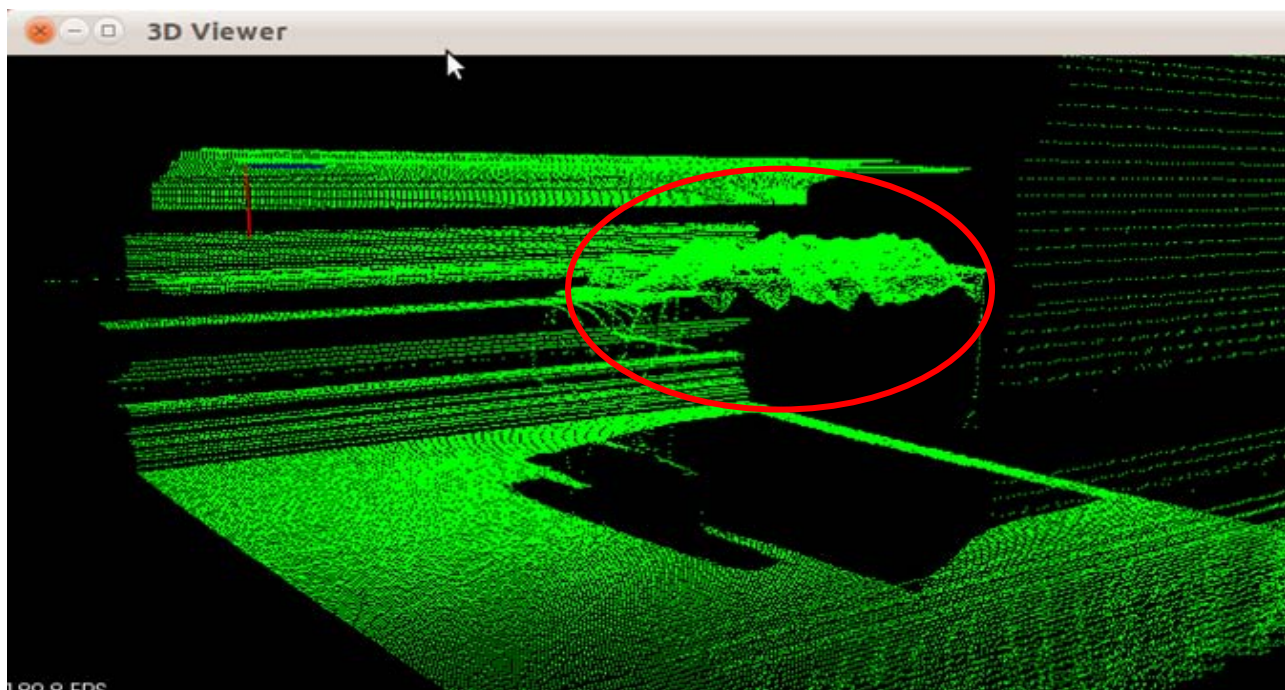


Abbildung 9: Gescannter Schüttkegel eines Anhängers

### 6.3 Einfluss der Laserhöhe

Nachdem jeder Laserscanner nur eine gute Auflösung in einem bestimmten Abstandsbereich zum Objekt aufweist, war es notwendig für diesen Anwendungsfall den optimalen Abstand zu erfassen. Der Anhänger war mit Hackgut beladen.

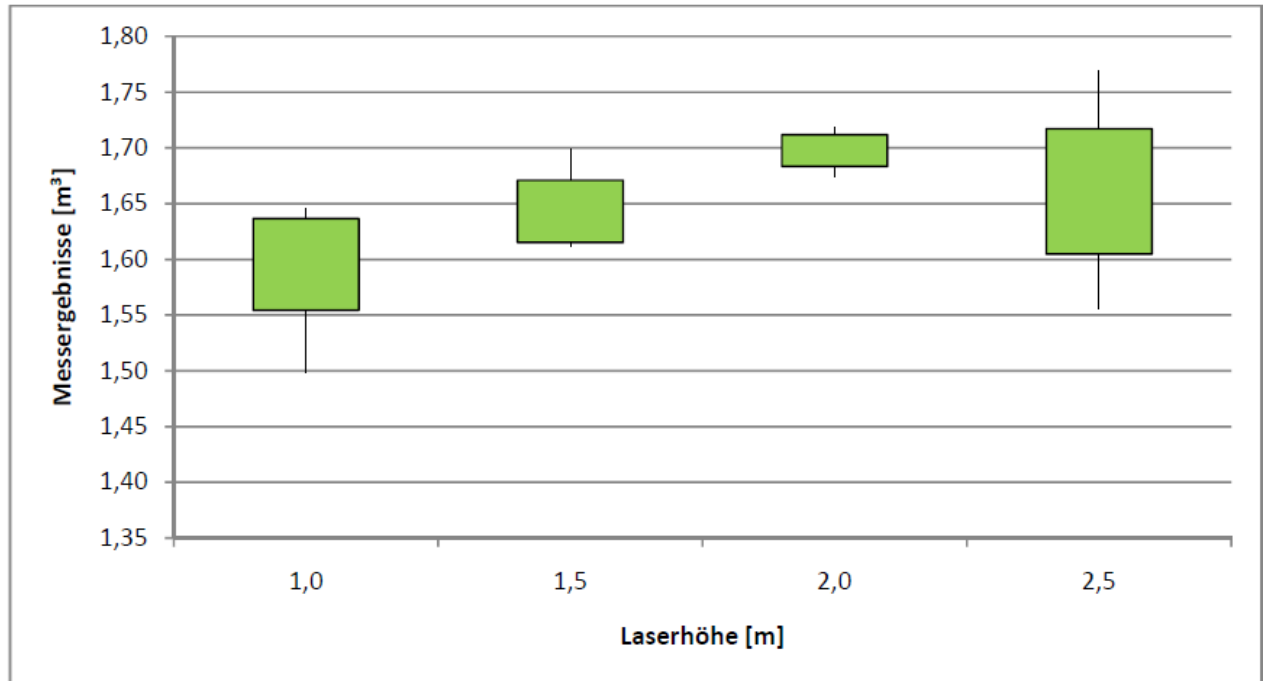


Abbildung 10: Abhängigkeit des Volumens von der Laserhöhe  
(jede Laserhöhe 10 Versuchswiederholungen)

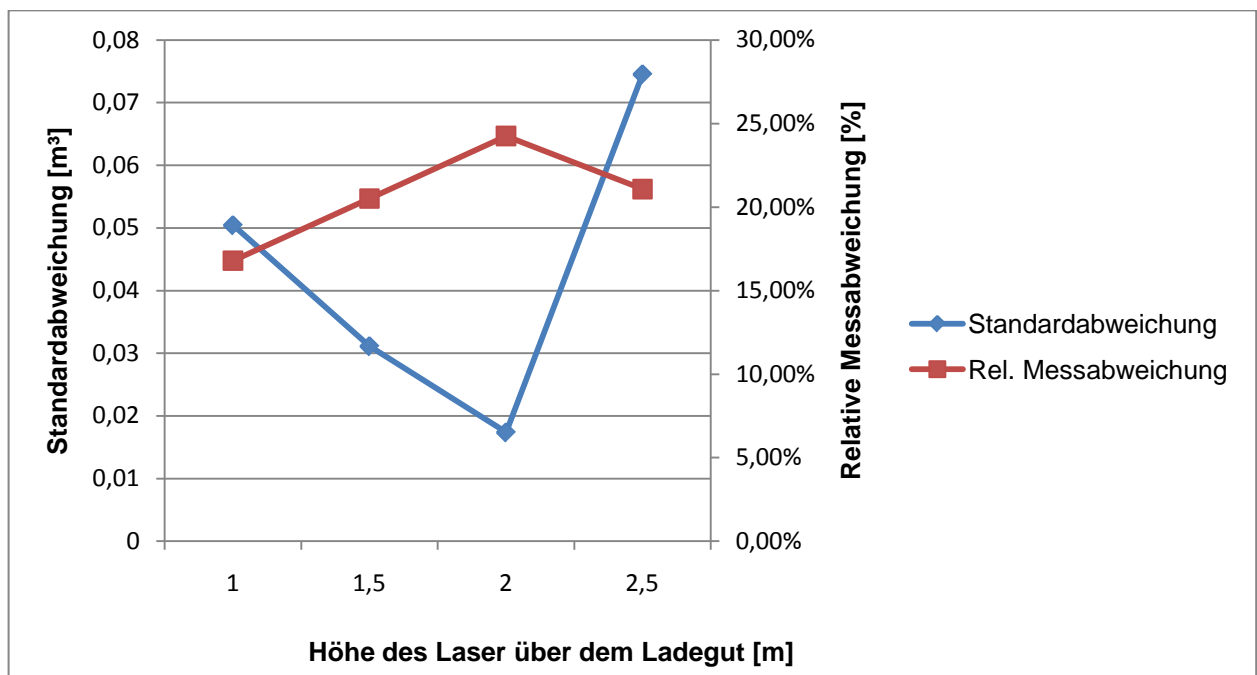


Abbildung 11: Einfluss der Höhe des Laserscanners über dem Ladegut

Je höher der Laserscanner sich über dem Ladegut befindet desto weniger Punkte des Anhängers können erfasst werden. Daraus ergibt sich eine höhere Messungsgenauigkeit. Hängt der Laserscanner jedoch zu tief kann er den gesamten Anhängerbereich nicht genau erfassen und es ergeben sich ebenfalls starke Messungsgenauigkeiten.

Das Ergebnis der Versuche zeigte eine optimale Höhe des Laserscanners von 1 m über der Oberfläche des Ladegutes. Dabei lag die Standardabweichung ebenfalls in diesem Bereich. Sie wurde bei jedem Versuch mit dem Maßband bestimmt.

## 6.4 Einfluss der Fahrgeschwindigkeit

### Fahrgeschwindigkeit konstant

Die Versuche wurden mit konstanten Fahrgeschwindigkeiten von 2,2 km/h, 5,4 km/h und 6,4 km/h des Fahrzeuges durchgeführt.

Tabelle 1: Versuchsparameter (Einfluss der Fahrgeschwindigkeit)

Versuchsparameter					
<b>Art des Gutes</b>	Hackgut	<b>Fahrgeschw.</b>	5,4 km/h	<b>Abstand Laser - Gut</b>	2.520 mm
<b>Belichtung</b>	bedeckt	<b>Fahrverhalten</b>	konstant	<b>Temperatur</b>	6,5 °C

Tabelle 2: Konstante Fahrgeschwindigkeit

konstant	Versuch	Wiederholung	Messwert
	1	1	1,5981 m <sup>3</sup>
	1	2	1,6207 m <sup>3</sup>
	1	3	1,6495 m <sup>3</sup>
	1	4	1,5408 m <sup>3</sup>
	1	5	1,6141 m <sup>3</sup>
	1	6	1,6481 m <sup>3</sup>
	1	7	1,6095 m <sup>3</sup>
	1	8	1,5536 m <sup>3</sup>
	1	9	1,5536 m <sup>3</sup>
	1	10	1,5967 m <sup>3</sup>
Mittelwert	1		1,5985 m <sup>3</sup>
<b>Standardabw.</b>			<b>0,04 m<sup>3</sup></b>
Anz. der Messungen			10
Standardfehler des Mittw.			<b>0,012 m<sup>3</sup></b>
t-Wert			2,228
Vertrauensbereich 95%			0,027
Obergrenze			<b>1,6255 m<sup>3</sup></b>
Untergrenze			<b>1,5714 m<sup>3</sup></b>
Referenzwert			1,366 m <sup>3</sup>
Messabweichung			0,23
<b>rel. Messabw.</b>			<b>17,02%</b>

### Fahrgeschwindigkeit variabel

Tabelle 3: Beschleunigung während der Messfahrt

voll beschl.	Versuch	Wiederholung	Messwert
	1	1	1,7760 m <sup>3</sup>
	1	2	1,7597 m <sup>3</sup>
	1	3	1,6142 m <sup>3</sup>
	1	4	1,7761 m <sup>3</sup>
	1	5	1,6272 m <sup>3</sup>
	1	6	1,6472 m <sup>3</sup>
	1	7	1,8010 m <sup>3</sup>
	1	8	1,6150 m <sup>3</sup>
	1	9	1,6966 m <sup>3</sup>
	1	10	1,3898 m <sup>3</sup>
Mittelwert	1		1,7014 m <sup>3</sup>
<b>Standardabw.</b>			<b><u>0,08 m<sup>3</sup></u></b>
Anz. der Messungen			10
Standardfehler des Mittw.			<b>0,024 m<sup>3</sup></b>
t-Wert			2,228
Vertrauensbereich 95%			0,055
Obergrenze			<b>1,7560 m<sup>3</sup></b>
Untergrenze			<b>1,6469 m<sup>3</sup></b>
Referenzwert			1,366 m <sup>3</sup>
Messabweichung			0,34
<b>rel. Messabw.</b>			<b><u>24,56%</u></b>

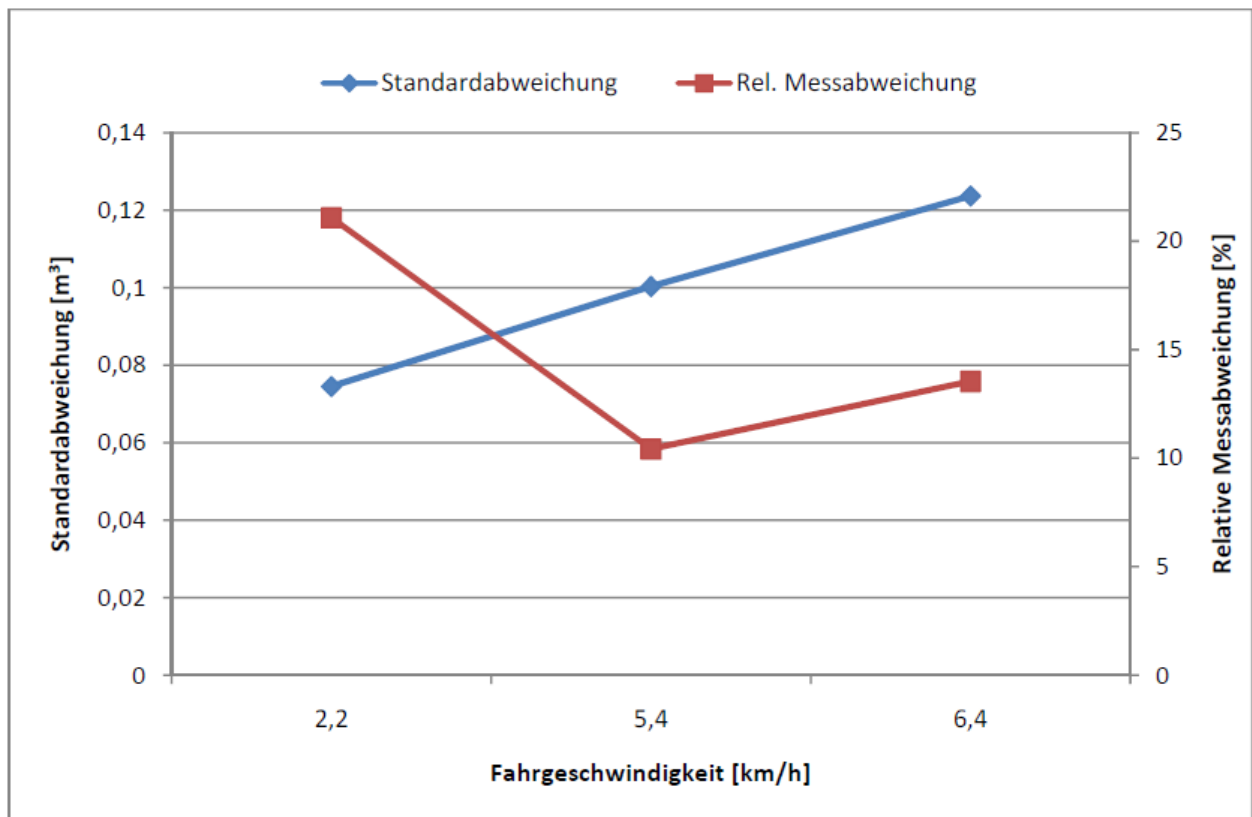


Abbildung 12: Einfluss der Fahrgeschwindigkeit

Wenn sich die Fahrgeschwindigkeit während der Messfahrt nicht zu stark ändert, sind somit geringe Schwankungen der Fahrgeschwindigkeit tolerierbar. Die besten Ergebnisse liefert jedoch eine konstante Fahrgeschwindigkeit.

Die Versuche haben ergeben, dass bei dieser Versuchsanstellung eine Fahrgeschwindigkeit im Bereich von 3-5 km/h am optimalsten ist.

Schnellere Fahrgeschwindigkeiten beim Durchfahren des Lasers sind nicht möglich, da der Laser dabei nicht genügend Daten aufnimmt und der Anhänger in der Auswertung zu stark gestaucht wird.

Bei größeren Fahrzeugen wie etwa LKWs, deren Anhängerlänge die eines landwirtschaftlichen Anhängers um einiges übersteigt, kann unter dem Laser durchaus im Bereich von 5 km/h durchgefahren werden.

## 6.5 Auswirkungen der Oberflächenform des Gutes und dem Befüllungsgrad des Anhängers auf die Volumsbestimmung

Neben der Form des Schüttkegels wurde noch zusätzlich der Grad der Befüllung in Hinblick auf die Messgenauigkeit untersucht. Verglichen wurde ein halb befüllter Anhänger mit einem voll befüllten Anhänger.



Abbildung 13: Ladefläche halb voll mit flachgestrichenen Schüttgut (Hackschnitzel)

Tabelle 4: Versuchsparameter (Auswirkungen der Oberflächenform des Gutes)

Versuchsparameter					
<b>Art des Gutes</b>	Hackgut	<b>Fahrgeschw.</b>	3,2 km/h	<b>Abstand Laser - Gut</b>	1.741 mm
<b>Belichtung</b>	Sonnenschein	<b>Fahrverhalten</b>	konstant	<b>Temperatur</b>	9,0 °C



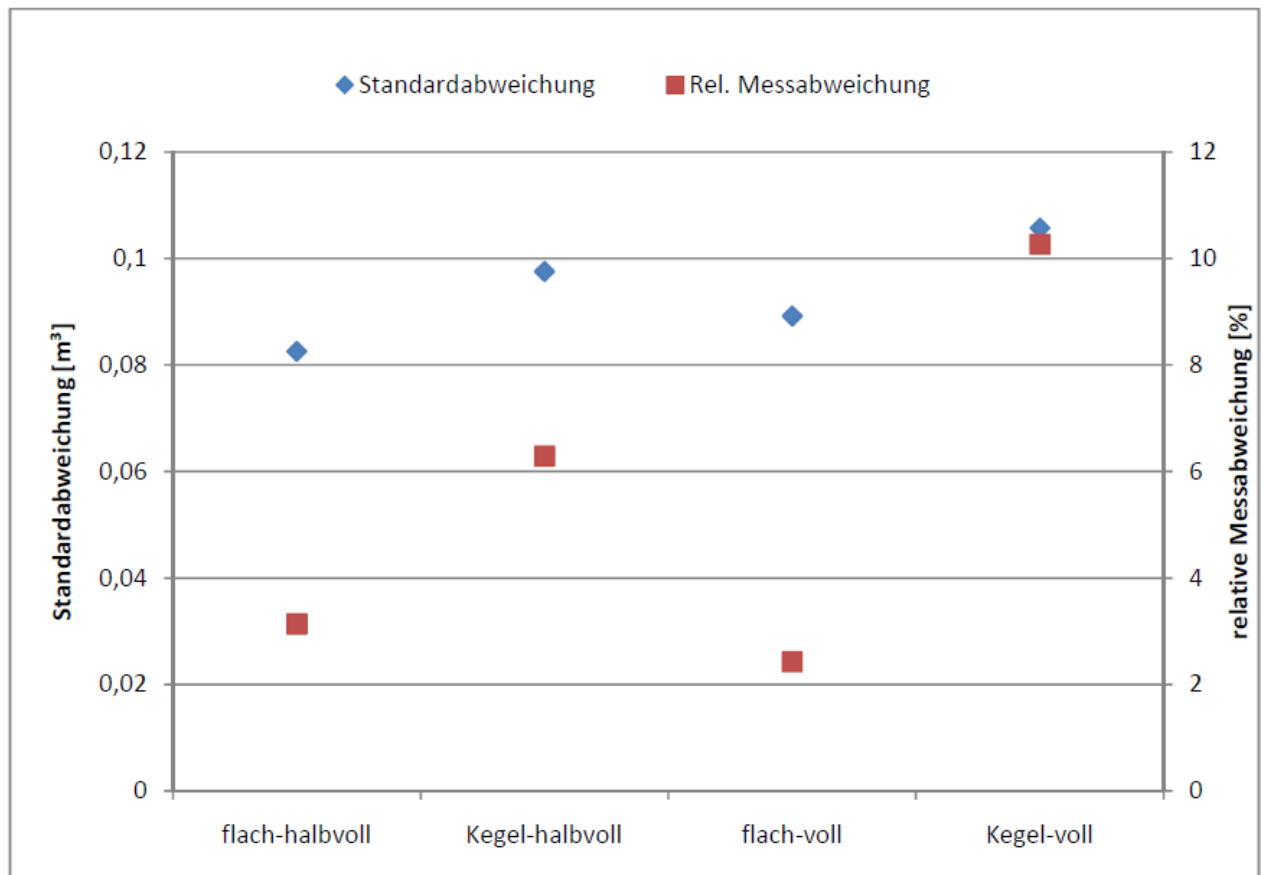


Abbildung 14: Einfluss der Oberflächenform des Schüttgutes und dem Befüllungsgrad des Anhängers

Diese Versuche haben gezeigt, dass sowohl die Standardabweichung als auch die relative Messabweichung bei Veränderung der Schüttgutform steigen. Des Weiteren ist kein gravierender Unterschied beim Befüllungsgrad zu erkennen.

## 6.6 Versuche mit drei verschiedenen Anhängertypen

Im Zuge der Versuche wurde auch Handelsdünger mit drei verschiedenen Anhängern gemessen. Durch die Rückrechnung von Gewicht und des spezifischen Gewichtes wurde das genaue Volumen bestimmt.

Tabelle 5: Versuchsparameter (Auswirkungen der Oberflächenform des Gutes)

Versuchsparameter					
<b>Art des Gutes</b>	Handelsdünger	<b>Fahrgeschw.</b>	3,2 km/h	<b>Abstand Laser - Gut</b>	2.120 mm
<b>Belichtung</b>	Sonnenschein	<b>Fahrverhalten</b>	konstant	<b>Temperatur</b>	7,0 °C



Abbildung 15: Durchfahrt unter dem Laserscanner

Tabelle 6: Ergebnisse mit drei verschiedenen Anhängern (Handelsdünger als Ladegut)

	1	2	3
<b>Standardabweichung</b>	0,065 m <sup>3</sup>	0,066 m <sup>3</sup>	0,153 m <sup>3</sup>
<b>rel. Messabweichung</b>	0,7 %	4,8 %	63,5 %

Die mit Abstand exaktesten Ergebnisse wurden mit Anhänger 1 und 2 ermittelt. Mit einer relativen Messabweichung von nur 0,7 % bzw. 4,8 % wurde beinahe der wahre Wert erreicht.

Versuch Nr. 3 hat sehr schlechte Ergebnisse gebracht, da der Anhänger nur zum Teil befüllt war. Die Bedingungen für den Laserscanner waren nicht optimal. Teile des Plateaus wurden bei der Messung miterfasst, daher war das Ergebnis unbrauchbar.

## 6.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

- Die Durchfahrtsgeschwindigkeit unter dem Laserscanner hat einen großen Einfluss auf die Messgenauigkeit. Bei den Versuchen hat sich gezeigt, dass die maximale Geschwindigkeit, bei einem Fahrzeug mit ca. 5 m Länge, von ca. 5 km/h nicht überschritten werden darf. Die relative Messabweichung war bei 5,4 km/h Fahrgeschwindigkeit am geringsten.
- Ein Abstand von ca. 1 m zwischen dem Laserscanner und dem Ladegut des Anhängers, sollte für eine genaue Volumbestimmung eingehalten werden.

- Die Versuche haben auch gezeigt, dass eine beschleunigte bzw. verzögerte Durchfahrt einen negativen Einfluss auf die Genauigkeit der Messungen hat.
- Den größten Einfluss hat jedoch die Form des Schüttkegels. Im Gegensatz zu einer ebenen Oberfläche bewirkt ein einfacher Schüttkegel eine starke Erhöhung der Messabweichung.
- Die Belichtung und die Temperatur haben keinen Einfluss auf das Ergebnis.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse

<b>Abstand Laser-Ladegut</b>	<b>1.0 m</b>	<b>1.5 m</b>	<b>2.0 m</b>	<b>2.5 m</b>
Standardabweichung	0,050 m <sup>3</sup>	0,031 m <sup>3</sup>	0,017 m <sup>3</sup>	0,075 m <sup>3</sup>
rel. Messabweichung	16,8%	20,3%	24,3%	21,6%
<b>Füllgrad</b>	<b>flach-halbvoll</b>	<b>Kegel-halbvoll</b>	<b>flach-voll</b>	<b>Kegel-voll</b>
Standardabweichung	0,083 m <sup>3</sup>	0,098 m <sup>3</sup>	0,089 m <sup>3</sup>	0,106 m <sup>3</sup>
rel. Messabweichung	3,1%	6,3%	2,4%	10,3%
<b>Var. Fahrgeschwindigkeit</b>	<b>konstant</b>	<b>nach 3m beschl.</b>	<b>voll beschl.</b>	
Standardabweichung	0,038 m <sup>3</sup>	0,099 m <sup>3</sup>	0,077 m <sup>3</sup>	
rel. Messabweichung	17,0%	21,0%	24,6%	
<b>Fahrgeschwindigkeit</b>	<b>2.2 km/h</b>	<b>5. 4 km/h</b>	<b>6.4 km/h</b>	
Standardabweichung	0,075 m <sup>3</sup>	0,100 m <sup>3</sup>	0,124 m <sup>3</sup>	
rel. Messabweichung	21,1%	10,4%	13,5%	
<b>Form des Schüttkegels</b>	<b>eingebnet (flach)</b>		<b>mit Schüttkegel</b>	
Standardabweichung	0,089 m <sup>3</sup>		0,106 m <sup>3</sup>	
rel. Messabweichung	2,4%		10,3%	

## 7. ZUSAMMENFASSUNG

Während das Gewicht von Ladegut auf Anhängern sehr einfach durch Wiegen festgestellt werden kann, ist die Bestimmung des Volumens insbesondere bei unregelmäßiger Beladung meist nur sehr ungenau möglich. Mit einem Laserscanner kann eine Oberfläche exakt abgetastet werden. Bei bekannten Abmessungen des Anhängers kann daraus das Volumen berechnet werden. Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der TU-Wien, Institut für Automatisierungs- und Regelungstechnik (Diplomarbeit von Hr. Andreas Greil) und dem Francisco Josephinum, Abt. Landtechnik (Diplomarbeit von Andreas Auer, Bernhard Jäch) wurde diese Arbeit durchgeführt.

Es wurden ca. 200 Versuche mit Hackgut, Getreide (Weizen) und Dünger (Granulat) durchgeführt. Der Halterahmen für den Anbau des Laserscanners an eine Palettengabel hat sich bei den vielen Versuchen bestens bewährt. Der Rahmen lässt sich mittels Frontlader und der Verstellmöglichkeit am Halterahmen, über sechs Meter Höhe verstellen. Somit kann vom landwirtschaftlichen Anhänger bis zum LKW alles abgedeckt werden. Die waagrechte Ersteinstellmöglichkeit des Laserscanners am Halterahmen ist praxisgerecht.

Zur Bestimmung des Volumens des Ladegutes ist es notwendig, dass der Anhänger zuerst leer und dann voll beladen unter dem Laserscanner mit möglichst gleichmäßiger Geschwindigkeit durchfährt. Durch die an der TU Wien entwickelten Software ist die Berechnung des Volumens selbst bei unregelmäßiger Oberfläche möglich.

Folgende Punkte müssen bei einem Messvorgang beachtet werden:

- Die Durchfahrtsgeschwindigkeit unter dem Laserscanner ist abhängig von der Anhängerlänge (maximal 5 km/h). Je langsamer desto genauer ist das Ergebnis.
- Es muss eine konstante Geschwindigkeit eingehalten werden (keine Beschleunigung oder Bremsung).
- Abstand des Laserscanners zum Ladegut des Anhängers mind. 1 m.
- Mittig unter dem Laserscanner fahren.
- Laserscanner immer waagrecht ausrichten.
- Unterschiedliche Belichtung, auch direktes Sonnenlicht und Temperatur haben keinen Einfluss auf das Ergebnis.

Unter Einhaltung oben angeführter Bedingungen ist eine relative Messabweichung von maximal 2.4 % erreichbar. Der Messfehler kann sich jedoch unter ungünstigen Bedingungen (keine konstante Geschwindigkeit, ungünstige Oberfläche, hohe Fahrgeschwindigkeit.) deutlich erhöhen.

Die Versuche lieferten wichtige Ergebnisse für die Weiterentwicklung und Optimierung dieses mobilen Messsystems, zur Erfassung des Gutvolumens von landwirtschaftlichen Anhängern am Feld. Für eine zukünftige Weiterentwicklung sollte die Software von Linux auf eine bedienerfreundliche Windows-Version umgestellt sowie die Segmentierung verbessert werden.

## 8. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Messprinzip der Volumsbestimmung.....	10
Abbildung 2:	Punktwolke mit ausgewähltem Segment.....	10
Abbildung 3:	Ablauf des gesamten Volumsbestimmungsverfahrens schematisch dargestellt. ....	12
Abbildung 4:	Laserscanner am Kranhaken montiert.....	13
Abbildung 5:	Anbaurahmen mit Laserscanner.....	14
Abbildung 6:	Gelenk zur Aufnahme des Laserscanners .....	15
Abbildung 7:	Messaufbau zur Volumsbestimmung eines mit Hackgut beladen LKW .....	15
Abbildung 8:	Bedieneroberfläche der Software am Notebook.....	17
Abbildung 9:	Gescannter Schüttkegel eines Anhängers .....	18
Abbildung 10:	Abhängigkeit des Volumens von der Laserhöhe (jede Laserhöhe 10 Versuchswiederholungen) .....	19
Abbildung 11:	Einfluss der Höhe des Laserscanners über dem Ladegut .....	19
Abbildung 12:	Einfluss der Fahrgeschwindigkeit .....	23
Abbildung 13:	Ladefläche halb voll mit flachgestrichenen Schüttgut (Hackschnitzel).....	24
Abbildung 14:	Einfluss der Oberflächenform des Schüttgutes und dem Befüllungsgrad des Anhängers .....	25
Abbildung 15:	Durchfahrt unter dem Laserscanner .....	26

## 9. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Versuchsparameter (Einfluss der Fahrgeschwindigkeit) .....	21
Tabelle 2: Konstante Fahrgeschwindigkeit .....	21
Tabelle 3: Beschleunigung während der Messfahrt .....	22
Tabelle 4: Versuchsparameter (Auswirkungen der Oberflächenform des Gutes).....	24
Tabelle 5: Versuchsparameter (Auswirkungen der Oberflächenform des Gutes).....	25
Tabelle 6: Ergebnisse mit drei verschiedenen Anhängern (Handelsdünger als Ladegut) .....	26
Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse .....	27

## 10. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] A. Greil: „Entwicklung eines Systems zur Vermessung des Volumens von Ladegut eines Anhängers“ (Diplomarbeit), TU-Wien, Jänner 2013
  
- [2] A. Auer, B. Jäch: „Dynamische Bestimmung des Ladevolumens auf einem Anhänger“ (Diplomarbeit), Francisco Josephinum, Mai 2012







ISBN 978-3-902451-11-8