

# Auslastungsmessung in LKW-Laderäumen

Ein Überblick über vorhandene Technologien und ein Praxistest mit Ultraschallsensorik in der Automobillogistik

Till Becker, Hochschule Emden/Leer, Thorben Funke, Universität Bremen und BIBA - Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH und Joshua Coordes, Universität Bremen

Cyber-Physische Systeme ermöglichen Unternehmen die virtuelle Abbildung von realen Prozessen, wodurch Produktions- und Logistiksysteme effizienter überwacht und gesteuert werden können. Diese Steigerung der Prozesstransparenz wird durch immer günstiger werdende Sensoren und Aktoren ermöglicht. Deren Einsatz gewinnt auch in der Transportlogistik und vor allem im Bereich des Straßengüterverkehrs an Bedeutung, wie die voranschreitende Entwicklung von Telematiksystemen [1] zeigt. Ein Aspekt ist hierbei die Überwachung von LKW Laderäumen in Bezug auf ihre Auslastung. Diese Daten ermöglichen neben Kostenvorteilen auch eine Emissionsreduktion und eröffnen neue Möglichkeiten im Bereich der Prozesssteuerung. Dieser Bericht gibt einen Überblick über vorhandene und mögliche Technologien und stellt die Ergebnisse eines ersten Praxistests in der Versorgungslogistik bei einem deutschen Automobilhersteller vor, für den Ultraschallsensoren in Kombination mit einem Mikrocontroller mit Mobilfunkanbindung eingesetzt wurden.

In der unmittelbaren Umgebung von Produktionsstätten und Fabriken siedelt sich oft eine Vielzahl an Außenlagern an, in denen Einzelteile, Baugruppen und Ladungsträger für die Produktion lagern. Diese Außenlager clustern sich dabei häufig in Güterverkehrszentren und Industrieparks. Durch die Ausgliederung von Lagerfläche wird eine effiziente Vernetzung zwischen Fabrik und Außenlager erforderlich, damit die komplexer werdenden Warenströme weiterhin optimal gesteuert werden können [2]. Eine wichtige Rolle spielt hierbei der Transport via LKW, da zwischen Außenlager und Fabrik überwiegend kurze Distanzen überwunden werden müssen und es eine Vielzahl an Zielorten innerhalb der Fabrik gibt. Wenn es sich um interne Umfuhren handelt, werden für diese Transporte oft keine Lieferpapiere erstellt oder die Lieferpapierdaten werden nicht an übergeordnete Systeme weitergereicht. Hierdurch ist in der Regel nicht nachvollziehbar, welches Bauteil mit welchem LKW und mit welcher Tour in die Fabrik transportiert wird. Zudem werden für den Transport oft an das jeweilige Bauteil angepasste Mehrweg-Ladungsträger verwendet, die nach der Teileentnahme wieder an das Lager oder an den Lieferanten zurückgeführt werden müssen. Auch für diese Transporte werden in den meisten Fällen keine Ladepapiere erstellt. Somit ist die Auslastung der Transporte für den Planer und Disponenten nicht immer bekannt, wodurch zum Teil regelmäßige Touren entstehen, die nicht effizient ausgelastet sind. Die damit verbundene

Ressourcenverschwendung (Personal, Zeit, Kraftstoff) wiederum führt zu monetären Verlusten und zu Umweltbelastungen in Form von Lärm und CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch eine Bündelung der Transporte vermieden werden könnten.

Auf dem Markt sind nur wenige Methoden und Technologien vorhanden, die sich mit der Erfassung der Laderaumauslastung von LKW-Anhängern (im Folgenden „Laderaummessung“) beschäftigen. Dies ist der Fall, weil die Transporte im Fernverkehr von Lieferpapieren begleitet sind, aus denen sich Ladungsgewicht und Ladungsvolumen ableiten lassen. Zudem spielen Gewicht und Volumen bei der Disposition von Transporttours eine wichtige Rolle und werden deshalb schon während der Vordisposition berücksichtigt. Dennoch gibt es eine Reihe von Anwendungsfällen, in denen die Möglichkeit der Überwachung und Vermessung von Laderäumen in Echtzeit einen Mehrwert bieten kann. Ein Beispiel sind Unternehmen, in denen Umfuhren durchgeführt werden, für die keine Frachtpapiere erstellt werden. Ein weiterer Anwendungsfall sind Transporte im Sammelgutverkehr, bei denen eine Laderaumüberwachung die Vergabe von Ad-Hoc Aufträgen erleichtern würde. Zudem ist auch eine Anwendung bei der Auslieferung von Sendungen durch KEP-Dienste vorstellbar. Die Laderaummessung lässt sich darüber hinaus auch auf anderen

## Measurement of the Filling Level of Trailers Used in Local Transport

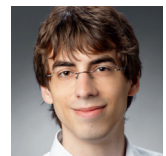
In transport logistics the utilization of transports is often unknown. As a consequence it is not possible to use this information during the transport planning phase and it cannot be used for operational transport control. This report describes technologies which can measure the utilization of shipping spaces. Due to the lack of market-ready systems, a new system was developed that uses ultrasonic sensors to determine the transport utilization. The system was built on a trailer and was tested during live operation. It was shown that the system fulfills the given requirements and it is suggested to expand the tests.

Keywords:

logistics, industrie 4.0, truck transport, ultrasonic



Prof. Dr. Till Becker ist Professor für Wirtschaftsinformatik am Fachbereich Wirtschaft an der Hochschule Emden/Leer.

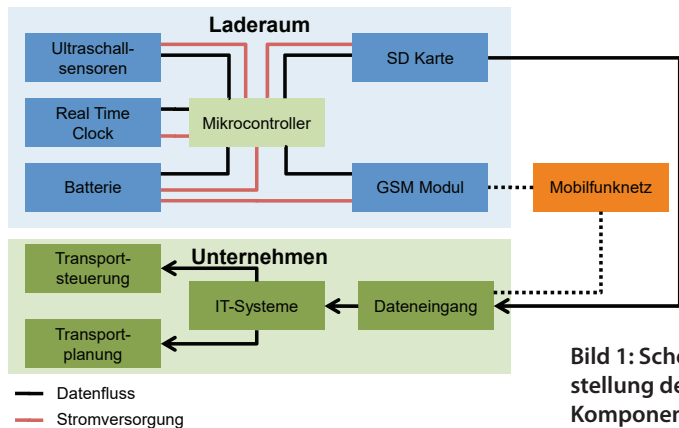


Thorben Funke, M.Sc. ist Mathematiker mit Anwendungsfach Informatik. Er arbeitet in der Arbeitsgruppe Production Systems and Logistic Systems an der Universität Bremen.



Joshua Coordes, M.Sc. hat sein Wirtschaftsingenieurstudium an der Universität Bremen im April 2018 abgeschlossen.

till.becker@hs-emden-leer.de  
www.psls.uni-bremen.de



Transportumgebungen, wie beispielsweise den Containertransport, den Schiffsverkehr oder auch auf den Personentransport beziehen.

### Übersicht möglicher Lösungen

Eine Betrachtung des Marktes zeigt, dass sich verschiedene Technologien und Vorgehensweisen für eine Laderaummessung eignen. Allerdings gibt es keine Lösung, die sich ohne weiteren Forschungsaufwand direkt einsetzen ließe. Einige der Technologien sind fest am Entladeplatz verankert, wodurch die Messung nur an festgeschriebenen Punkten durchgeführt werden kann und sie deshalb nur für feste und regelmäßige Transportbeziehungen geeignet sind. Andere Technologien werden fest im Laderaum verbaut, sodass der Transport durchgehend begleitet und die Erfassung von zusätzlichen Daten ermöglicht wird. Diese Technologien sind dafür meist anfälliger für Beschädigungen und schwieriger (nachträglich) zu installieren.

Dass es auf dem Markt noch keine ausgereifte Laderaummessung gibt, liegt zum einen daran, dass ein hoher Forschungs- und Entwicklungsaufwand notwendig ist, um ein voll funktionsfähiges System mit einer ausreichenden Genauigkeit herzustellen. Zum anderen ist bei vielen Systemen der Aufbau einer guten Beziehung und Koordination zwischen den Partnern der Supply Chain notwendig.

Folgende Möglichkeiten wurden näher betrachtet und bewertet, wobei der Fokus auf einer Messung der Auslastung in Bezug auf das Ladevolumen und die belegten Lademeter lag.

- Bildverarbeitung im LKW-Laderaum: Eine Kamera im Laderaum nimmt ein Tiefenbild auf und berechnet aus diesem das verbleibende Frachtvolumen und die verbleibenden Lademeter. Diese Technik wurde unter anderem vom Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung in Magdeburg erforscht [3] und es existieren kommerzielle Angebote u.a. von Krone, Thorsis und Zebra.

- Bildverarbeitung am Entladeplatz: Eine Kamera nimmt ein Bild vom Entladeplatz aus auf und berechnet aus diesem die Auslastung. Eine weitere Möglichkeit ist die Vermessung der Ladung am fahrenden Gabelstapler, wie sie von der Firma Cargometer [4] angeboten wird.
- Nutzung von RFID-Tags: Die Ladung wird mit RFID-Tags ausgestattet und die Daten zur Ladung werden in einer Datenbank hinterlegt. Nach der Ausfahrt am Entladeplatz durchfährt der LKW ein RFID-Gate, welches die Ladung erfasst und daraus die Auslastung berechnet.
- Nutzung bestehender IT-Systeme: Vorhandene Daten, die beispielsweise von Barcode-Scans stammen, werden verknüpft, sodass sich die Auslastung der Tour bestimmen lässt.
- Ultraschallsensoren: Der Laderaum wird mit Ultraschallsensoren ausgestattet, aus dessen Daten die Auslastung des LKW-Laderaums berechnet wird, wie z.B. als LoVoTrack von Ubigrade angeboten.

Die beschriebenen Systeme wurden anhand von Kriterien wie Robustheit, erfasste Laderaummessungen, Messgenauigkeit, Kosten, Automatisierung und Nachrüstbarkeit bewertet. Dabei wurde auch die Umsetzbarkeit im Rahmen der Gegebenheiten für den Praxistest mitberücksichtigt. Ein besonders wichtiger Faktor in der vorliegenden Untersuchung waren die geringen Einstiegskosten, womit bereits viele kommerzielle Lösungen insbesondere für erste Tests nicht infrage kommen. Kamerasysteme mit Tiefenerfassung eigneten sich nicht aufgrund der wenig strukturierten Beladung und der Nutzung verschiedenster Ladungsträger. Die Nutzung von RFID-Gates scheidet wegen der hohen Investitionskosten an jedem Ladeort aus und die Verwendung bestehender Daten war zu sehr von der Datenqualität in den Warenwirtschaftssystemen abhängig.

Als Ergebnis dieser Marktbetrachtung wurde die Ultraschallsensorik im Laderaum als Testobjekt ausgewählt. Gründe für die Auswahl waren vor allem die universelle Anwendbarkeit und die im Vergleich zu vielen anderen Lösungen sehr geringen Einstiegskosten. Hierbei wurde festgestellt, dass aufgrund der Verschiedenheit der Höhe und Struktur der Ladungsträger nur eine Messung von der Seitenwand aus in Betracht kam und daher die o. g. kommerzielle Lösung mit Deckensensoren ausschied.

### Laderaummessung durch Ultraschallsensorik

Als Ultraschall werden Schallwellen mit einer Frequenz zwischen 20 kHz und 1,6 GHz bezeichnet.

Diese Schallwellen können, neben vielen anderen Anwendungsbereichen, zur Entfernungsmessung eingesetzt werden. Ultraschallsensoren messen die Zeitdifferenz zwischen dem Aussenden eines Ultraschallsignals und dem darauffolgenden Empfang des reflektierten Signals, um daraus die Entfernung zwischen Sensor und Objekt zu bestimmen.

Für den Testaufbau wurde die Seitenwand eines LKW-Anhängers mit 21 Ultraschallsensoren ausgestattet, die über Datenkabel mit einem Mikrocontroller (Arduino Mega) verbunden sind. Für den Mikrocontroller wurde eine Software entwickelt, die zunächst die eigentliche Laderaummessung mithilfe der Ultraschallsensoren durchführt. An die Sensoren wird ein Trigger Signal geschickt, das den Sensor aktiviert. Dieser sendet daraufhin Ultraschallwellen aus und wartet, ob diese zurückreflektiert werden. Daraufhin wird ein Echosignal an den Arduino gesendet, der aus der vergangenen Zeitspanne zwischen Trigger- und Echosignal die Entfernung berechnet. Für das umgesetzte System ist dabei nur wichtig, ob ein Signal zurückgeschickt wird oder nicht. Wird ein Signal erkannt, bedeutet dies, dass vor dem jeweiligen Sensor ein Ladungsträger steht. Die Information, ob ein Ladungsträger vor dem Sensor steht, wird als Null (kein Ladungsträger vor dem Sensor) oder Eins (Ladungsträger vor dem Sensor) gespeichert.

Auf dem Mikrocontroller wird aus den Sensordaten die Auslastung der Lademeter und die Auslastung des Laderaumvolumens berechnet. Dies ist möglich, da die Positionen der Sensoren im LKW bekannt sind. Zudem werden die Sensordaten auf ihre kausale Richtigkeit überprüft. So kann es zum Beispiel nicht sein, dass ein Sensor belegt ist, während der darunter liegende Sensor nicht belegt ist, weil dies bedeuten würde, dass ein Ladungsträger schweben würde. Diese Zusammenhänge werden zur Verbesserung des Ergebnisses genutzt, wobei die Software in diesem Bereich noch Potenziale zur weiteren Optimierung aufweist. Die Messergebnisse werden einerseits lokal auf einem Datenträger gespeichert und andererseits per Mobilfunkverbindung in das Internet übertragen, damit sie in Echtzeit für weitere Systeme wie zum Beispiel die Transportsteuerung verfügbar gemacht werden können. Im Praxistest wurde dies über den Anbieter thingspeak.com [5] realisiert. Für die Anwendung müssen verschiedene Hardware Komponenten zusammenarbeiten, die in Bild 1 schematisch dargestellt werden.

### Praxistest

Die Laderaummessung wurde in der innerbetrieblichen Transportlogistik eines Automobil-

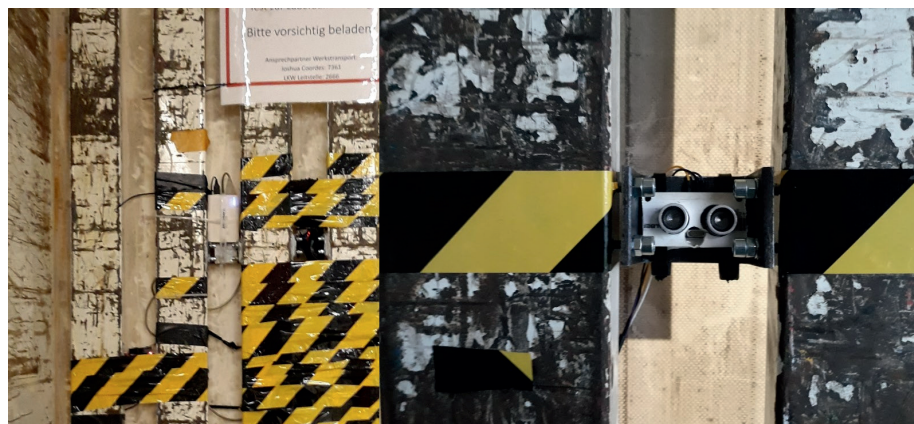
herstellers getestet, die den Transport innerhalb der Werksgrenzen, Transporte zwischen Produktionsstandorten und Transporte zwischen Lagerstandorten organisiert. Hierbei ist zu bemerken, dass die Messungen durch eine formschlüssige Beladung und durch die ausschließliche Verwendung von Ladungsträgern vereinfacht wurden. Der Aufbau des Systems konnte mit Materialkosten von ca. 500 € realisiert werden. Bild 2 zeigt den Testanhänger, wie er mit den bereits vorgestellten Komponenten bestückt ist.

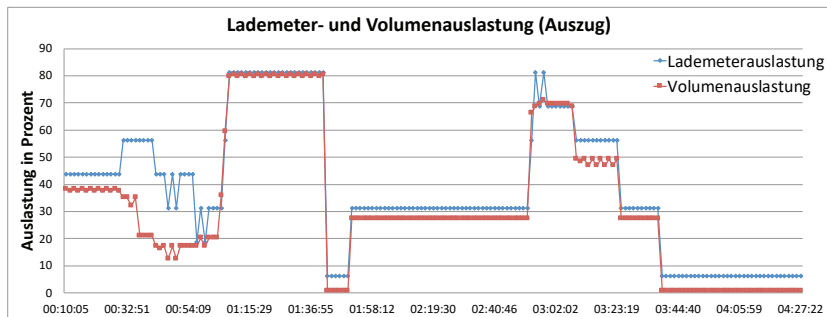
In Zusammenarbeit mit dem Werkstransport des Automobilherstellers und mit dem beteiligten Transportdienstleister wurde ein Einsatzplan für den Anhänger auf verschiedenen Routen der internen Transporte ausgearbeitet. Dies ist wichtig, da auf den unterschiedlichen Routen unterschiedliche Ladungsträger transportiert werden und da so getestet werden kann, wie sich dies auf die Messungen auswirkt. Zudem sollte der Anhänger zunächst auf Routen eingesetzt werden, an denen er mit einer festen Zugmaschine verbunden ist. So ist der LKW-Fahrer über das Testsystem informiert und kann somit besser auf mögliche Beschädigungen (z. B. lockere Kabel oder herausgefallene Halterungen) reagieren.

Die Übertragung der Daten an den Webserver hat durchgehend funktioniert. Die Daten werden in einem Rhythmus von 90 Sekunden hochgeladen und sofort auf der Plattform angezeigt. Gelegentlich gibt es in der Übertragung Lücken mit einer Länge zwischen fünf und zehn Minuten, die sich mit Funklöchern (verursacht z. B. durch Hallen und Tunnel) erklären lassen. Prinzipiell ist eine Überwachung nur zu Beginn und Ende einer Tour notwendig, durch die eingesetzte Technologie ergibt sich aber als Nebenprodukt die Möglichkeit zur dauerhaften Überwachung auch während der Fahrt. Bild 3 zeigt, wie die Daten auf dem Webserver dargestellt werden.

Anhand der Grafik können die Beladezustände, in diesem Fall die belegten Lademeter in Metern, abgelesen werden. Zudem sind die Zeitpunkte

**Bild 2:** Foto des eingebauten Systems im Testanhänger.





**Bild 3: Beispieldiagramm mit Messergebnissen über die Zeit.**

erkennbar, an denen der Anhänger be- oder entladen wurde. Diese Darstellung ist für die Echtzeitbetrachtung hilfreich. Für eine Auswertung und die Betrachtung unterschiedlicher Zeiträume können die Daten vom Webserver exportiert und z. B. in Excel bearbeitet werden. Es konnte gezeigt werden, dass dieses System die für den Anwendungsfall gewünschte Genauigkeit von +/- 10% erreicht und dass die Genauigkeit durch den Einsatz weiterer Sensoren erhöht werden kann.

### Ausblick

Es wurden unterschiedliche Möglichkeiten ermittelt, mit denen eine Laderaummessung realisiert werden kann. Es war jedoch nicht möglich, ein System zu finden, das ohne Forschungs- und Entwicklungsaufwand für diesen Anwendungszweck einsetzbar gewesen wäre. Lediglich bei der Bilderkennung im Laderaum und bei der Ultraschallsensorik gab es Systeme, die bereits in Ansätzen für die Laderaummessung getestet wurden. Es wurde ein auf der Plattform Arduino basierendes Cyber-Physisches-System entwickelt, das ein Sensornetz auf dem Anhänger überwacht und die berechnete Auslastung an einen Webserver sendet, auf dem die Daten in Echtzeit abrufbar sind. Die Umsetzung eines Prototyps liegt außerdem mit ca. 500 € Materialkosten pro Anhänger in einem finanzierbaren Rahmen. Darüber hinaus hat sich der Einbau des Prototyps als sehr robust gegenüber den herrschenden Belastungen erwiesen, obwohl keine feste Verbindung zwischen Anhänger und Aufbau bestand. Durch den Einbau im Laderaum ist diese Lösung in der Lage auch weiterführende Informationen, wie GPS- oder Temperaturdaten, zu erfassen und diese in einem Datenstream zu übertragen. Nachteilig ist, dass jeder Laderaum mit der benötigten Hardware ausgerüstet werden muss und dass die Genauigkeit von der Anzahl der Sensoren abhängt.

Nach der Durchführung der Testphase war es nicht möglich, Aussagen zu generieren, ob Transporte zusammengelegt oder eliminiert werden könnten. Dies liegt vor allem daran, dass die Stichprobe der betrachteten Transporte zu gering ist, da nur ein Testanhänger aufgebaut wurde. Erst nach einer weiteren Pilotphase mit 20 bis 30 aus-

gerüsteten Anhängern und der Datengewinnung über einen ausreichend großen Zeitraum wäre es möglich, Aussagen über die allgemeine derzeitige Auslastung der Laderäume zu treffen. Dennoch hat der Test gezeigt, dass nicht alle Transporte zu 100 % ausgelastet sind und dass Transporte mit einer wesentlich geringeren Auslastung existieren. Unabhängig vom verwendeten System zur Datenerfassung ist es notwendig, die gewonnenen Daten an die vorhandenen IT-Systeme anzubinden. Diese müssen in der Lage sein, die erfassten Daten automatisiert zu verarbeiten und für Steuerungsentscheidungen zu nutzen. Darüber hinaus müssen die Daten so gespeichert werden, dass sie für die zukünftige Transportplanung zur Verfügung stehen. Die Daten können zudem beim Aufbau eines Supply Chain Event Management helfen und die Transportkette robuster und transparenter werden lassen. Außerdem können die Daten im Rahmen der Entwicklung von Big Data dazu genutzt werden, Ansätze des Machine Learning zu testen und umzusetzen.

Die Auswirkungen von Systemen zur Laderaummessung konnten in dieser Arbeit nicht vollständig beleuchtet werden, da zum einen ausreichende Praxistests fehlen und da diese zum anderen für jedes Unternehmen spezifisch sind. Unternehmen, die sich mit dem Warentransport beschäftigen, sollten deshalb prüfen, wie sie die Laderaummessung für sich nutzen können. Bereits laufende Projekte zu Telematiksystemen und der Einsatz von GPS zeigen, dass es in diesem Bereich viel Potenzial gibt, Prozesse transparenter und effizienter zu gestalten. Als Technologie kann Ultraschall eine Möglichkeit der Laderaummessung sein, aber auch die anderen Systeme sollten in Betracht gezogen werden. Neben spezifischen Einzelösungen sollten Unternehmen mit ihrem Supply-Chain-Partnern zusammenarbeiten, da eine gemeinschaftliche Lösung die Investitionskosten senkt und da Prozessverbesserungen oft nur gemeinsam umgesetzt werden können. Außerdem führt der Trend Industrie 4.0 zu einer verstärkten Verknüpfung von Unternehmen untereinander, weshalb es sinnvoll ist, auch im Bereich der eingesetzten Hardware gemeinsame Wege zu gehen. Es muss zudem angemerkt werden, dass die in dieser Arbeit erfolgreich getestete Laderaummessung über Ultraschallsensoren langfristig eine Brückentechnologie ist. Dies ist der Fall, weil diese Technologie nur das geladene Volumen erkennen kann. Für eine vollständige Transparenz wird es langfristig erforderlich werden, nicht nur zu wissen wie viel geladen ist, sondern auch was geladen ist.

### Schlüsselwörter:

Logistik, Industrie 4.0, Laderaummessung, LKW Transport, Ultraschall

### Literatur

- [1] KRONE: Krone Telematics. URL: <https://www.krone-trailer.com/produkte/krone-telematics/>, Abrufdatum 01.05.2018.
- [2] Klug, F: Logistikmanagement in der Automobilindustrie - Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Berlin Heidelberg 2010.
- [3] Fraunhofer IFF: Laderaumüberwachung zur flexiblen Tourenplanung in der Transportlogistik. URL: <https://www.iff.fraunhofer.de/content/dam/iff/de/dokumente/publikationen/laderaumu-berwachung-zur-flexiblen-tourenplanung-in-transportlogistik-fraunhofer-iff.pdf>, Abrufdatum 01.05.2018.
- [4] Cargometer GmbH: 3D-Vermessung von Ladegütern am fahrenden Gabelstapler. URL: <http://www.cargometer.com>, Abrufdatum 01.05.2018.
- [5] Thingspeak: Plattform für IoT Anwendungen. URL: [thingspeak.com](https://thingspeak.com), Abrufdatum 01.05.2018.