

Verfahren und Technologien zur Positionsbestimmung von unbegleiteten Trailern in RoRo-Terminals

Methods and technologies for determining the position of unaccompanied trailers in RoRo-terminals

*Nina Vojdani
Björn Erichsen
Patrick Mönk*

*Lehrstuhl für Produktionsorganisation und Logistik
Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik
Universität Rostock*

Einen großen Anteil an den Ladeeinheiten im RoRo-Verkehr haben unbegleitete LKW-Trailer. Diese werden auf Stellplatzflächen der RoRo-Terminals zwischengelagert und von terminaleigenen Transportfahrzeugen (Tugmaster) auf die RoRo-Fähren verladen. Beim landseitigen Eingang zum RoRo-Terminal werden die ankommenden Trailer registriert und einem Stellplatz oder einer Parkzone zugeteilt. Kommt es bei Standortinformationen bezüglich der unbegleiteten Trailer zu Inkonsistenzen, da ein Trailer nicht auf der zugeteilten Fläche abgestellt wurde, führt dies zu aufwendigen Suchprozessen seitens der Tugmaster. Darüber hinaus kann es zu Fällen kommen, in denen Trailer innerhalb der zur Verfügung stehenden Umschlagszeit nicht auffindbar sind. Der Einsatz von Systemen zur Positionsbestimmung von unbegleiteten Trailern auf dem Terminalgelände würde dazu führen, dass zeitaufwendige Suchprozesse vermieden werden. Für die Bestimmung der Position von Objekten existieren jedoch eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren und Technologien. Dieser Beitrag untersucht und diskutiert daher verschiedene Verfahren und Technologien zur Positionsbestimmung von unbegleiteten Trailern auf RoRo-Terminals.

[Schlüsselwörter: RoRo-Terminal, Positionsbestimmung, unbegleitete Trailer]

Unaccompanied truck trailers account for a large proportion of the loading units in RoRo-traffic. These are temporarily stored on the parking spaces of the RoRo-terminals and loaded onto RoRo-ferries from terminal-owned transport vehicles. At the landward entrance to the RoRo-terminal, the arriving trailers are registered and assigned to a parking space or a parking zone. If there are inconsistencies in location information regarding the unaccompanied trailers, since a trailer has not been parked on the assigned area, this leads to elab-

orate search processes on the part of the Tugmaster. In addition, there may be cases in which trailers cannot be found within the available turnover time. The use of systems for determining the position of unaccompanied trailers on the terminal site would lead to the avoidance of time-consuming search processes. However, a variety of different methods and technologies exist for determining the position of objects. This paper examines and discusses different methods and technologies for determining the position of unaccompanied trailers on RoRo-terminals.

[Keywords: RoRo-terminal, localization, unaccompanied truck trailer]

1 AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE EINES RORO-TERMINALS

Häfen, die über ein RoRo-Terminal verfügen, sind gekennzeichnet durch einen relativ hohen Flächenbedarf, welcher sich dadurch begründet, dass Ladeeinheiten wie z.B. LKW-Trailer in der Regel nicht stapelfähig sind. Des Weiteren wird ein hoher Anteil als Verkehrsfläche beansprucht. Eine effiziente Nutzung der verfügbaren Flächen ist daher im Sinne eines wirtschaftlichen Hafenbetriebs anzustreben. [Bou19]

Ein dynamischer Anstieg des Transportgüteraufkommens resultiert in stetig größer werdenden, effizienteren und moderneren RoRo-Schiffen. Den dabei gleichbleibenden bzw. weiter verkürzten Hafentiegezeiten kann nur mit einem erhöhten Durchsatz vom Terminal zum Schiff begegnet werden.

Ein typisches RoRo-Terminal kann in die Funktionsbereiche Gate, Pufferspuren vor dem Gate, Pufferspuren auf dem Gelände, Stellplätze, Handhabungsbereich für die Ladung, Wartebereich für Zugmaschinen und Liegeplatz

des Schiffes unterteilt werden. Das Gate bildet die Schnittstelle zum Hinterland vor dem die Pufferspuren die auf die Abfertigung wartenden Fahrzeuge aufnehmen. Weiterhin stellen die Puffer auf dem Terminalgelände Spuren für die eingeeckten, begleiteten Trailer bereit. Die Stellplätze stellen die Fläche für die land- und wasserseitig angelieferten, unbegleiteten Trailer bereit, die von Tugmastern gehandelt werden. Im Handhabungsbereich werden nichtrollende Ladungen von LKW oder Eisenbahnwagons auf sogenannte Rollflats verladen und umgekehrt. Zudem gibt es einen Wartebereich für die Zugmaschinen. Abschließend bildet der Liegeplatz des Schiffes die Schnittstelle zum Seeverkehr. [Eck08]

Alle logistischen Prozesse müssen innerhalb des vorgegebenen Zeitfensters abgeschlossen sein, damit die Einhaltung der streng getakteten Fahrpläne erreicht werden kann. Damit die zeitkritischen Prozesse reibungslos funktionieren, müssen die Ladeeinheiten gut organisiert bereitgestellt werden. Werden Trailer falsch abgestellt, kann das dazu führen, dass diese nicht innerhalb des kalkulierten Zeitfensters gefunden werden und zurückbleiben. Diese Trailer sorgen dann für eine ineffiziente Nutzung der meist knapp bemessenen Anzahl an Stellplätzen, was sich dann auch ungünstig auf Logistikprozesse auswirkt. [Eck08]

Zur Lokalisierung falsch abgestellter Trailer bzw. zur Erleichterung der Suche nach ihnen, können Systeme zur Positionsbestimmung Anwendung finden, die auf verschiedenen Verfahren und Technologien basieren.

2 ANFORDERUNGEN ZUR AUSWAHL VON VERFAHREN UND TECHNOLOGIEN ZUR POSITIONSBESTIMMUNG

Für die Bestimmung der Position eines Objektes existieren unterschiedliche Verfahren und Technologien, die folgende Anforderungen für eine Anwendung auf dem RoRo-Terminal gerecht werden müssen:

- Robustheit in Bezug auf Umwelteinflüsse
- Reichweite
- Auflösungsfähigkeit
- Implementierungsaufwand
- Kosten

Die Verfahren und Technologien müssen unter allen Witterungsbedingungen einsatzbereit sein. So muss die Position auch unter widrigen Bedingungen wie starkem Regenfall, Schnee und Hagel ermittelt werden können. Reichweiten von 100 Metern sollten Standard bei der Lokalisation sein. Da die unbegleiteten Trailer in der Regel nicht stapelfähig sind, wird bei der Betrachtung der Verfahren und Technologien auf die Ermittlung der Koordinaten in der Vertikalen verzichtet. Weiterhin müssen die Verfahren und Technologien über eine gute Auflösungs-

fähigkeit verfügen, damit die Position bei der Lokalisation hinreichend genau bestimmt werden kann. Aufgrund der Größe der Ladungsträger sind Genauigkeiten von ungefähr einem Meter ausreichend. Diese Genauigkeit ist abhängig von der Reichweite. Das Verfahren soll möglichst einfach zu implementieren sein. Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit soll das Verfahren möglichst kosteneffizient sein und dabei alle notwendigen Anforderungen erfüllen.

3 VERFAHREN ZUR POSITIONSBESTIMMUNG

Grundlegend ist zunächst die Unterscheidung, wo die Positionsinformation vorliegt. So bestimmt bei der Selbstlokalisierung das Objekt selbst seine Position. Die Informationen zum eigenen Standort können dann mittels Kommunikationstechnik weitergegeben werden. Ein Beispiel hierfür ist die Selbstlokalisierung per GPS, bei dem das Objekt die empfangenen Daten der Satelliten nutzt, um seine Position zu ermitteln. Bei der Fremddortung hingegen wird die Position des Objektes von außen bestimmt, indem das Objekt beispielsweise Signale aussendet, die genutzt werden, um es zu lokalisieren. [Röh15]

Im Folgenden werden grundlegende Verfahren der Positionsbestimmung diskutiert und hinsichtlich ihrer Eignung zur Lokalisation von Trailern auf dem RoRo-Terminal klassifiziert.

3.1 ODOMETRIE

Die Odometrie befasst sich mit der Errechnung der aktuellen Position und Orientierung aus den Daten des Vortriebsystems und der Ausgangsposition. [Hei04]

Die Anzahl der Radumdrehungen sowie der Lenkwinkel werden mittels Sensoren erfasst. Mit diesen Daten lassen sich der zurückgelegte Weg und die Richtung bestimmen. Somit wird unter Einbezug der Ausgangsposition eine Wegdifferenz zur Bestimmung der aktuellen Position berechnet. Die Odometrie wird auch als Koppeln bezeichnet und stellt mit dem Peilen zwei grundlegende Vorgänge bei der Lokalisierung und Navigation dar. Dabei wird unter Peilen die Nutzung von ortsfesten Punkten zur Lokalisierung und Navigation verstanden. Die Odometrie kommt in Kombination mit anderen Verfahren vermehrt bei der Navigation zum Einsatz, jedoch nicht bei der Lokalisation von Ladungsträgern. [Ulr11]

3.2 NACHBARSCHAFTSANALYSE

Dieses Verfahren nutzt die Nähe zu bestimmten Punkten oder beispielsweise Leitlinien aus, um die zu ermittelnde Position zu bestimmen. Die Nähe wird genutzt, um im jeweiligen Bezugssystem festzulegen, dass sich das zu lokalisierende Objekt näherungsweise am Ort des Bezugspunktes befindet. [Lem05]

Nach diesem Prinzip können einzelne Sensoren oder ganze Leitlinien im Fußboden verbaut werden. Durch physischen Kontakt oder beispielsweise induktive Sensoren können somit Objekte wahrgenommen und lokalisiert werden. [Ulr11]

Dementsprechend besteht die Möglichkeit, Stellplätze mit Sensoren auszustatten, welche Signale der an den Containern angebrachten Netzwerkknoten wahrnehmen. Weiterhin wird daran geforscht, Netzwerkknoten an den Kanten jedes Containers zu installieren, womit die Container ihre Nachbarcontainer wahrnehmen können. Im Umfeld großflächiger Containerterminals können somit die Daten aller Container kombiniert werden, um bei bekannter Position eines Containers die Positionen aller anderen Ladeeinheiten zu errechnen. [Abb09]

3.3 SZENENANALYSE

Beim Verfahren der Scene Analysis analysiert das System mithilfe optischer oder akustischer Sensoren die vorhandene Szene. Diese wird dann mit datenbankinternen Musterszenen oder Objekten in der Objektdatenbank verglichen. Durch den Abgleich und das Erkennen bestimmter Objekte und Musterszenen, deren Positionen in der Datenbank hinterlegt sind, kann direkt auf die eigene Position geschlossen werden. So können beispielsweise die Geometrie des Geländes oder markanter Betriebseinheiten genutzt werden, um sich durch Abgleich mit der internen Datenbank zu orientieren. Im Bereich der Scene Analysis wird in Objekt Matching und Fingerprinting unterschieden. Beim Objekt Matching werden bestimmte Objekte wie zum Beispiel Türen wiedererkannt, anhand derer sich die Position ermitteln lässt. Beim Fingerprinting wird die gemessene Signalstärke wie beispielsweise die eines Ultraschallsensors oder Laserscanners mit einer Landkarte abgeglichen. Anhand errechneter geometrischer Eigenschaften lässt sich ein Abgleich erzielen, der Rückschlüsse auf die eigene Position zulässt. Im Rahmen der Lokalisation von Ladeeinheiten findet dieses Verfahren jedoch wenig Anwendung. [Lem05]

3.4 GEOMETRISCHE ANALYSE

Bei der Geometrischen Analyse werden Abstandsinformationen oder Winkelbeziehungen zu bekannten Landmarken genutzt, um die Position zu ermitteln. Um das zu ermöglichen, wird zur Distanzermittlung entweder die Laufzeit oder die Signalstärke gemessen und in den Weg umgerechnet. Bei der Distanzmessung über die Signalstärke wird die Distanz unter Einbezug der Freiraumdämpfung über das logarithmische Distanzverlustmodell ermittelt. Die Freiraumdämpfung gibt an, dass die Signalstärke mit der Distanz zum Sender quadratisch abnimmt. Die gängigsten Verfahren bei der geometrischen Analyse sind die Lateration sowie die Angulation. [Röh15]

Die Lateration ist ein Verfahren zur Positionsbestimmung eines Punktes im Raum. Mit ihr werden die

Entfernungen zu bekannten Bezugspunkten bestimmt. Unter Nutzung der Positionen der Bezugspunkte lässt sich der Standort des zu lokalisierenden Objektes bestimmen. [Lem05] Sofern ein Bezugspunkt eingesetzt wird, kann bei Bestimmung der Entfernung zum Objekt der Standort auf einen Kreis in der Ebene eingegrenzt werden. Bei zwei bekannten Bezugspunkten in der Ebene kann der Standort auf die Schnittpunkte beider Kreise eingegrenzt werden. Bei der Verwendung von drei Bezugspunkten ist eine eindeutige Bestimmung der Position im Raum möglich. Dementsprechend wird bei dem Verfahren der Lateration zumeist von Trilateration gesprochen. Sofern mehr als drei Strecken zur Ermittlung der Position zur Verfügung stehen, bezeichnet man dies als Multilateration. Unter Einsatz verschiedener Filter lassen sich hierbei fehlerhafte Messgrößen optimal reduzieren. [Beh13] Vojdani et al. [VL18] stellen ein System zur intelligenten Überwachung mobiler Objekte in Seehäfen vor, welches auf Basis von Multilateration Objekte lokalisieren kann.

Bei der Angulation werden anders als bei der Lateration nicht die Entfernungen, sondern die Winkel zwischen den verschiedenen Bezugspunkten und dem zu lokalisierenden Objekt gemessen. Vergleichbar mit der Lateration lässt sich unter Einbezug der bekannten Positionen über trigonometrische Funktionen der gesuchte Standort ermitteln. Im zweidimensionalen Raum kann mittels zwei bekannten Punkten, deren Abstand zueinander und den Winkeln zu einem beliebigen Punkt dessen Position eindeutig bestimmt werden. [Frö16]

Die Verfahren der geometrischen Analyse zählen zu den gängigsten im Bereich der Positionsbestimmung mittels Funktechnologien. Sie eignen sich ideal, um an Ladesträgern angebrachte Sender von außen zu lokalisieren. [Ulr11]

4 TECHNOLOGIEN ZUR POSITIONSBESTIMMUNG

Die gängigsten Technologien im Rahmen der Geometrischen Analyse werden nachfolgend vorgestellt. Sie werden anhand der eingangs betrachteten Anforderungen beleuchtet und nachfolgend miteinander verglichen.

4.1 GPS

Das Global Positioning System ist ein weltweit verfügbares Satellitennavigationssystem, das die Lokalisation verschiedenster Objekte erlaubt. Codierte Radiosignale werden von Satelliten fortwährend ausgesendet und können von Empfängern gemessen und verarbeitet werden. Die Satelliten senden ihre aktuelle Position und die genaue Uhrzeit, womit es den Empfängern möglich ist, mittels Trilateration beziehungsweise Multilateration ihre Position zu bestimmen. Dabei ist die Zeit die kritischste Einheit bei der Berechnung der Position. Aufgrund dessen ist jeder Satellit mit einer Atomuhr ausgestattet. Die GPS Empfänger haben in der Praxis jedoch keine ausreichend

genaue Uhr, um die Signallaufzeiten korrekt zu ermitteln. Dementsprechend werden Signale von mindestens vier Satelliten benötigt, um die Laufzeit des Empfängers durch den vierten Satelliten zu korrigieren. Somit können annähernd exakte Signallaufzeiten der drei anderen Satelliten berechnet und mittels Trilateration zur Positionsbestimmung genutzt werden. Ohne Korrektursignale ortsfester Referenzstationen sind somit Genauigkeiten von bis zu fünf Meter erreichbar. Durch Referenzsignale stationärer Antennen kann die Genauigkeit auf unter fünf Meter verbessert werden. Weiterhin kann durch die Bestimmung der Phasenverschiebung der Trägerwelle im kostenintensiveren Verfahren des Differential Global Positioning Systems die Präzision auf unter 100 mm gesteigert werden. [Ove06]

Wasserdichte und robuste GPS Tracker für Container, welche autark agieren, sind in verschiedenen Ausführungen erhältlich. Um Genauigkeiten von 0,4 m - 1 m zu erreichen, sind hochgenauen GPS Korrekturdaten per Abonnement von einem kostenpflichtigen Referenzierungsdienst beziehbar. Weiterhin besteht die Möglichkeit eine Referenzstation einzusetzen. Zudem ist zu beachten, dass schlechtes Wetter den Empfang und somit die Genauigkeit beeinträchtigen kann. [Mau07]

4.2 UWB

Beim Ultra-Wideband Verfahren werden Laufzeiten gemessen und mittels Trilateration von mindestens drei Empfängern zur Positionsbestimmung genutzt. Notwendig ist bei diesem Verfahren der Sichtkontakt zwischen Sender und Empfänger. Objekte deren Positionen bestimmt werden sollen, werden mit einem Tag versehen und senden Daten an Locator Nodes, welche in die Infrastruktur integriert sind. Durch die Kombination von mindestens drei Locator Nodes kann sich daraufhin die Position genau bestimmen lassen. Ultra-Wideband ist eine Nahfunktechnik, die Positionsgenauigkeiten von ungefähr zehn Zentimetern erlaubt. Weiterhin arbeitet sie außerhalb der Consumer-Standards WLAN und Bluetooth und übersteigt deren Genauigkeiten. Es werden Reichweiten von bis zu 150m erreicht. Außerdem können mit dieser Technologie auch Höhenunterschiede sehr genau ermittelt werden. Das bietet im Lagerbereich große Vorteile bei der Lokalisation von Waren in Regalen. [Don17]

4.3 RFID

Radio-Frequency-Identification ist eine Technologie, die Funkwellen zur drahtlosen Übertragung der Identität eines getaggten Elements überträgt. Ein RFID System besteht aus einem Lesegerät, sowie aus einem Transponder, der Informationen von dem Objekt, an dem dieser angebracht ist, aussendet. [Ker11]

Die Transponder können an verschiedensten Objekten angebracht werden. Die RFID-Tags können sowohl aktiv mit eigener Energiequelle als auch passiv ohne eige-

ne Stromversorgung ausgelegt werden. Beim passiven Sensor wird zum Auslesen vom Lesegerät ein elektromagnetisches Feld aufgebaut, welches den Transponder aktiviert und die Informationen übermittelt. Passive Sensoren weisen jedoch nur eine geringe Reichweite von weniger als einem Meter auf, weshalb sie grundlegend für punktuelle Ortungen eingesetzt werden. Die Technologie ist wartungsfreundlich und kostengünstig und wird dementsprechend vermehrt bei Lösungen mit einer großen Anzahl von Tags, vor allem im Lagerbereich, genutzt. Aktive Transponder hingegen können über Reichweiten von bis zu 100m Daten übertragen und erlauben auch die Integration größerer Speicherplätze. Das Antastfeld breitet sich hierbei nicht sphärisch aus, sondern erlaubt je nach Antennenart eine zielweisende Ausrichtung. Über einen Transponder mit stationärem Leser kann mittels Erfassung über vier Antennen durch die Feldstärkenauswertung eine überschlägige Lokalisation vorgenommen werden. [Don17]

Zudem existieren Ansätze zu Systemen die auf Portalen im RoRo-Terminals basieren. Diese können die Fahrzeuge auf dem Terminal, welche mit RFID-Tags ausgestattet sind, identifizieren. Um eine großflächige Verfolgung der Fahrzeuge zu gewährleisten, wird bei diesem Ansatz in jedem Bereich des Terminals ein Portal eingefügt. Diese Vorgehensweise soll zu mehr Transparenz, bei der Überwachung betrieblicher Abläufe, führen. [Bou19]

Die Kosten von RFID-Systemen sind stark davon abhängig, ob aktive oder passive Tags benutzt werden. Weitere Kosten fallen für die Lesegeräte, Antennen, Controller und Software an. Je nach Vorgehensweise können somit sehr hohe Kosten entstehen. [Fin15]

4.4 BLUETOOTH

Bluetooth ist ein Industriestandard zur Datenübertragung durch Funktechnik. Mit sogenannten Beacons können Positionen verschiedener Objekte errechnet werden. Beacons sind typischerweise Sender, die es dem Empfänger wie beispielsweise mobilen Endgeräten ermöglichen, über Trilateration die eigene Position abhängig von den Positionen der Beacons zu bestimmen. Die Genauigkeiten liegen hierbei bei ein bis zwei Metern im Umkreis von 30 Metern. Bei größeren Entfernungen nimmt die Genauigkeit signalstärkenbedingt ab. Auch eine serverseitige Anwendung, bei der ein mobiler Beacons seine Daten an Locator Nodes oder mobile Endgeräte sendet, ist einsetzbar. Zur Abstandsbestimmung wird die Signalstärke ermittelt und in Weglänge umgerechnet. Die Technologie zeichnet sich durch ihre Flexibilität und Einfachheit aus. So können Beacons über Batterien zum Teil über Jahre betrieben werden. Mit den Beacons lassen sich Reichweiten von ca. 100 Metern erreichen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Beacons mit mobilen Endgeräten identifiziert werden können. Ein mobiles Gerät kann somit aus unter-

schiedlichen Punkten Verbindung mit dem Beacons aufbauen. [Don17]

Die Position eines bluetooth-fähigen mobilen Gerätes, z.B. Smartphone, kann über GPS ermittelt werden. Somit kann beispielsweise über Trilateration oder Multilateration die Position eines Beacons an einem Ladungsträger ermittelt werden. Im Rahmen der Lokalisierung von Ladungsträgern auf einem RoRo-Terminal durch die Tugmaster, wird es den Ansprüchen gerecht, den Ladungsträger aus großer Entfernung zu lokalisieren und kontinuierlich immer genauer zu werden, bis der Ladungsträger ab einer Entfernung von 30m in der Theorie auf den Meter genau bestimmt werden kann. Jedoch müssen Abweichungen ausgehend von der Genauigkeit der Lokalisation mittels GPS mit einberechnet werden.

Dementsprechend kann es in der Praxis einfacher und präziser sein, zusätzlich stationäre Empfänger zu verwenden, die auf dem Gelände verteilt sind. Weiterhin muss beachtet werden, dass große Objekte wie andere Ladungsträger die Signalstärke und somit auch die Genauigkeit und Reichweite beeinflussen können. Wasserfeste Bluetooth Beacons mit Reichweiten von bis zu 100 Metern sind in vielfältigen Ausführungen erhältlich. Weiterhin müssen die Kosten Für die Software mit einbezogen werden. [Don17]

4.5 VERGLEICH DER TECHNOLOGIEN

Die Nachfolgende Tabelle zeigt den Grad der Erfüllung der Anforderungen in Bezug auf den Anwendungsfall, der Lokalisation von Ladungseinheiten auf einem RoRo-Terminal.

Technologie \ Anforderungen	DGPS	RFID	UWB	Bluetooth
Reichweite				
Auflösungsfähigkeit				
Robustheit				
Implementierungsaufwand				
Kosten				

Abbildung 1. Vergleich der Technologien

Das DGPS System bietet eine sehr große Reichweite und eine sehr gute Genauigkeit. Weiterhin ist die Robustheit gegen Umwelteinflüsse gemessen an den Anforderungen ausreichend gut. Zudem ist der Implementierungsaufwand bei der Einführung von GPS Trackern vergleichsweise gering. Demgegenüber sind die Kosten im Vergleich zur Nutzung von Bluetooth-Beacons oder RFID Tags hoch. [Mau07], [Fin15]

Das UWB Verfahren ist die Technologie, die eine hochgenaue Entfernungsmessung auch bei großen Reichweiten erlaubt. Jedoch ist diese Technologie im Vergleich zu Bluetooth-Systemen deutlich kostenintensiver. Zudem ist zu beachten, dass die Informationen nur mit zusätzlicher Hardware an Consumer Endgeräte weitergegeben

werden können und dementsprechend der Implementierungsaufwand steigt. Die Technologie wird aufgrund ihrer Störanfälligkeit hauptsächlich in Innenräumen, wie Lagerhallen genutzt. Demzufolge gestaltet sich eine Outdoor-Anwendung im Umfeld eines RoRo-Terminals als schwierig. [Don17]

Die Lokalisation über RFID Tags findet vor allem bei Navigation in automatisierten Containerterminals Anwendung, jedoch wäre die Einführung auf einem RoRo-Terminal mit hohen Kosten sowie einem hohen Implementierungsaufwand verbunden. Gleichzeitig sind die Genauigkeit und die Reichweite bezogen auf die Anforderungen je nach Implementierung der Technologie nicht besser als die der anderen Verfahren. Wird eine Umset-

zung mittels aktiven RFID Tags mit einer Reichweite von ca. 100m angestrebt, bei der die Ladungseinheiten aus der Entfernung identifiziert werden sollen, fallen für das ganze System hohe Kosten an, die es gegenüber einer Lösung mit Bluetooth-Beacons unwirtschaftlich machen.

Beim Vergleich der verschiedenen Technologien im Funkbereich wird deutlich, dass die Bluetooth-Beacons eine der erfolgversprechendsten Lösungen darstellen. Sie bieten eine ausreichende Reichweite und Genauigkeit bei gleichzeitig geringsten Kosten sowie einem moderaten Implementierungsaufwand.

Beispielsweise sollen die Bluetooth-Beacons zur Lokalisierung an den Trailern angebracht werden. Dementsprechend werden die Ladungseinheiten beim Betreten des Terminals mit einer Lokalisationseinheit versehen, welche beim Verlassen des Terminals wieder entfernt wird. Bei der Lokalisation der Trailer können entweder feste Referenzpunkte oder mobile Einheiten, wie zum Beispiel an den Tugmastern angebrachte Endgeräte, zum Einsatz kommen. Umherfahrend können diese Trailer identifizieren und falsch positionierte unbegleitete Trailer auffindig machen. Weiterhin könnten die Daten aller umherfahrenden Einheiten, die einen Empfänger besitzen, kombiniert werden, um sie in ein Hafeninformativsystem einzupflegen und somit den Stauereiu nternehmen zugänglich zu machen.

5 FAZIT

Beim Vergleich verschiedener Lokalisationsmethoden und Technologien innerhalb des betrachteten Anwendungsfeldes hat sich herausgestellt, dass die Bluetooth-Technologie im Rahmen der Geometrischen Analyse die kostengünstigste Lösung ist, die den Anforderungen zu großen Teilen gerecht wird. Die mit mobilen Endgeräten ausgestatteten Tugmaster können die Trailer identifizieren und somit Zeit bei der Suche nach falsch positionierten Trailern sparen. Demgegenüber können je nach Fläche des Terminals und geplanter zukünftiger Projekte im Rahmen der Automatisierung auch andere Konzepte erwogen werden.

LITERATUR

- [Abb09] Abbate, Stefano; Avventuti, Marco: *Localization of Shipping Containers in Port and Terminals Using Wireless Sensor Networks*. Universita di Pisa, 2009
- [Beh13] Behnke, Ralf: *Effiziente Algorithmen der Positionsbestimmung und positionsbasierte Kontextgewinnung zur Selbstorganisation in drahtlosen Sensornetzwerken*. Universität Rostock,

Fakultät für Informatik und Elektrotechnik, 2013

- [Bou19] Boulmakoul, Azedine; et. al.: *A scalable real-time tracing and monitoring architecture for logistics and transport in RoRo terminals*. [The 10th International Conference of Ambient Systems, Networks and technologies (ANT)], Belgium, 2019
- [Don17] Donaubaue r, Tobias: Ortungstechniken im Vergleich. <https://www.industry-of-things.de/indoor-positionsbestimmung-ortungstechniken-im-vergleich-a-632311/>.2017. Abrufdatum: 14.01.2019
- [Eck08] Eckert, Carsten; et. al.: *Bausteinbasierte Simulation logistischer Prozesse in RoRo-Terminals*. Stuttgart: Verlag Fraunhofer IRB, 2008
- [Fin15] Finkenzeller, Klaus: *RFID Handbuch - Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC*. Carl Hanser Verlag. 2015. - ISBN 978-3-446-43943-6
- [Frö16] Fröling, Frederik.: *Indoor Positioning Systeme in der Logistik*. Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Salzgitter, 2016
- [Hei04] Heine, Matthias; et al.: *Lokalisierung*. Erlangen, 2004
- [Ker11] Kern, Christian: *RFID für Bibliotheken*. Heidelberg, 2011. - ISBN 978-3-642-05394-8
- [Lem05] Lemelson, H.: *In- und Outdoor Positionierungssysteme*. Universität Mannheim, Lehrstuhl für Praktische Informatik, 2005
- [Mau07] Mauro, David: http://www.alpentunnel.de/30_Vermessung/40_GPS/frame_vermessung_gps.htm. 2007 Abrufdatum: 14.01.2019
- [Ove06] Overmeyer, Ludger; et al.: *Aufbau von Fahrerlosen Transportsystemen durch eine dezentrale Datenstruktur*. Leibnitz Universität Hannover, Institut für Transport- und Automatisierungstechnik, 2006
- [Röh15] Röhrig, Christof; et. al.: *Anwendung von Real Time Locating Systems*

(RTLS) in der Sicherungstechnik - Verfahren und Technologien von Bluetooth Low Energy (BLE) bis Ultra Wide Band. [Tagesband Innosecure 2015], FH Dortmund, 2015

- [Ulr11] Ullrich, Günter: *Fahrerlose Transportsysteme Eine Fibel - mit Praxisanwendungen - zur Technik - für die Planung.* Wiesbaden, 2011. -ISBN 978-3-8348-2591-9
- [VL18] Vojdani, N., Lück, T.: *Intelligente Überwachung mobiler Objekte in Seehäfen.* Internationales Verkehrswesen, 70(1), 2018.

Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani, Head of the Chair of Production Organisation and Logistics, University of Rostock.

Björn Erichsen, M.Sc., Research assistant at the Chair of Production Organisation and Logistics, University of Rostock.

Patrick Mönk, B.Sc., Student assistant at the Chair of Production Organisation and Logistics, University of Rostock.

Adresse: Lehrstuhl Produktionsorganisation und Logistik, Universität Rostock, Richard-Wagner-Str. 31, 18119 Rostock, Deutschland, Tel: +49 381 498-9250, Fax: +49 381 498-9252, E-Mail: lpl@uni-rostock.de