

Evaluierung der Lokalisierung von FTF durch roboter- gestützte RFID-Tests für einen Betrieb in unterschiedlichen Sicherheitsbereichen

Evaluation of the localization of AGVs by robot aided RFID testing for operation
in different safety areas

Lennart Rolfs¹
Reyan Korel Erben¹
Lorenzo Chierago²
Andreas Hoell³
Michael Freitag^{1,4}

¹BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH

²Fives Intralogistics S.p.a.

³Sick AG

⁴Universität Bremen, Fachbereich Produktionstechnik

Für den flexiblen Einsatz von fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) bietet sich die Nutzung in unterschiedlichen Sicherheitsbereichen mit entsprechend aktivierter Sicherheitstechnik an. Aktuell operieren FTF nur in einem Bereich für den sie entsprechend ausgerüstet sind. Für die Umschaltung der Sicherheitstechnik zwischen unterschiedlichen Sicherheitsbereichen muss eine nach Maschinenrichtlinien sichere Lokalisierung der Fahrzeuge erfolgen. Es wird getestet, ob RFID Technik für eine „Point of Interest“-Lokalisierung als zusätzlicher Kanal der Lokalisierung zuverlässig eingesetzt werden kann. Dafür werden „on-metal“ RFID Tags von einem Leichtbauroboter vor einem RFID Reader positioniert und die Distanz und Rotation variiert. Es werden zudem die Faktoren Trägerplattenmaterial, -stärke, -breite und Erdung der Trägerplatte betrachtet. Es konnte ein Einfluss der Trägerplattenbreite auf die Lesbarkeit der Tags festgestellt werden. Für Kombinationen aus Distanz und Rotation, die für den Einsatz der Lokalisierung von FTF zu erwarten sind, konnte die zuverlässige Lesbarkeit nachgewiesen werden. Der Einsatz von RFID eignet sich für die „Point of Interest“-Lokalisierung als zusätzlicher Kanal für ein sicheres Umschalten zwischen Sicherheitsbereichen.

[Schlüsselwörter: FTF, RFID, Technologietest, Lokalisierung]

The flexible use of automated guided vehicles (AGVs) lends itself to their use in different safety areas with appropriately activated safety technology. Currently, AGVs only operate in one area for which they are appropriately equipped. In order to switch the safety technology between different safety areas, the vehicles must be safely

localized in accordance with machine guidelines. Tests are being conducted to determine whether RFID technology can be reliably used for point of interest localization as an additional localization channel. For this purpose, on-metal RFID tags are positioned by a lightweight robot in front of an RFID reader and the distance and rotation are varied. Factors such as carrier plate material, thickness, width and grounding of the carrier plate are also considered. An influence of the carrier plate width on the readability of the tags could be determined. For combinations of distance and rotation, which are to be expected for the use of localization of AGVs, the reliable readability could be proven. The use of RFID is suitable for point of interest localization as a second channel for safe switching between safety areas.

[Keywords: AGV, RFID, technology testing, localization]

1 EINLEITUNG

Aufgrund steigender Absätze im E-Commerce ist der Durchsatz bei Paketzustelldiensten in den letzten Jahren stetig gewachsen [1], [2]. Um diesem Paketaufkommen zu begegnen, werden immer mehr Teile der Transportkette automatisiert. Dies sorgt für höheren Durchsatz bei niedrigen Gesamtkosten [3]. Ein grundlegender Bestandteil der Transportkette ist die Sortierung der Pakete nach Zielort [4]. Die Sortierung erfolgt dabei oft durch Sortieranlagen mit Förderbändern. Diese Methode bietet kaum Anpassungsmöglichkeiten, um auf variable Durchsätze durch Auftragspitzen zu reagieren. Die Sortierung kann jedoch auch mit Hilfe von fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) erfolgen. Dies bietet durch den kurzzeitigen Einsatz von zusätzlichen Fahrzeugen eine flexible Möglichkeit, auf Auftragspitzen

zu reagieren oder den Durchsatz insgesamt zu steigern [5]. Fahrerlose Transportfahrzeuge unterscheiden sich in vielen Eigenschaften wie Größe, Traglast, Antriebsart, Lastaufnahme etc. [6]. Um ein fahrerloses Transportsystem (FTS), das aus mehreren FTF und einer zentralen Steuerung besteht, möglichst flexibel erweitern zu können, ist die Art der Arbeitsbereiche, in denen die Fahrzeuge agieren können, entscheidend. Es gibt grundsätzlich zwei Arten von Arbeitsbereichen für den Betrieb von fahrerlosen Transportfahrzeugen:

- Koexistenz: FTF, die mit geringer Geschwindigkeit in denselben Bereichen wie Menschen arbeiten
- Sicherheitsbereich: FTF, die mit hoher Geschwindigkeit in abgegrenzten Bereichen ohne Menschen arbeiten

Bei der Koexistenz arbeiten die FTF im gleichen Bereich wie Menschen oder andere Flurförderfahrzeuge. Um die Sicherheitsvorgaben zu erfüllen, arbeiten sie mit geringer Geschwindigkeit und sind mit Sicherheitsscannern ausgestattet, mit denen die Umgebung erfasst wird. [7]

Arbeiten FTF in einem gesonderten Sicherheitsbereich ist dieser durch einen Zaun bzw. Türen oder Lichtvorhänge von den Bereichen in denen Menschen arbeiten getrennt. In diesem Bereich können die FTF mit höherer Geschwindigkeit arbeiten und keine zusätzlichen Sicherheitseinrichtungen aufweisen. [7]

Bisher nutzen FTF jeweils nur einen Arbeitsbereich. Um die jeweiligen Vorteile beider Betriebsarten zu kombinieren, muss eine sichere Lokalisierung der FTF in den Sicherheitsbereichen realisiert werden, damit zwischen den Betriebsarten umgeschaltet werden kann und die entsprechenden Sicherheitsvorrichtungen aktiviert werden. Dafür sind anwendungsspezifisch geeignete Technologien auszuwählen, hinsichtlich der Anforderungen zu testen und anschließend zu implementieren. In diesem Paper wird auf den Einsatz von RFID Technologie und dafür erforderliche Tests eingegangen. Dafür wird im zweiten Kapitel der Einsatz von RFID zur Lokalisierung erläutert und welche Anforderungen sich daraus für ein RFID System ergeben. Im dritten Kapitel wird der robotergestützte Testaufbau beschrieben und in Kapitel vier ausgewertet. Abschließend werden im fünften Kapitel die Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick auf weitere Anwendungen und mögliche Anpassung der Tests gegeben.

2 AUSGANGSSITUATION

Das betrachtete fahrerlose Transportsystem (FTS) wird zum Sortieren von Paketen eingesetzt. Bisher agiert es dabei ausschließlich in umzäunter Umgebung ohne Menschen. Für den Sortierprozess sind auf den Fahrzeugen Förderbänder montiert. An Zuführungsstationen können

Pakete auf die Fahrzeuge platziert werden. Dies kann automatisch durch Fördertechnik oder manuell geschehen. Die Pakete werden dabei gescannt und ihre Zielregion, nach der sortiert wird, registriert. Das FTF transportiert das Paket zu einer der Zielregion entsprechenden Transportbox in die es entladen wird. [5]

Da die Transportboxen für die Entnahme während des laufenden Betriebs nur an den Rändern der befahrenen Strecke platziert werden können, skaliert die benötigte Fläche für das gesamte System mit steigender Anzahl an Transportboxen überproportional.

Um die Transportboxen freier positionieren und die Fahrwege optimiert anlegen zu können, muss ein zusätzlicher sicherer Betriebszustand für die FTF entwickelt werden in dem es in einem Bereich wie Menschen agieren kann. Dieser zeichnet sich durch geringere Geschwindigkeit und den Einsatz von Umfelderkennung aus. Dieser Betriebszustand wird in vielen anderen Systemen bereits verwendet [8], [9].

Für einen sicheren Betrieb muss die Umschaltung der Betriebszustände sicherheitsgerichtet erfolgen. Dafür ist eine entsprechend nach Maschinenrichtlinien sichere Lokalisierung in die jeweiligen Sicherheitsbereiche notwendig (EN ISO 13849:2015 und EN 62061).

Das in diesem Szenario betrachtete FTS verfügt bereits über eine Lokalisierung der Fahrzeuge, die auf Encodern zur Erfassung der Fahrbewegung und künstlichen Markern (Data Matrix) am Boden basiert. Beim Einschalten erkennen die Fahrzeuge ihre Position anhand von Data Matrix Codes auf dem Boden. Die Positionen der Marker sind bekannt. Durch das Scannen der Marker kann sowohl die X-/Y-Koordinate als auch die Rotation dazu bestimmt werden. Ausgehend von der Startposition wird durch die durch Encoder ermittelte Fahrbewegung während der Fahrt die geänderte Position bestimmt. Bei dieser Methode entsteht mit zunehmend zurückgelegter Strecke ein Fehler in der bestimmten Position, der durch erneutes Scannen von Markern korrigiert wird.

Diese Lokalisierung ist so präzise, dass während der Fahrt Pakete durch ein Förderband auf die FTF platziert werden und diese in die entsprechenden Zielbox entladen werden können. Für eine sichere Lokalisierung wird jedoch nach Maschinenrichtlinien ein zweiter Kanal benötigt, der im Falle einer falschen Lokalisierung des ersten Kanals einen Sicherheitsstopp auslösen kann. Da keine zentimetergenaue Lokalisierung, sondern lediglich eine Zuordnung zu einem Bereich notwendig ist, kann dafür eine „Point of Interest“-Lokalisierung mit RFID genutzt werden. An den FTF werden RFID Reader mit Antenne installiert, die Tags am Rand der Strecke detektieren. Die Positionen der Tags sind bekannt, so kann durch eine Lesung eines Tags überprüft werden, dass sich das Fahrzeug an der erwarteten Position befindet. Die Tags werden an den Übergängen zwischen den Bereichen und zusätzlich an Check-Points im

umzäunten Bereich montiert. Damit die Tags an bestehender Infrastruktur (z. B. Zäune, Beladestationen) montiert werden können, werden robuste „on-metal“ Tags eingesetzt. Es muss der maximale Abstand und Winkel zwischen Antennen und Tags bestimmt werden, bei dem bei unterschiedlichen Montageuntergrund des Tags ein Auslesen des Tags durchgeführt werden kann. Da die FTF mit geringem Abstand an den Tags vorbeifahren und es in Kurven zu einem Winkel zwischen Reader und Tag kommen kann.

3 TESTAUFBAU

Damit eine Vielzahl an Tests unter gleichen Bedingungen durchgeführt werden kann, wird für die Positionierung des Tags vor dem Reader ein Leichtbauroboter verwendet (Abbildung 1).



Abbildung 1. Versuchsaufbau: RFID Tag auf Trägerplatte wird von Leichtbauroboter vor RFID Reader positioniert

Die Wiederholgenauigkeit der Position beträgt so $\pm 0,03$ mm [10]. Zudem ist eine schnelle Veränderung der Position möglich, um in kurzer Zeit möglichst viele Messwerte aufnehmen zu können. Die „on-metal“ RFID Tags wurden auf Trägerplatten unterschiedlicher Breite und Materialstärke aus unterschiedlichem Material montiert (Abbildung 2).

Für die Tests wurden

- „on-metal“, UHF, RFID Hardtags aus Kunststoff
- „Short-Range“ UHF RFID Reader mit integrierter Antenne

verwendet.

Folgend sind die variierten Faktoren aufgeführt:

- Trägerplattenmaterial [Edelstahl (1.4301 – X5CrNi18 10), Aluminium (AlMg3)]
- Materialstärke der Trägerplatte [1,0 mm, 1,5 mm, 2,0 mm]
- Breite der Trägerplatte [30 mm, 50 mm, 130 mm, 210 mm]

- Distanz zwischen Reader und Tag [100 mm bis 800 mm in 100 mm Schritten]
- Winkel zwischen Reader und Tag [-100° bis 100° in 10° Schritten]

Es wurde ein vollfaktorieller Versuchsplan mit allen 4.032 Kombinationen durchgeführt. Zusätzlich wurden Messungen mit einem um 90° gedrehtem (horizontal eingespannt) Tag und eine Messung mit geerdeter Trägerplatte vorgenommen. Insgesamt wurden ca. 6.000 Messungen aufgenommen.

Um die Qualität der Messung zu bestimmen, wurde der RSSI (received signal strength indicator), der die Empfangsfeldstärke an der RFID Antenne wiedergibt, als Dämpfung in -dB gemessen. Es wurde ein Robotersteuerungsprogramm geschrieben, das den Roboter nacheinander die Positionen von Winkel und Distanz zum Reader abfahren lässt. An den Positionen wird die Bewegung kurz für eine Messung unterbrochen. Die angefahrenen Positionen werden in Abständen von einer Sekunde erreicht. Der RFID Reader ist so eingestellt, dass jede Sekunde eine Messung durchgeführt wird. Der Roboter und der RFID Reader werden zeitgleich gestartet. Für eine neue Messreihe wird ein Tag auf einer neuen Trägerplatte in den Robotergreifer eingespannt.



Abbildung 2. RFID Tags auf Trägerplatten

Die Tests wurden in einer ungeschirmten industrieähnlichen Umgebung durchgeführt. Typisch vorkommende Funkfrequenzen können einen Einfluss auf die Messungen gehabt haben, diese könnten im Einsatz jedoch genauso auftreten.

4 AUSWERTUNG

Die gemessenen RSSI Werte wurden für jeden Test in eine Tabelle nach Winkel und Distanz zum Reader überführt. Für eine bessere Übersicht wurden die Werte eingefärbt, um schnell die Bereiche mit hohen Empfangsfeldstärken identifizieren zu können. Die höchste Empfangsfeldstärke wurde mit -51 dB gemessen. Die geringste noch gemessene Empfangsfeldstärke lag bei -75 dB. Bei nicht erfolgter Messung wurde der Wert auf -80 dB gesetzt, um bei der Einfärbung miteinbezogen zu werden (siehe Abbildung 3). Bei Differenzbildung zwischen zwei

Messungen wurden diese Werte entsprechend gefiltert, um kenntlich zu machen, dass nur bei einer Messung eine Lesung erfolgte.

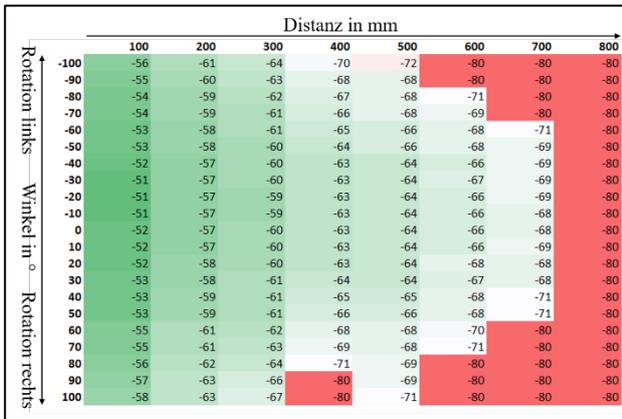


Abbildung 3. Beispielergebnisse einer Messreihe

Bei einem Referenztest, bei dem zwei Messreihen mit den gleichen Faktoren durchgeführt wurden, konnte festgestellt werden, dass leichte Abweichungen von ± 2 dB nicht systematisch auf die Positionen verteilt auftreten können. Da die Auflösung bei 1 dB und die Abweichung bei ± 2 dB liegt, wurde keine Varianz und Mittelwert der Streuung bestimmt. Bei einem Vergleich der Messungen sind solche Differenzen als Messungenauigkeit zu vernachlässigen.

Ebenso wurde eine Testreihe mit einer geerdeten Trägerplatte durchgeführt, um eventuelle Einflüsse zu ermitteln.

Die Differenzen zum Vergleichstest mit nicht geerdeter Trägerplatte sind im Rahmen der Messungenauigkeit. Es gibt demnach keinen Einfluss durch die Erdung der Trägerplatte. Die anderen Messungen wurden mit ungeerdeter Trägerplatte durchgeführt.

4.1 HORIZONTALE UND VERTIKALE TAGS

Durch die Einfärbung der Werte lassen sich bereits Tendenzen in deren Entwicklung erkennen. In Abbildung 4 werden die Werte von 1 mm starken Edelstahl Trägerplatten vertikal und horizontal eingespannt dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, dass die Lesereichweite bei einem vertikal eingespannten Tag deutlich besser als bei einem horizontal eingespannten Tag ist. Es können zudem auch bei größerer Rotation noch vertikal eingespannte Tags ausgelesen werden. In Abbildung 4 sind in der unteren Zeile die Bereiche, in denen die vertikal eingespannten Tags besser (größerer RSSI) oder nur diese ausgelesen werden können, rot markiert.

Beim einer horizontalen Drehung wird die Dipolantenne des Tags aus dem Sendefeld der Antenne des Readers ausgelenkt. Dadurch ist ein Lesen des Tags nicht möglich. Die Messungen zur Bestimmung der Einflüsse der anderen

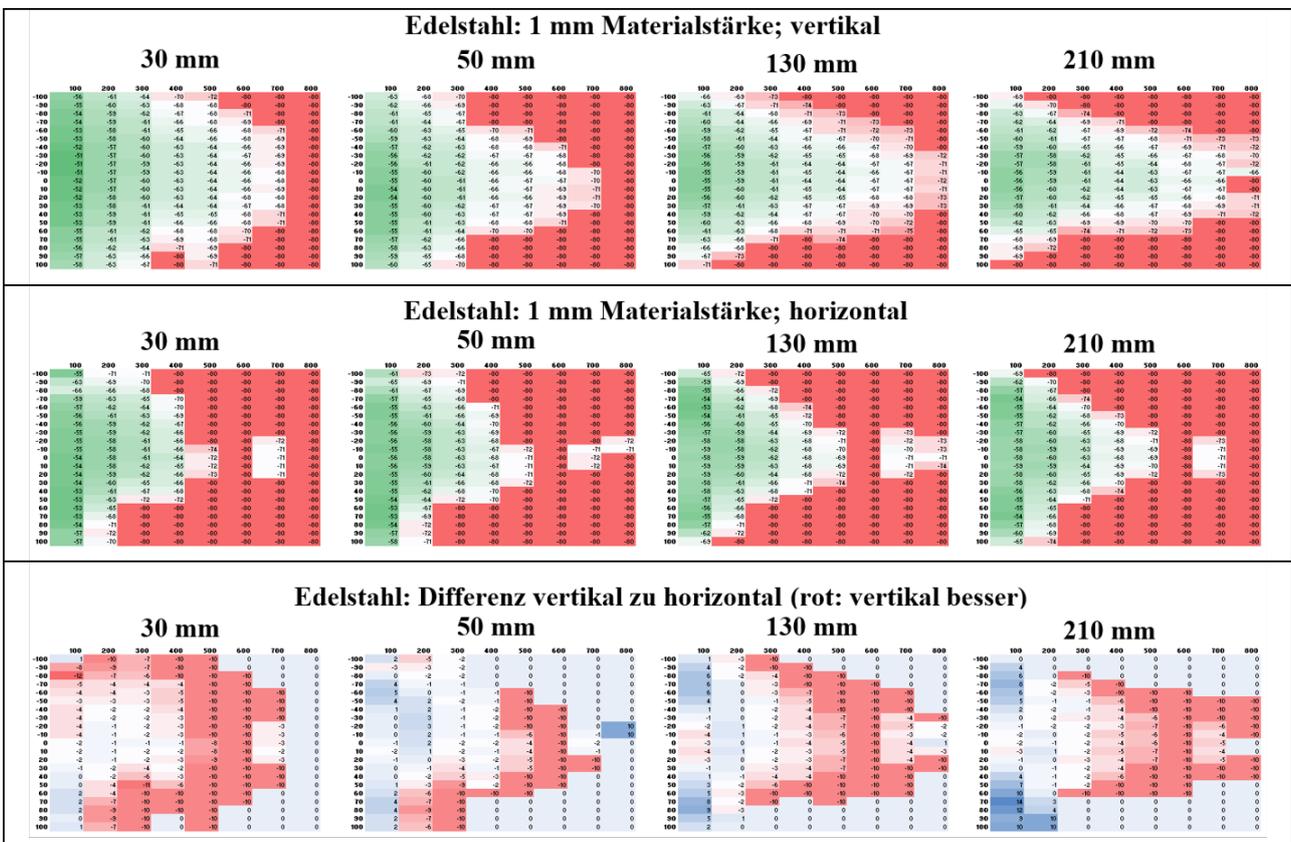


Abbildung 4. Messreihen mit horizontalen und vertikalen Tags

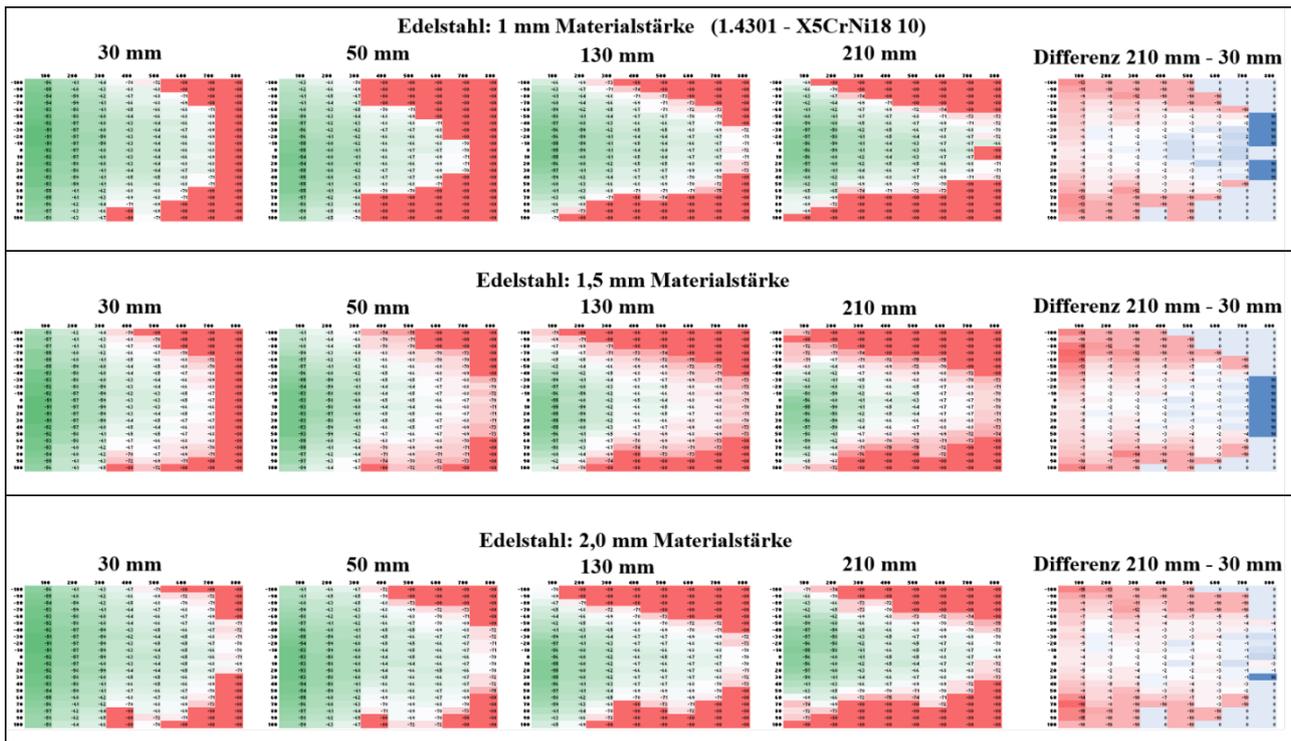


Abbildung 5. Messreihen mit variierender Trägerplattenbreite

Faktoren wurden deshalb nur mit vertikal eingespanntem Tag durchgeführt.

4.2 BREITE DER TRÄGERPLATTE

Beim Vergleich der unterschiedlichen Breiten der Trägerplatten lässt sich in Abbildung 5 sehen, dass sich mit breiteren Trägerplatten an Positionen mit größerer Rotation der Tag nicht mehr auslesen lässt. Dieses Verhalten lässt sich bei Aluminium Trägerplatten ebenfalls beobachten. Der Vergleich durch Differenzbildung zwischen den Werten von 30 mm Breite und 210 mm Breite bestätigt dieses Verhalten. Rot markierte Bereiche bei der Differenzbildung (Abbildung 5 rechte Spalte) beschreiben Positionen an denen der Tag mit 30 mm breiter Trägerplatte besser oder nur dieser ausgelesen werden konnte.

Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die breitere Trägerplatte bei größerer Rotation den Tag abschirmt bzw. zu viel Energie reflektiert. Bei geringer Rotation hingegen kann durch die breitere Trägerplatte Energie zum Tag reflektiert und eine höhere Lesereichweite erzielt werden.

4.3 MATERIALSTÄRKE DER TRÄGERPLATTE

Wird die Materialstärke der Trägerplatte betrachtet, lassen sich kaum Unterschiede zwischen den getesteten Materialstärken feststellen. In Abbildung 6 sind die Differenzen zwischen den getesteten Aluminium Trägerplatten in Bezug auf die Materialstärke dargestellt. Es lassen sich hauptsächlich in der Rotation Unterschiede erkennen. Diese

sind jedoch nicht konsistent. In den Randbereichen sind im direkten Vergleich teilweise nur noch Tags mit Trägerplatten der einen Materialstärke zu lesen (Abbildung 6 untere Zeile 210 mm). Hierbei handelt es sich um Positionen an denen gerade noch so mit schwacher Empfangsfeldstärke gelesen werden kann.

Bei einigen direkten Vergleichen

- 1 mm zu 1,5 mm Trägerplattenbreite: 210 mm
- 1 mm zu 2 mm Trägerplattenbreite: 130 mm, 210 mm
- 1,5 mm zu 2 mm Trägerplattenbreite: 130 mm

gibt es eine Abhängigkeit in der Richtung der Rotation. Diese kann nicht durch den Unterschied der Materialstärken der Trägerplatten erklärt werden. Äußere Umgebungseinflüsse könnten für einen kleinen Unterschied gesorgt haben, wodurch bei einzelnen Messreihen bei Rotationen in eine Richtung die Lesung besser durchgeführt werden kann als bei Rotation in die andere Richtung. Dies kann durch Objekte in der Nähe des Testaufbaus, welche das Sendefeld der Antenne des Readers reflektieren, verursacht werden. Abgesehen von diesem Phänomen lässt sich kein Einfluss der Materialstärke der Trägerplatte beobachten.

4.4 MATERIAL DER TRÄGERPLATTE

Zuletzt wird der Einfluss des Trägerplattenmaterials untersucht. In Abbildung 7 sind die Differenzen zwischen den Messungen mit unterschiedlichem Trägerplattenmaterial zu sehen. Ähnlich wie bei der Materialstärke lassen sich

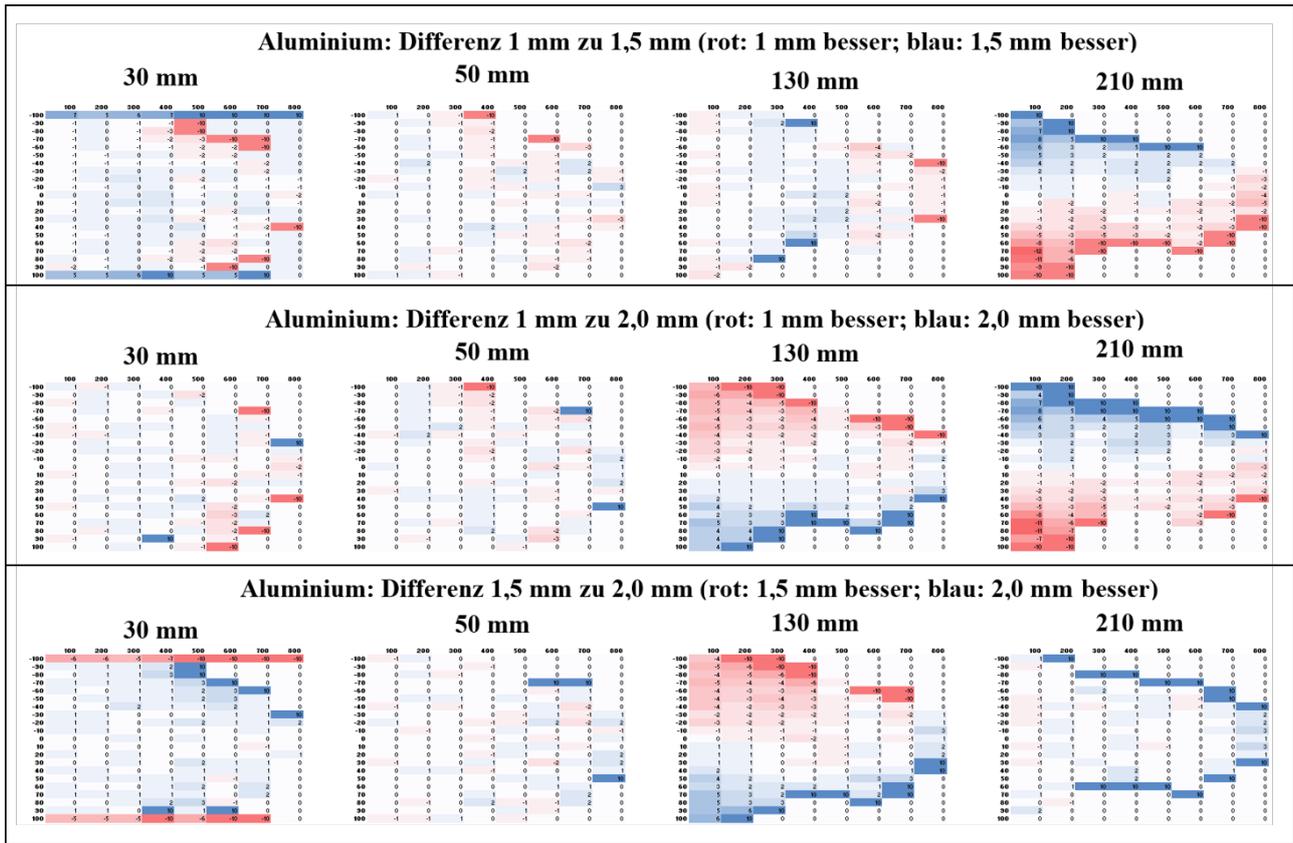


Abbildung 6. Differenzen zwischen Messreihen mit variierender Trägerplatten Materialstärke

teilweise scheinbar Abhängigkeiten in der Richtung der Rotation feststellen. Diese lassen sich ebenfalls nicht durch das Material erklären, wodurch von einem äußeren Einfluss ausgegangen werden kann. Insgesamt lässt sich kein signifikanter Einfluss durch das Trägerplattenmaterial beobachten. Die Differenzen zugute von Aluminium bei 1 mm Materialstärke, 50 mm Breite lassen sich durch die im Vergleich zu allen andern schlechten Messergebnisse bei der Messreihe mit der Edelstahl Trägerplatte (siehe Abbildung 5) erklären.

4.5 PROZESS RELEVANZ INDEX

Um nicht nur paarweise Vergleiche durch Differenzen anzustellen, wurde ein nach Positionsbereichen gewichteter Index erstellt. Dieser Prozess Relevanz Index (PRI) kann für einen Prozess relevante Bereiche (Distanz und Rotation) zum Reader gewichtet beschreiben. Dabei werden Positionen aus Distanz und Rotation zu Bereichen zusammengefasst und mit einem Faktor gewichtet. Diese Faktoren werden auf einen Zahlenraum von 0 bis 1 normiert Tabelle 1.

Anschließend werden alle durchgeführten Messungen mit dem entsprechenden Faktor gewichtet und ein Mittelwert der Messreihe gebildet. Dieser Mittelwert beschreibt keinen durchschnittlichen RSSI der Messreihe. Er dient dazu komplette Messreihen durch einen Wert miteinander vergleichen zu können. Je nach Prozess in dem die RFID

Technik eingesetzt werden soll, können die zu erwartenden Bereiche durch den Gewichtungsfaktor gewichtet werden.

Tabelle 1. Normierte Gewichtungsfaktoren

Winkel\Distanz	100 - 300	400 - 500	600 - 800
-100° bis -80°	0,5	0,2	0,1
-70° bis -50°	0,7	0,4	0,1
-40° bis 40°	1,0	0,6	0,2
50° bis 70°	0,7	0,4	0,1
80° bis 100°	0,5	0,2	0,1

Gewichtungsfaktoren in Tabelle 1 sind für den Prozess der „Point of Interest“-Lokalisierung von FTF gewählt. Die FTF fahren mit geringem Abstand an den Tags vorbei und in Kurven kann es zu einem Winkel zwischen Reader und Tag kommen. Die PRI der Messreihen sind Tabelle 2 zu sehen.

Tabelle 2. Prozess Relevanz Index

Prozess Relevanz Index		Edelstahl			Aluminium		
		1mm	1,5mm	2,0mm	1mm	1,5mm	2,0mm
Breite	Materialst.						
30mm		-30,3	-30,1	-30,1	-30,2	-30,3	-30,2
50mm		-32,3	-30,9	-30,9	-30,9	-30,9	-30,9
130mm		-32,5	-32,7	-33,0	-32,7	-32,5	-32,8
210mm		-33,4	-33,5	-33,6	-33,7	-33,9	-33,5

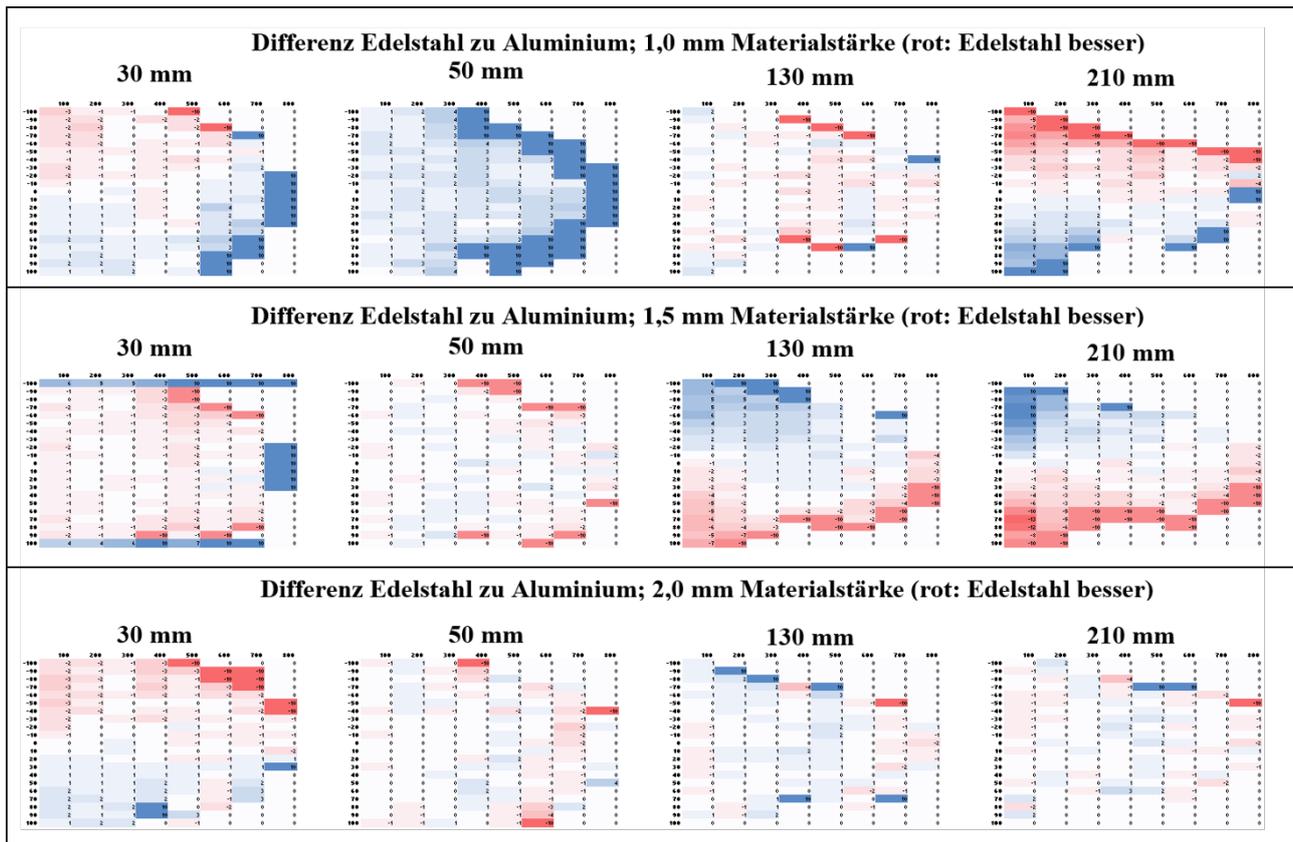


Abbildung 7. Differenzen zwischen Messreihen mit variierender, Trägerplatten Material

Es ist zu sehen, dass die Werte innerhalb einer Breite von Trägerplatten über die Materialstärke und das Material sehr ähnlich sind. Wie zuvor herausgefunden, haben die Materialstärke und das Material kaum einen Einfluss auf die Leistung der Lesbarkeit der RFID Tags. Trägerplatten mit möglichst geringer Breite (Minimum: Breite der Tags) liefern für den beschriebenen Prozess die besten Ergebnisse.

In dem am stärksten gewichteten Bereich mit einer Distanz von 100 mm bis 400 mm und einer Rotation von -40° bis 40° kann in allen Messreihen, selbst bei horizontalem Tag, eine Auslesung erfolgen. Hieraus kann geschlossen werden, dass die Kombination von RFID Reader und Tag in dem hier betrachteten Prozess zuverlässig eingesetzt werden kann. Sie eignet sich als zweiter Kanal für eine sichere „Point of Interest“-Lokalisierung von FTF.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die RFID Testmessungen haben ergeben, dass eine Erdung der Trägerplatte eines „on-metal“ RFID Tags keinen Einfluss auf die Messung hat. Horizontal zum Sendefeld des Readers rotierte RFID Tags können auch bei kleiner Rotation nicht mehr gelesen werden. Bei der Ausrichtung von RFID Tags zum Reader bzw. zur Antenne des Readers sollte unbedingt auf die Rotationsachse geachtet werden.

Die Breite der Trägerplatte hat einen Einfluss auf die Lesbarkeit bei höheren Distanzen und Rotation zwischen Reader und Tag. Die Lesbarkeit wird durch größere Breite bei stärkerer Rotation negativ beeinflusst. Bei höheren Distanzen hat eine größere Breite hingegen einen positiven Einfluss.

Für die Materialstärke und das Material der Trägerplatte eines „on-metal“ RFID Tags konnte hingegen kein Einfluss auf das Messergebnis gefunden werden.

Es konnte gezeigt werden, dass die Kombination aus „Short Range“ RFID Reader mit integrierter Antenne und „on-metal“ RFID Tag für einen zusätzlichen Kanal zur „Point of Interest“-Lokalisierung von FTF eingesetzt werden kann.

Durch den Prozess Relevanz Index können die Messergebnisse für die Kombination von RFID Reader und Tags auf andere Prozesse übertragen und eine geeignete Trägerplattenbreite bestimmt werden. Die Durchführung der Messungen mit Hilfe eines Leichtbauroboters hat für eine große Datenmenge bei minimalen Abweichungen in der Position geführt. Für folgende Tests könnte weitere Automatisierung eingeführt werden. Die Trägerplatten könnten automatisch gewechselt und eine Verbindung zwischen Roboter und RFID Reader für ein Auslösen der Messung eingerichtet werden. So könnten noch mehr Messungen mit

geringem Aufwand durchgeführt werden. Dadurch könnten Mehrfachmessungen bei gleichen Faktoren durchgeführt und Mittelwerte für Versuchsreihen erstellt werden.

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „MARS“, das mit Mitteln aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm EIT Manufacturing der Europäischen Union gefördert wird.

LITERATUR

- [1] Effigy Consulting, “Anzahl der Sendungen von Kurier-, Express- und Paketdiensten (KEP) in Deutschland in den Jahren 2012 bis 2020 (in Millionen),” Statista, 2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/154829/umfrage/sendungsmenge-von-paket-und-kurierdiensten-in-deutschland/>.
- [2] HDE, “Umsatz durch E-Commerce (B2C) in Deutschland in den Jahren 1999 bis 2020 (in Milliarden Euro),” Statista, 2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3979/umfrage/e-commerce-umsatz-in-deutschland-seit-1999/>.
- [3] T. Woźniakowski, M. Nowakowska, and K. Zmarzłowski, “Automation and Innovations in Logistic Processes of Electronic Commerce,” *Inf. Syst. Manag.*, vol. 7, no. 1, pp. 72–82, 2018, doi: 10.22630/isim.2018.7.1.7.
- [4] V. S. S. Yadavalli and C. Balcou, “A supply chain management model to optimise the sorting capability of a ‘third party logistics’ distribution centre,” *South African J. Bus. Manag.*, vol. 48, no. 1, pp. 77–84, 2017, doi: 10.4102/sajbm.v48i1.22.
- [5] Fives, “GENI-Ant™ Autonomous Mobile Robot Sorter.” <https://www.fivesgroup.com/smart-automation-solutions/technologies/amr/geni-ant-autonomous-mobile-robot-sorter>.
- [6] N. Hoppe, L. Rolfs, C. Petzoldt, A. Putzka, and M. Freitag, “Planung und anforderungs - gerechte Auswahl von FTS,” vol. 112, no. 4, pp. 232–237, 2022, [Online]. Available: <https://elibrary.vdi-verlag.de/10.37544/1436-4980-2022-04-32/planung-und-anforderungsgerechte-auswahl-von-fts-requirement-appropriate-recommendation-for-automated-guided-vehicle-systems-jahrgang-112-2022-heft-04?page=1>.
- [7] A. Dąbrowska, R. Giel, and S. Werbińska-Wojciechowska, “Human Safety in Autonomous Transport Systems – Review and Case Study,” *J.*

KONBiN, vol. 51, no. 1, pp. 57–71, 2021, doi: 10.2478/jok-2021-0005.

- [8] S. Zuin, R. Hanson, D. Battini, and A. Persona, “Design of AGV systems in working environments shared with humans: A multi case study,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 53, no. 2, pp. 10603–10608, 2020, doi: 10.1016/j.ifacol.2020.12.2814.
- [9] P. A. A. Neto, “Towards the industrialized AGVS with stringent safety requirements for the cooperative setting,” 2022.
- [10] Universal Robots, “UR5e - Technische Daten.” <https://www.universal-robots.com/de/produkte/ur5-roboter/>. Kohonen, Learning vector quantization for pattern recognition. Technical Report TKK-F-A601. Finland: Helsinki University of Technology, Department of Technical Physics, Laboratory of Computer and Information Science, 1986.

Lennart Rolfs, M. Sc., Research Associate at BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH. Lennart Rolfs was born 1991 in Braunschweig, Germany. Between 2011 and 2018, he studied Electrical Engineering and Information Technology at the University Bremen.

Address: Hochschulring 20, 28359, Bremen, Germany,
Phone: +49 421 218-50184, E-Mail: rof@biba.uni-bremen.de