

Nutzung des Konzepts einer Modenverwirbelungskammer zur EMV- und Leseratenoptimierung eines Radio-Frequency-Identification-Tunnelgates

B. Sc. cand. Sebastian Schwarz, Otto-von-Guericke-Universität, Lehrstuhl für EMV
Dipl.-Ing. Martin Kirch, Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF
Dr.-Ing. Mathias Magdowski, Otto-von-Guericke-Universität, Lehrstuhl für EMV
Prof. Dr.-Ing. Ralf Vick, Otto-von-Guericke-Universität, Lehrstuhl für EMV
Dr.-Ing. Klaus Richter, Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

1 Einleitung

Radio Frequency Identification (RFID) ist ein Verfahren zur kontaktlosen automatischen Identifikation (Auto-ID). Es kommt in der Industrie vor allem in der Logistik und in Materialflusssystemen zum Einsatz. Es ermöglicht im Gegensatz zu anderen Auto-ID-Verfahren eine große versendbare Datenmenge, hohe Reichweiten und schnelles Auslesen der Transponder [3]. Für die Logistik sind vor allem die Zeit, die Menge an gleichzeitig verarbeiteten Objekten und die Kosten wichtige Faktoren. In dieser Untersuchung wird ein RFID-Tunnelgate nach dem Aspekt der Leseraten bei Pulkerfassung betrachtet. Dabei werden verschiedene Möglichkeiten, um die Leserate zu verbessern, experimentell analysiert. Die gemessenen Daten werden ausgewertet, diskutiert und zusammengefasst dargestellt.

2 Grundlagen

In diesem Abschnitt werden zuerst die Grundlagen von RFID-Systemen erklärt. Genauer wird dabei das Backscatter-Verfahren betrachtet. Außerdem wird der Versuchsaufbau im Detail erläutert. Zusätzlich werden die Grundlagen der Modenverwirbelungskammer skizziert.

2.1 RFID-System und Versuchsaufbau

2.1.1 RFID-System

Ein RFID-System besteht im Allgemeinen aus einem Transponder, einem Lesegerät mit angeschlossenen Antennen und einem Computer mit Auswertungssoftware. Dabei bildet das Lesegerät mit angeschlossenen Antennen und Computer die in den meisten Fällen stationäre Leseinheit. Auf den meist batterielosen Transpondern sind die Informationen gespeichert, die von der Leseinheit ausgelesen und vom Computer ausgewertet werden können.

2.1.2 Backscatter-Verfahren

Das in dieser Untersuchung verwendete RFID-System arbeitet im UHF-Bereich (865 MHz bis 868 MHz) mit dem Backscatter-Verfahren. Es benutzt zur Datenübertragung elektromagnetischen Wellen. Im Gegensatz zur induktiven bzw. kapazitiven Kopplung wird beim

Backscatter-Verfahren kein Rücksignal gesendet. Das Sendesignal wird stattdessen nur reflektiert. Durch die HF-Spannung und den integrierten Gleichrichter wird der Mikrochip des Transponders mit Energie versorgt. Dieser verändert den Lastwiderstand R_L , wodurch das ankommende Signal P'_1 in der Amplitude moduliert und als moduliertes Signal P_2 reflektiert wird [3, 5]. Die Funktionsweise eines Transponders mit Backscatter-Verfahren ist in Bild 1 zu sehen.

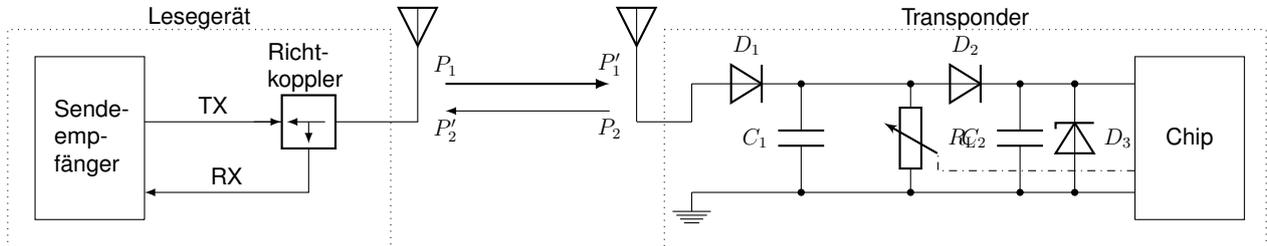


Bild 1: Funktionsweise eines Backscattertransponders, nach [3]

2.1.3 Versuchsaufbau

Als Versuchsaufbau dient ein ca. 1,3 m langer nahezu würfelförmiger RFID-Tunnel. Dieser besteht aus Metall. An der Vorder- und Rückseite befinden sich zwei Öffnungen, welche mit Stofflamellen versehen sind, die elektromagnetische Wellen reflektieren. Deswegen kann man von einem annähernd geschlossenen System mit leitender Oberfläche, also einem elektromagnetischen Hohlraumresonator ausgehen, dessen Randbedingungen durch Bewegungen der Stofflamellen und der Transponder verändert werden. Der Aufbau kann somit als eine Art Modenverwirbelungskammer angesehen werden.



(a) Außenansicht



(b) Innenansicht ohne Absorber



(c) Innenansicht mit sechs Absorbieren

Bild 2: Aufbau des Linearförderers und des RFID-Tunnelgates

Durch das Tunnelgate führt ein Linearförderer, welcher mittels Steuerung verschiedene Geschwindigkeiten und Pausen im RFID-Tunnel realisieren kann. Das Messobjekt, in diesem Fall ein Pappkarton mit 12 aufgeklebten RFID-Transpondern (*DogBone*, *Impinj Monza 4D* von Smartrac), ist auf dem Schlitten des Linearförderers angebracht (Bild 3a). Dabei wurde ein Pufferkasten zwischen Messobjekt und Schlitten befestigt, der Kapazitätsveränderungen der auf der Unterseite angebrachten Transponder verhindern soll. Für den Realversuch (Abschnitt. 3.2.4) wurde ein mit Kleidung gefüllter Karton verwendet. Die Kleidung ist mit insgesamt 29 Transpondern (Chip: *Impinj Monza 3*) ausgestattet (Bild 3b).



(a) Messobjekt mit 12 Transpondern (b) Messobjekt (Realversuch) mit 29 Transpondern, offen (c) Messobjekt (Realversuch) mit 29 Transpondern, geschlossen

Bild 3: verschiedene Messobjekte auf dem Schlitten des Linearförderers

An den Wänden und auf dem Boden des Tunnelgates sind bis zu acht Pyramidenabsorber angebracht. Neben diesen befinden sich im Inneren vier zirkular polarisierte Antennen (*MT-242040/NRH/K* von *MTI Wireless Edge*). Diese sind mittels Gelenkhalterung etwas angewinkelt ausgerichtet, sodass eine senkrechte Reflexion verhindert wird.

Die Antennen sind über Kabel mit dem RFID-Lesegerät (*Speedway Revolution R420* von *Impinj*) angeschlossen, welcher mittels Ethernet mit einem Computer zur Messdatenaufnahme verbunden ist. Am Lesegerät ist zusätzlich eine GPIO-Box angeschlossen, welche mit zwei Lichtschranken am Eingang und am Ausgang des Tunnelgates die Messung startet bzw. stoppt. Damit ist gewährleistet, dass immer nur so lange gemessen wird, wie das Messobjekt im Tunnel ist.

2.2 Modenverwirbelungskammer

Der in diesem Versuch verwendete RFID-Tunnel kann durch die metallischen Wände als Modenverwirbelungskammer (MVK) angesehen werden, obwohl kein Modenrührer verwendet wird. MVKs sind vor allem zum Test von elektrischen Komponenten auf gestrahlte Störfestigkeit und Störemission im Einsatz [6]. In einer MVK sollen dafür hohe Feldstärken bei geringen Eingangsleistungen erreicht werden. Dies wird durch die leitenden Wände und eine hohe Güte erreicht. Außerdem bilden Hohlräume, die durch leitfähige Wände begrenzt sind, schwingungsfähige Räume, die durch elektromagnetische Schwingung angeregt werden können. Die Feldverteilung leitet sich aus der des rechteckigen Hohlraumresonators ab [1] und wird durch einen Modenrührer statistisch homogenisiert und isotropiert.

Messungen [4] haben gezeigt, dass ein RFID-Tunnel bezüglich der Güte mit einer MVK gleichgesetzt werden kann. Durch Hinzufügen von Absorbern kann diese Güte herabgesenkt werden, um die Mehrfachreflexionen der Wellen im Inneren des Tunnelgates zu bedämpfen und eine zu starke gegenseitige Überlagerung der Rückstreusignale der RFID-Transpondern zu verhindern.

3 Versuchsdurchführung und Auswertung

Dieser Abschnitt beschreibt die Durchführung und Auswertung der Messungen. Zuerst wird jeder der vier Versuche mit den Versuchsparametern vorgestellt. Im nächsten Un-

terabschnitt werden die jeweiligen Messergebnisse einzeln dargestellt, analysiert und ausgewertet.

3.1 Versuchsparameter

Im ersten Versuch wird die Leserate bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Pausen gemessen. Dabei werden bei höheren Geschwindigkeiten längere Pausen durchgeführt, sodass das Messobjekt immer dieselbe Zeit im Tunnelgate verbringt. Die Geschwindigkeit des Linearförderers wird von $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bis $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ in $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ Schritten erhöht. Die Länge der Pausen sind an die Geschwindigkeit gekoppelt und können Tab. 1 entnommen werden. Bei der ersten Geschwindigkeit gibt es keine Pause. Die Leistung des Sendesignals wird von 10 dBm bis 20 dBm in 3 dBm Schritten erhöht. Außerdem wird jeweils einmal mit sechs Absorbern und einmal ohne Absorber gemessen.

Tabelle 1: Zuordnung der Pausen zu den Geschwindigkeiten des Schlittens

Geschwindigkeit, $v \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$	0,5	1	1,5	2
Pause [s]	0	1,3	1,73	1,95

Im zweiten Versuch wird die Leserate bei verschiedenen Anzahlen von Absorbern gemessen. Die Geschwindigkeit bzw. Länge der Pause ist auf $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bzw. 1,73 s festgelegt. Die Anzahl der Absorber wird von 0 bis 8 Absorbern in 2er-Schritten erhöht. Außerdem wird die Leistung des Sendesignals von 10 dBm bis 20 dBm in 3 dBm Schritten erhöht.

Im dritten Versuch wird Leserate bei verschiedenen Positionen von zwei Absorbern gemessen. Die Geschwindigkeit bzw. Länge der Pause ist auf $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bzw. 1,73 s und die Leistung des Sendesignals auf 13 dBm festgelegt. Es wird nur eine Antenne ausgewertet. Der Installationsort wird wie folgt geändert: jeweils zwei Absorber befinden sich an der Wand der Antenne, am Boden und direkt gegenüber von der Antenne.

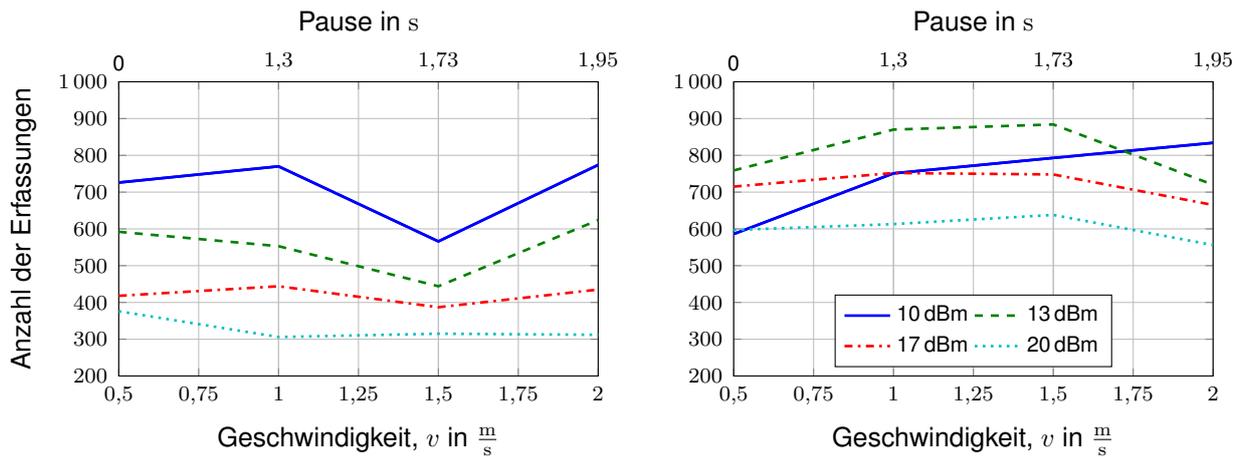
Im vierten Versuch wird die Leserate unter Realbedingungen bei verschiedenen Geschwindigkeiten gemessen. Dazu wird der mit Kleidung befüllte Karton (Bild 3b und 3c) verwendet. Die Sendeleistung wird zwischen 13 dBm und 17 dBm variiert. Die Geschwindigkeit des Linearförderers wird von $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ bis $1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ in $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ Schritten erhöht. Die Längen der Pausen sind erneut an die Geschwindigkeit gekoppelt und entsprechen den Werten in Tab. 1. Bei der kleinsten Geschwindigkeit gibt es keine Pause. Außerdem wird auch hier jeweils einmal ohne Absorber und einmal mit sechs Absorbern gemessen.

3.2 Messung und Auswertung

3.2.1 Messung mit Haltepunkt

In Bild 4 ist zu sehen, dass die Anzahl der Erfassungen bei steigender Sendeleistung sinkt. Die starken gesendeten Signale überlagern sich mit den sehr geringen Antwortsignalen der Transponder, sodass diese schwieriger zu erfassen sind. Eine Abhängigkeit der Leserate von der Geschwindigkeit lässt sich in Bild 4a und 4b nicht feststellen. Das bedeutet aber, dass der Schlitten mit höherer Geschwindigkeit und einer entsprechenden Pause im Tunnel verfahren werden kann, um die gleiche Leserate wie bei langsamer Durchfahrt zu erreichen.

Im Vergleich der beiden Grafiken ist zu erkennen, dass die Anzahl der Erfassungen durch Hinzufügen von sechs Absorbern steigt. Die vorher angesprochenen Überlagerungen



(a) ohne Absorber

(b) mit 6 Absorbern

Bild 4: Gesamtzahl der Transpondererfassungen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit v bei unterschiedlicher Sendeleistung P_S , mit 0 und 6 Absorbern

verringern sich, da die Reflexionen durch die Absorber im Tunnelgate reduziert werden und damit die Leserate verbessern. Einzige Ausnahme hiervon ist der Verlauf bei einer Sendeleistung von 10 dBm, bei der eine eigentlich sehr viel höhere Leserate erreicht werden sollte (vgl. mit Bild 4a). Hier werden die schwachen Antwortsignale durch die Absorber noch weiter gesenkt, sodass sie nicht mehr erkannt werden. Aus diesem Grund fällt hier die Leserate nur durchschnittlich aus.

3.2.2 Messung mit Variation der Absorber

Bei den folgenden Messungen wurde auf Seiten der Software von *Session 1* auf *Session 2* umgestellt. Dabei wird die Zeit zwischen den Wechseln der Zustände der Transponder erhöht [2], weswegen die gesamte Leserate im Allgemeinen geringer ausfällt. Charakteristiken können trotzdem erkannt werden.

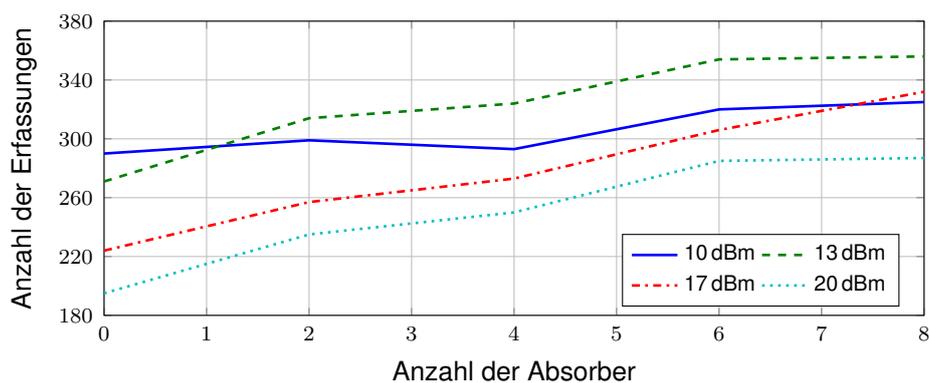
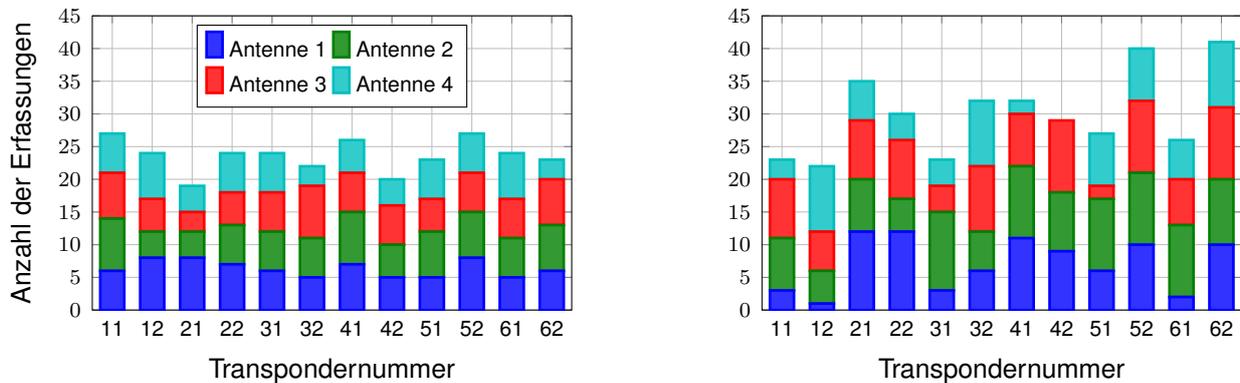


Bild 5: Gesamtzahl der Transpondererfassungen in Abhängigkeit von der Anzahl der Absorber, bei einer Geschwindigkeit von $v = 1,5 \frac{m}{s}$ mit 1,73 s Pause und einer Sendeleistung von $P_S = 13 \text{ dBm}$

Der Verlauf der Leserate in Abhängigkeit der Absorberanzahl (Bild 5) zeigt einen Anstieg der Transpondererfassungen bei steigender Anzahl der Absorber. Durch die Absorber werden die Reflexionen an den Tunnelwänden vermindert, sodass mehr Antwortsignale erfasst werden können. Der Zuwachs der Leserate wird pro hinzugefügten Absorber

jedoch geringer. Die Verläufe der Leserate sinken wie in Abschnitt 3.2.1 mit steigender Sendeleistung. Eine einzige Ausnahme stellt der Verlauf mit einer Sendeleistung von 10 dBm dar. Bei steigender Absorberzahl sinkt der Verlauf unter den mit einer Sendeleistung von 13 dBm. Die Ursache hierfür ist bereits in Abschnitt 3.2.1 beschrieben. Ein vollständig verkleideter Tunnel bringt keinen größeren Vorteil. Als guten Kompromiss können vier Absorber für eine bessere Erfassung verwendet werden. Dies entspricht einem Tunnel, bei dem die Oberfläche zu einem Viertel verkleidet ist.



(a) ohne Absorber

(b) mit 8 Absorbern

Bild 6: Anzahl der Erfassungen der einzelnen Transponder und Beiträge der Antennen bei einer Geschwindigkeit von $v = 1,5 \frac{m}{s}$ mit 1,73 s und einer Sendeleistung von $P_S = 13$ dBm, mit 0 und 8 Absorbern

Die in Bild 6 dargestellte Leserate ist nach Transpondern und genutzten Antennen aufgeschlüsselt. In Bild 6a sind gleichmäßige Beiträge der Antenne zu den Leseraten der einzelnen Transponder zu sehen. Im Vergleich zu der insgesamt höheren Leserate in Bild 6b sind die Beiträge bei Verwendung von acht Absorbern unregelmäßiger. Dies wird durch die Absorber verursacht, welche die Reflexionen der Antwortsignale verhindern. Dadurch ist es nicht jeder Antenne möglich, jeden Transponder gleich gut zu erfassen. Mit Absorbern werden also nur die Transponder erfasst, die das Antwortsignal direkt zur Antenne zurücksenden können. Im Gesamten ist die Unregelmäßigkeit der Beiträge zu der Leserate nicht wichtig, da genug Antennen verwendet wurden, sodass alle Transponder erfasst werden konnten.

3.2.3 Messung mit Variation des Installationsortes der Absorber

Tabelle 2: Gesamtzahl der Transpondererfassungen in Abhängigkeit des Installationsortes von zwei Absorbern, bei einer Geschwindigkeit von $v = 1,5 \frac{m}{s}$ mit 1,73 s Pause und einer Sendeleistung von $P_S = 13$ dBm und nur der Antenne 1

Installationsort	Seite der Antenne	Tunnelboden	Gegenüber der Antenne
Anzahl der Erfassungen	75	86	86

Die Messergebnisse der dritten Messung mit Variation des Installationsortes der Absorber sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Anzahl der Erfassungen ist dort abhängig vom Installationsort aufgelistet. Es ist zu erkennen, dass die Leserate von Antenne 1 sich bei der Änderung des Installationsortes kaum ändert. Die größte Änderung ist ein Anstieg von 75 auf 86 Erfassungen. Dadurch, dass die Leserate in allen Durchführungen um ca. 10 bis 20 Transpondererfassungen schwankt, kann zusammengefasst werden, dass die Leserate

unabhängig vom Ort der Absorber konstant bleibt. Dies kommt durch das in einer Modenverwirbelungskammer vorherrschende statistisch homogene und isotrope Feld zustande, wodurch der Installationsort des Absorbers im Tunnelgate irrelevant ist.

3.2.4 Realversuch

In Bild 7 ist die Transponderleserate in Abhängigkeit der Geschwindigkeit für die Sendeleistungen von 10 dBm und 13 dBm dargestellt. In den Verläufen ist zu erkennen, dass die Verläufe für 17 dBm im Gegensatz zu Bild 4 stets über dem Verlauf von 13 dBm liegen. Dies liegt daran, dass die Kleidung mit den Transpondern gütesenkend im Tunnelgate wirkt [4]. Deswegen muss mit deutlich höherer Leistung gesendet werden, um eine bessere Leserate zu erreichen. Eine deutlich höhere Sendeleistung muss auch verwendet werden, da der verwendete Transponder erst bei höheren Leistungen aktiviert wird. Zudem ist zu erkennen, dass die Leserate mit der Geschwindigkeit bzw. der Pause ansteigt. Der Anstieg ist jedoch ähnlich zu den Anstiegen, die in Bild 4 zu sehen sind. Außerdem steigt die Leserate bei Hinzufügen von Absorbern, im Gegensatz zu Bild 4, bei einer Sendeleistung von 17 dBm nur leicht an. Bei 13 dBm sinkt die Leserate beim Hinzufügen der Absorber ab. Die noch geringere Leserate beim Hinzufügen der Absorber und einer Sendeleistung von 13 dBm ist durch die noch geringere ankommende Empfangsleistung durch die zusätzlichen Absorber verursacht.

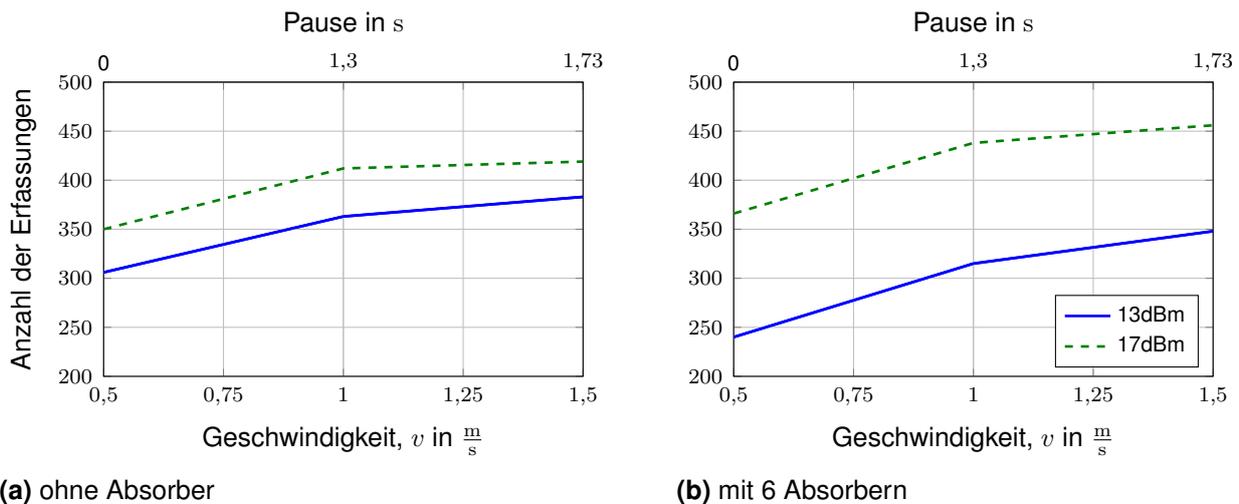


Bild 7: Gesamtzahl der Transpondererfassungen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit v bei unterschiedlicher Sendeleistung P_S , mit 0 und 6 Absorbern

4 Zusammenfassung

Aus der ersten Messung (siehe Abschnitt 3.2.1) geht hervor, dass Absorber für eine bessere Leserate verwendet werden sollten. Außerdem sollte die Sendeleistung bei Verwendung von Absorbern bei ca. 13 dBm liegen. Für eine bessere Leserate ohne Einsatz von Absorbern wäre eine Sendeleistung von ca. 10 dBm vorteilhafter. Zudem kann der Schlitten mit höherer Geschwindigkeit bei entsprechenden Pausen (1 s bis 2 s) gefahren werden. Zusammengefasst ergibt die zweite Messung (Abschnitt 3.2.2), dass ein zu einem Viertel der Innenoberfläche mit Absorbern verkleideter RFID-Tunnel eine gute Verbesserung der

Leserate bei geringer Anzahl der verwendeten Absorber liefert. Zudem ist es bei Verwendung von Absorbern wichtig, mehrere Antennen in unterschiedlichen Positionen zu verwenden, da durch die Absorber die Reflexionen gemindert werden. Bei Anwendungen mit nur wenigen Antennen sind Absorber von Nachteil.

Für die dritte Messung (siehe Abschnitt 3.2.3) lässt sich zusammenfassen, dass der Installationsort der Absorber, begründet durch das homogene und isotrope Feld, keine Auswirkung auf die Leserate hat.

Bei dem Realversuch (siehe Abschnitt 3.2.4) wirkt die Kleidung mit den Transpondern gütesenkend auf das Tunnelgate, wodurch eine generell höhere Sendeleistung verwendet werden sollte, um gleichbleibende Leserate zu erreichen. Das zusätzliche Hinzufügen der Absorber verschlechtert bei geringeren Leistungen die allgemeine Leserate.

Im Gesamten müssen auf das Messobjekt zugeschnittene Parameter verwendet werden. Tendenziell sind kleinere Leistungen von Vorteil, solange die Transponder noch mit genug Energie versorgt werden. Mit Absorbern kann das Ergebnis verbessert werden, solange die Leistung im Tunnel nicht zu niedrig wird.

5 Ausblick

Weiterführend können die zeitlichen Verläufe der Kommunikation zwischen den Antennen des Lesegeräts und den Transpondern im Tunnelgate betrachtet werden, um deren Verhalten besser nachvollziehen zu können. Außerdem können die tatsächlichen an den Transpondern empfangenen Signalstärken sowie die Stärke der Transponderantworten am Lesegerät unter verschiedenen Bedingungen (mit oder ohne Absorber) gemessen werden. Zudem können die Leseraten bei unterschiedlich vielen Transpondern betrachtet werden.

Literatur

- [1] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. UND VDE VERBAND DER ELEKTROTECHNIK ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK E.V. (Hrsg.): *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-21: Prüf- und Messverfahren – Verfahren für die Prüfung in der Modenverwirbelungskammer (IEC 61000-4-21:2011)*. 2. Berlin, Frankfurt: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. und VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., Dezember 2011
- [2] EPCGLOBAL: *EPC™ Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz – 960 MHz*. https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/uhfc1g2_1_2_0-standard-20080511.pdf. Version: 1.2.0, Dezember 2017
- [3] FINKENZELLER, Klaus: *RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen induktiver Funkanlagen, Transponder und kontaktloser Chipkarten*. 4., aktualisierte und erw. Aufl. München [u.a.] : Hanser, 2006
- [4] HÖNOW, Andreas: *Untersuchung der Optimierungsmöglichkeiten eines RFID-Tunnels*, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Forschungsprojekt, 2013
- [5] KERN, Christian: *Anwendung von RFID-Systemen*. Berlin [u.a.] : Springer, 2006 (VDI-Buch)
- [6] LEHNER, Günther: *Elektromagnetische Feldtheorie für Ingenieure und Physiker*. 7. bearb. Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer, 2010