



Parametrisierung und Evaluation eines RFID-Lesemodells

Studienarbeit am Telecooperation Office (TecO)

Fakultät für Informatik
Universität Karlsruhe (TH)

von

and. Dipl.-Inf.
Robert Kestel

Betreuer:

Dipl.-Inf. Martin Berchtold

Tag der Anmeldung: 1. August 2007
Tag der Abgabe: 29. Februar 2008

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit	2
2	Grundlagen der RFID-Technik	3
2.1	Radio-frequency identification (RFID)	3
2.1.1	Tags	3
2.1.2	Frequenzen	4
2.1.3	Grenzwerte	5
2.1.4	EPCglobal	5
2.2	Antennentechnik und Antennenausrichtung	7
3	Implementierung	11
3.1	Anforderungen	11
3.2	Automatisierung	12
3.3	Speicherung	13
3.4	Konfiguration	13
3.5	Messmethodik	16
4	Evaluierung	17
4.1	Grundlegende Versuche	17
4.1.1	Nachweis der Antennenkeule	17
4.1.2	Wiederholbarkeit der Versuche	18
4.1.3	Entfernung	19
4.2	Vergleich verschiedener Tag Typen	20
4.2.1	Kommerzielle Tags	21
4.2.2	TUC + MAN	22
4.2.2.1	Vergleich der aktuellsten TUC-Tags	29
4.3	Produkte und Verpackungen	34
4.3.1	Pappkarton	34
4.3.2	Beschichtetes Papier	36
4.3.3	Baby Push	37
4.3.4	Kunststofffolie	38
4.3.5	Andere Verpackungen	39
4.4	Anbringung	39
4.4.1	Kontinuierliche Lesungen mit variierender Anbringung und Orientierung	40
4.4.2	Lesungen verschiedener Orientierungen mit variierender Dämpfung der Lese-Energie	44

4.4.3	Kontinuierliches Lesen mit bewegter Antenne	50
5	Zusammenfassung	51
A	Eingesetzte RFID Tags	53
A.1	Kommerzielle Tags	53
A.2	Tags der TU Chemnitz	56
A.3	Tags von MAN	59
	Literaturverzeichnis	61

1. Einleitung

Für viele Händler ist der Warenbestand ein wichtiger Punkt in der Bilanz, weshalb dieser ziemlich genau bekannt sein sollte. Eine herkömmliche Inventur ist aber oft teuer, da Personal benötigt wird um eine aufwändige Kontrolle der Bestandspositionen durchzuführen. Deshalb gibt es viele Bestrebungen diesen Vorgang zu vereinfachen und soweit wie möglich zu automatisieren. Auch wäre es von Vorteil immer zu wissen, wie viel von einem bestimmten Produkt noch vorhanden ist, um gezielt nachbestellen zu können, wo die Produkte stehen, um fehlplatzierte Waren bei Bedarf schnell finden zu können oder ein einfaches auffinden von Produkten die das Mindesthaltbarkeitsdatum überschritten haben.

Eine mögliche Lösung dieses Problems bietet ein Szenario, in dem an jedem Produkt ein RFID-Tag angebracht ist um dieses eindeutig, schnell und drahtlos zu identifizieren. Im Gegensatz zu Barcodes erfolgt die Bestimmung ohne Sichtkontakt. Diese Studienarbeit beschäftigt sich mit der Evaluierung dieser Tags um bewerten zu können wie die RFID-Technik auf der Produktebene effizient eingesetzt werden kann.

1.1 Motivation

Mit grundsätzlichen Problemen von RFID im realen Einsatz bei Händlern und einer genauen Analyse welche Vorteile diese Methode im täglichen Einsatz bringen kann, beschäftigt sich zum Beispiel Kärkkäinen in [Kar03], worin er in Zusammenarbeit mit Sainsbury's ein solches Szenario beschreibt.

Problematisch bei diesen Szenarien, in der Fachliteratur auch als "inventory problem" bekannt, sind folgende Eigenschaften der RFID-Technik. Es kommt bei vielen Tags auf engem Raum zu Überlagerungen und Auslöschungen der Funkwellen, ein einzelner Tag absorbiert so viel Energie, dass Tags in der Umgebung überhaupt nicht gelesen werden. Desweiteren kann es zu Kollisionen kommen, wenn zwei oder mehr Tags versuchen gleichzeitig zu antworten, wobei das verwendete Kommunikationsprotokoll, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, diese Kollisionen nur durch lange Lesezyklen mit einer statistischer Erfolgsquote auflösen kann.

Zum anderen sind aber auch die Umgebungsbedingungen in dem eingangs beschriebenen Szenario nicht ideal. So sind die verwendeten Regale aus Metall, welches sich auf die Ausbreitung der Funkwellen und somit auf die Leseigenschaften auswirkt.

Auch die Verpackungen der einzelnen Produkte sind zum Teil aus Blech, Metallfolien oder anderen Materialien die sich negativ auf die Lesbarkeit auswirken. Und auch die Produkte selbst bestehen teilweise aus Flüssigkeiten wie Wasser, welches die Funkwellen absorbiert, oder ähnlich ungeeignete Stoffe.

Durch diese Bedingungen wird es also erschwert mit einer gewissen Sicherheit innerhalb eines gesetzten Zeitraums sagen zu können ob man wirklich alle Tags gelesen hat.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

In dieser Arbeit geht es nun um die Bewertung von verschiedenen RFID-Tags bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit in dem zuvor beschriebenen Szenario. Es werden dazu verschiedene Bauformen und Materialien für die Tags getestet, sowie unterschiedliche Anbringungen der Tags an den Produkten und variierende Kombinationen von Produkten und Tags.

2. Grundlagen der RFID-Technik

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Eigenschaften der RFID-Funktechnik erklärt. In dem folgenden Abschnitt wird dazu zuerst ein Überblick über die RFID-Technik gegeben, dann folgt ein Abschnitt mit den für diese Arbeit wichtigsten Aspekten der Antennentechnik.

2.1 Radio-frequency identification (RFID)

RFID ist ein Technik um Identifikations-Informationen berührungslos lesen und speichern zu können. Dazu werden sogenannte Tags verwendet, die an Objekten angebracht werden. Diese Tags bestehen aus einem Mikrochip und einer Antenne und können dann mit speziellen Lese-/Schreibgeräten, im Weiteren auch Reader genannt, ausgelesen werden. Das Auslesen funktioniert mittels Funkwellen, was bedeutet, dass die Reichweite und Signalqualität von Umwelteinflüssen bestimmt wird. So sind gerade Regale aus Metall oder Flüssigkeiten auf Wasserbasis in den von RFID eingesetzten Frequenzbändern kritisch, da sie als Antenne wirken oder die Funkenergie absorbieren können. Diese Einflüsse im Anwendungsbereich des "Inventory Problems" möglichst detailliert zu analysieren und Faktoren zu bestimmen um diese zu minimieren ist Gegenstand dieser Arbeit.

Der große Vorteil dieser Technik ist, dass für die Tags keine Batterie oder Ähnliches benötigt wird, da die zum Antworten benötigte Energie komplett induktiv aus der Funkenergie des Readers gewonnen wird.

2.1.1 Tags

Die Tags, oder auch Transponder genannt, bestehen aus einem Mikrochip, welcher die Identifikationsdaten hält und die Kommunikation steuert, und einer Antenne zur drahtlosen Kommunikation. Bei den hier verwendeten konventionellen Tags wird dieser Chip mit einer Antenne verbunden, welche auf ein selbstklebendes Etikett geätzt wurde. Dieses kann dann auf den Produkten angebracht werden. Eine weitere Möglichkeit, die hier besonders untersucht wird, sieht vor, dass die Antennen mittels leitfähiger Tinte direkt und kostengünstig auf die Produktpackung gedruckt werden und anschließend ein Chip entweder aufgelötet oder mittels eines speziellen Klebers

aufgebracht wird.

Es lassen sich je nach Aufbau der Tags verschiedene Klassen unterscheiden:

Passive Tags verwenden ausschließlich die vom Lesegerät ausgestrahlte Energie um den Chip bei Lese- und Schreiboperationen zu versorgen. Diese Tags brauchen keine eigene Energieversorgung, was eine günstige Produktion zulässt.

Halbaktive Tags haben eine Batterie mit der Sensoren oder Microcontroller versorgt werden, die Kommunikation erfolgt aber mittels eines passiven RFID-Chips. In diesem Fall werden keine weiteren Sensoren benötigt, da es hier nur auf die Identifikation ankommt und eine Batterie würde den Prozess verteuern und die Verwendungsdauer des Tags verkürzen.

Aktive Tags nutzen ihre Energiequelle auch zum Senden, womit eine deutlich erhöhte Reichweite erzielt wird. Es bestehen aber auch hier die Probleme der eingeschränkten Verwendungsdauer aufgrund der begrenzten Kapazität einer Batterie und der Verteuerung des Produktionsprozesses.

Aufgrund dieser Betrachtung kommen hier nur passive Tags zum Einsatz. So sind diese deutlich billiger in der Herstellung, sind durch ihre Energieunabhängigkeit zeitlich unbegrenzt einsetzbar und die zusätzliche Funktionen, wie sie mit Hilfe aktiver Komponenten erreicht werden können, sind hier nicht relevant, da eine einfache Identifikation der einzelnen Objekte ausreicht.

Die wichtigsten Eigenschaften von RFID werden von der *Association for Automatic Identification and Mobility* in [AIM00] dargestellt.

Im weiteren wird kurz auf die für diese Arbeit wichtigen Punkte eingegangen. Zuerst zu nennen ist hier die Frequenz, welche maßgeblich beeinflusst wie die Funkwellen mit der Umgebung interagieren.

2.1.2 Frequenzen

Die für RFID genutzten Frequenzen:

100-500kHz geringe Reichweite, langsam, preiswert

10-15MHz mittlere Reichweite, mittlere Geschwindigkeit, preiswert

850-950MHz hohe Reichweite, hohe Geschwindigkeit, teuer

2,4-5,8GHz hohe Reichweite, hohe Geschwindigkeit, teuer

Generell kann man sagen, dass mit der Höhe der Frequenz die Lesegeschwindigkeit zunimmt. Jedoch nimmt ebenfalls die Absorptionsrate zu, beziehungsweise die Eindringtiefe in nichtmetallische Stoffe und Wasser nimmt ab, siehe [Kol01]. Es gilt hier also einen Kompromiss zu finden zwischen der Auslesegeschwindigkeit und der Ausbreitung. Außerdem sollte das genutzte Frequenzband weltweit frei nutzbar sein.

Das hier genutzte Frequenzband ist 868 MHz. Bei der Auswahl spielte die hohe Reichweite eine maßgebliche Rolle, außerdem ist bei den vielen Tags eine hohe Auslesegeschwindigkeit notwendig und der Preis sinkt bei Massenproduktion deutlich.

Eine höhere Reichweite könnte durch eine Erhöhung der Sendeleistung erfolgen. Durch eine höhere Sendeleistung wird der Tag aber nicht zwangsweise dazu in die Lage versetzt das Feld für das Lesegerät verständlich zu modulieren [FK04]. Hierbei gibt es zudem noch Grenzwerte die man beachten muss.

2.1.3 Grenzwerte

Ein wichtiger Grenzwert ist zuallererst so zu setzen, dass eine Gefährdung von Personen und Umwelt auszuschließen ist.

Die International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) hat für Frequenzen zwischen 100kHz und 10GHz Grenzwerte für die Stromdichte und spezifische Energieabsorptionsrate (SAR) eingeführt. Sowie einen Basisgrenzwert für den SAR-Wert um die Wärmebelastung des ganzen Körpers und eine übermäßige lokale Gewebeerwärmung zu vermeiden [ICN97].

Diese Grenzwerte sind abhängig von der Frequenz f . In dem hier relevanten Bereich von 400 bis 2000MHz darf die äquivalente Energiedichte $S_{eq}[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}]$ bei maximal $\frac{f}{200}$ liegen [ICN97]. Diese Werte werden nach dem EPC Gen 2 Standard (siehe Kapitel 2.1.4) normalerweise deutlich unterschritten. Lediglich direkt an der Antenne kann es unter Umständen zu einem Erreichen dieser Werte, in seltenen Fällen auch zu einem leichten Überschreiten dieser Werte kommen.

In Europa gilt nach der Empfehlung der ERC (ERC-REC-70-03), im Bereich der hier genutzten 868 Mhz, mit einer Bandbreite von 3 MHz, eine maximale Sendeleistung von 2 W bei einer Nutzung von 10 Kanälen, sowie 100 mW bei 3 Kanälen und je 500 mW bei 2 Kanälen. In den USA sind dagegen 4 Watt pro Kanal zugelassen, was einer achtfachen Sendeleistung entspricht, da jeder Reader nur einen Kanal verwendet.

Problematisch ist aber auch die Nutzung mehrerer Geräte im gleichen Frequenzband, wobei der Standard hier ein paar Lösungsansätze bietet.

2.1.4 EPCglobal

Die EPCglobal Inc. definiert in EPCglobal Tag Data Standards Version 1.3 [Inc06] den Electronic Product Code (kurz: EPC) für die Chips der RFID-Tags, wodurch eine weltweite und eindeutige Identifikation der Tags gewährleistet wird, sowie das komplette Air Interface.

Der aktuelle Standard zur Kommunikation der RFID-Tags mit den Lesegeräten, der dabei zum Einsatz kommt, heißt *EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz-960MHz Version 1.0.9* oder kurz *EPC Gen2*. Das hierin zur Kollisionsauflösung, falls mehrere Tags gleichzeitig einem Lesegerät antworten, vorgesehene Protokoll ist slotted ALOHA.

Bei slotted ALOHA werden zum Senden feste Zeitschlitze genutzt in denen gesendet werden darf, in Abbildung 2.1 durch die gestrichelten Linien gekennzeichnet. Pro Frame (durchgezogene Linie) darf ein Tag maximal eine gültige Antwort geben. In diesem Beispiel versuchen zwei Sender (A und B) zu senden. Senden dabei innerhalb eines Zeitschlitzes mehrere Geräte kommt es zu einer Kollision, was durch die grauen Kästchen symbolisiert wird.

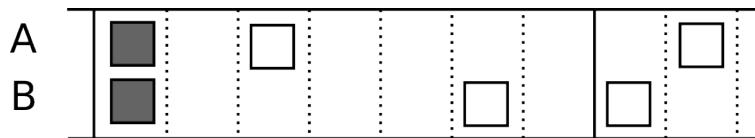


Abbildung 2.1: slotted ALOHA

Kommt es zu so einer Kollision kann keine der Antworten gelesen werden und alle Tags müssen zu seinem späteren Zeitpunkt erneut senden. Die Wahl des nächsten Zeitpunktes wird hierbei durch einen sogenannten Backoff-Algorithmus bestimmt. Der erste solche Algorithmus wurde 1973 vorgestellt [KL73]. Dieser sieht einfach vor, dass jeder Sender nach einer rein zufällig gewählten Zeitspanne erneut sendet. Dabei kann es aber zu erneuten Kollisionen kommen. Auch sollte eine erneute Antwort nicht zu spät erfolgen.

Die Leistungsfähigkeit hängt also maßgeblich von der Wahl eines geeigneten Backoff-Algorithmus ab, da eine zu lange Sendepause die Datenrate zu weit senkt, in diesem Anwendungsfall können eventuell nicht alle Tags im vorgegeben Zeitrahmen gelesen werden. Ist die Sendepause zu kurz oder wählen zu viele Geräte den gleichen Backoff, so kommt es erneut zu Kollisionen. Verbesserungen zu diesem Verfahren werden zum Beispiel in [LJL05] vorgestellt.

Für reines slotted ALOHA liegt der Durchsatz S bei $S = G * e^{-G}$, wobei G die Anzahl der Versuche pro Zeitscheibe ist und für die Ankunft der Pakete eine Poisson-Verteilung angenommen wird. Für $G = 1$ nimmt die Funktion ihr Maximum von ungefähr 0,37 an. Der maximale Durchsatz liegt also bei 37%. Eine genaue Analyse der Leistungsfähigkeit dieses Protokolls findet sich in [WEM89].

Ein Modell um die Kommunikation beim Auslesen einer vorher unbekanntes Anzahl Tags zu beschreiben ist in [Vog02] zu finden, die Leistungsfähigkeit wird in der Praxis aber wohl nicht erreicht und in dieser Arbeit kann auch nicht näher darauf eingegangen werden.

Ein interessanter Ansatz um die Unsicherheit beim Lesen zu reduzieren bietet ein probabilistischer Ansatz, wie in [Flo04] oder [Vog02] vorgestellt. Allerdings ist dazu ein Zugang zu den low-level-daten des Lesegerätes notwendig. Ausführlicher und mit Beispielen wie einem "Roboter-Regal" wird dieser Ansatz in [BFHF03] beschrieben. Eine weitere Möglichkeit um die Unsicherheit die durch die geringen Leseraten entsteht zu umgehen ist das Anbringen mehrerer Tags an einem Produkt, wie in [BR07] beschrieben. Dies verschärft allerdings wieder die Probleme die durch die sowieso schon sehr große Anzahl an vorhandenen Tags entstehen.

Ein weiterer Punkt ist das durch die EU Regulierung vorgeschriebene sogenannte "listen before talk". Diese Vorschrift besagt, dass ein Reader prüfen muss, ob der Kanal auf dem er senden will nicht bereits von einem anderen Dienst genutzt wird. Ist dies der Fall, so muss auf einen anderen Kanal gewechselt werden. Die Anzahl der gleichzeitig einsetzbaren Lesegeräte ist also nach oben durch die Anzahl freier Kanäle beschränkt (siehe auch [AIM00]).

2.2 Antennentechnik und Antennenausrichtung

Eine Antenne ist ein Wandler, der elektromagnetische Wellen im Freiraum (Funkwellen) in kabelgebundene (Strom) umsetzt, oder umgekehrt den Strom in Funkwellen. Dazu wird ein zeitlich veränderlicher Stromfluss auf einen Leiter gelegt, welcher ein zeitlich veränderliches Magnetfeld um den Leiter induziert, beziehungsweise die veränderliche Ladungsverteilung auf dem Leiter erzeugt ein veränderliches elektrisches Feld. Dieses gekoppelte elektromagnetische Feld kann sich von dem Leiter lösen und transportiert Energie in den Raum.

Antennen sind reziprok, d.h. sie können immer empfangen *und* senden. Wichtige Antennenparameter für diese Arbeit sind

Wirkungsgrad Die Nutzstrahlung wird durch den Strahlungswiderstand erzeugt. Dieser lässt sich aber nur als Teil des Gesamtwiderstands, zusammen mit dem Verlustwiderstand messen. Es entsteht also eigentlich immer auch Wärme. Der Wirkungsgrad η gibt das Verhältnis von zugeführter Leistung zu abgestrahlter Nutzleistung an.

$$\eta = \frac{P_{Nutz}}{P_{Nutz} + P_{Verlust}}$$

Richtfaktor Mit Ausnahme eines perfekten Kugelstrahlers hat jede Antenne eine Richtung in der bevorzugt Strahlung abgegeben wird. Dies lässt sich in einem Antennendiagramm darstellen. Abbildung 2.2 zeigt beispielhaft ein Antennendiagramm in Polarkoordinatendarstellung.

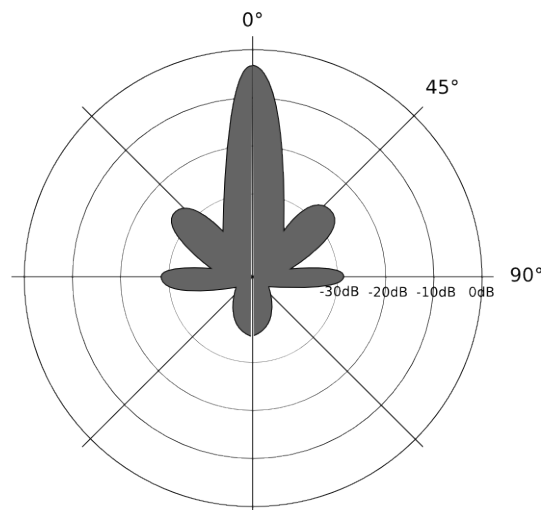


Abbildung 2.2: Beispiel für eine Antennenkeule in Polarkoordinaten

Für die hier verwendete Antenne wird unter 4.1.1 beschrieben wie versucht wird die Antennenkeule nachzuweisen.

Der Richtfaktor D ist ein Maß für die Stärke der Bündelung und wird als Verhältnis der Strahlungsdichten Φ zur theoretischen Strahlungsdichte eines Kugelstrahlers angegeben.

$$D = \frac{\Phi_{max}}{\Phi_{Kugelstrahler}}$$

Polarisation Die Polarisation der Abstrahlung bestimmt die Richtung der elektromagnetischen Feldkomponente einer elektromagnetischen Welle. Man unterscheidet die lineare Polarisation, bei welcher die Richtung der elektromagnetischen Feldkomponente konstant ist, und die zirkulare Polarisation, bei welcher der Feldstärkevektor orthogonal zur Ausbreitungsrichtung rotiert. Die Abbildung 2.3 veranschaulicht dies.

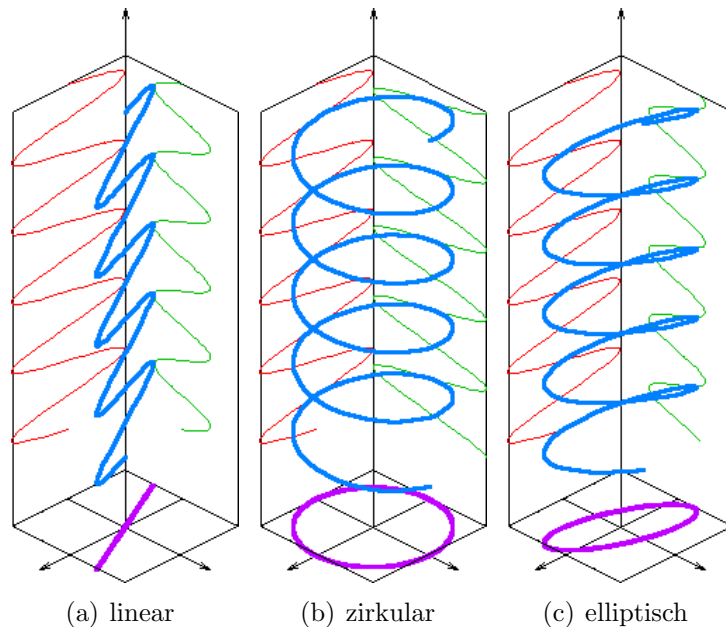


Abbildung 2.3: Quelle: Wikimedia Commons

Die zirkulare Polarisation ist ein Idealfall. Meist überwiegt eine Richtung der Feldkomponente und es kommt somit zu einer elliptischen Polarisation. Um einen optimalen Empfang zu gewährleisten, müssen die Sende- und Empfangsantenne die gleiche Polarisation haben. Dadurch sind die Feldstärkevektoren in der gleichen Orientierung und die elektromagnetische Kopplung ist optimal. Ist die Ausrichtung vorher nicht bekannt, oder ändert sich diese während der Übertragung, bietet sich die zirkulare Polarisation an um trotzdem eine stabile Verbindung aufbauen zu können, da durch die Rotation des Vektors zumindest teilweise eine gleiche Orientierung entsteht.

Die verschiedenen Antennenbauformen haben also besonderen Einfluss auf die Antennenparameter und sind der Hauptgrund für die Lesbarkeit unterschiedlicher Tags. In dieser Arbeit wurden nur zirkulare Antennen benutzt, wobei jedoch in zukünftigen Evaluationen noch andere Antennentypen getestet werden müssen. Die hier verwendeten Tags haben lineare (Dipol-)Antennen und die Antenne des Lesegeräts ist zirkular polarisiert. Ein Vergleich der Ergebnisse mit denen einer linear polarisierten Leseantenne wäre sicher noch von Interesse, wurde aber nicht durchgeführt werden. So wurde in der Arbeit [FB99] der Einfluss von verschiedenen Produkten auf die Leseigenschaften untersucht. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass gerade omnidirektionale Antennen im Zusammenhang mit Flüssigkeiten und Metall sehr schlechte Ergebnisse liefern und bieten als Lösungsansatz den Einsatz von

Richtantennen an.

In [FL04] werden die eher technischen Probleme die beim Einsatz von RFID entstehen untersucht. Mithilfe eines Kartenspiels, bei welchem an jeder Karte ein Tag klebt, wird die negative Beeinflussung von nahe beieinanderliegenden und sich gegenseitig verdeckenden Antennen untersucht. Aber nicht nur die hier beschriebenen Auswirkung auf die Funkwellen sind von Bedeutung, auch das Kommunikationsprotokoll zwischen Reader und Tag benötigt mehr Lesezyklen, wenn sich mehr Tags im Lesebereich befinden.

3. Implementierung

Ein Regal mit Produkten ist aufzubauen, alle Produkte mit einem RFID-Tag zu versehen und dann verschiedene Szenarien durchzugehen und dabei Messungen der Leserate vorzunehmen. Diese sollten Aufschluss darüber geben wie die Tags am effizientesten eingesetzt und ausgelesen werden können.

Wie dies umgesetzt wurde wird in diesem Kapitel beschrieben. Dazu wird auf die technischen Aspekte die bei der Durchführung der Versuche eine Rolle spielen eingegangen. Dies sind zum Einen die eingesetzten Geräte und zum Anderen die zur Zusammenarbeit der einzelnen Komponenten geschriebene Software.

Zum Lesen der Tags stand ein RFID-Reader der Firma Symbol vom Typ XR480EU zur Verfügung. Daran angeschlossen war eine Antenne vom Typ ANT-71721-01, ebenfalls von der Firma Symbol. Diese Antenne ist zirkulär polarisiert, was einen großen Bereich in dem Tags gelesen werden können verspricht. Um das Lesegerät schnell an den jeweiligen Versuchsaufbau abzustimmen und die gelesenen Daten zu sammeln wurde ein Programm geschrieben das über Ethernet auf den Reader zugreift.

3.1 Anforderungen

Die Anforderungen an die Versuchsaufbauten erfordern eine möglichst realitätsnahe Simulation der Situation wie sie in einem Ladengeschäft anzutreffen ist. Hierzu wurden von der Drogeriemarktkette *dm* zwei Regale, wie sie auch sonst verwendet werden, geliefert und aufgebaut.

Desweiteren soll mit den Versuchen gezeigt werden, wie gut sich die Tags an verschiedenen Produkten auslesen lassen, dazu wurden Lebensmittel aus der Produktreihe *Alnatura* und verschiedene Textilien aus dem Bereich der Kleinkindbekleidung bereitgestellt.

Ein weiterer Aspekt der untersucht werden soll, ist die Position der gelesenen Tags, um so hinterher einen genauen Plan erstellen zu können. Auch sollten wirklich alle Tags gelesen werden können und das in möglichst geringer Zeit.

In diesem Szenario eignet sich nur der Einsatz von passiven RFID-Tags, da durch die Anbringung von Tags an jedem einzelnen Produkt die Kosten durch die Energieversorgung selbst enorm ansteigen würden, aber auch weitere Folgekosten, wie z.B

erhöhte Transportkosten durch das zusätzliche Gewicht hinzukämen. Und es sollte auch sichergestellt werden, dass sich die vielen Tags die so auf engem Raum zusammenkommen gegenseitig möglichst nicht negativ beeinflussen, um das Auslesen aller Tags zu gewährleisten.

3.2 Automatisierung

Zur Vereinfachung der Versuchsdurchführungen wurde eine bewegliche automatische Messeinrichtung aufgebaut, um möglichst einfach an vielen Messpunkten Daten sammeln zu können. Abbildung 3.1 zeigt den mobilen Teil der Apparatur mit der Antenne. Dieser wird dann auf Schienen an den Regalen vorbeigeführt, wie man in Abbildung 3.2 sehen kann. Dieser Aufbau ermöglicht auch eine Simulation des Szenarios, in dem entweder ein Mensch oder ein autonomes Fahrzeug eine Antenne durch ein Ladengeschäft bewegen soll.

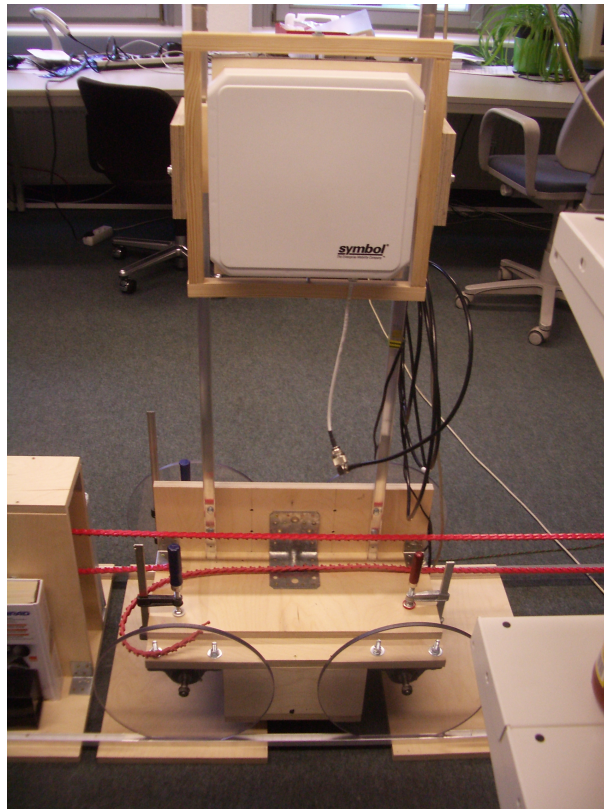


Abbildung 3.1: Der Roboterwagen

Die Ansteuerung erfolgt über ein Particle. Particles sind eine vom TecO entwickelte Plattform, mit welcher sich schnell ubiquitäre Computerumgebungen aufbauen lassen. Mehr Informationen dazu finden sich im Internet unter <http://particles.teco.edu/>. In diesem Fall dient das Particle, welches durch die Messsoftware die Steuerungsdaten erhält, dazu, den Roboter entsprechend zu positionieren und auch die aktuelle Position zurückzusenden.

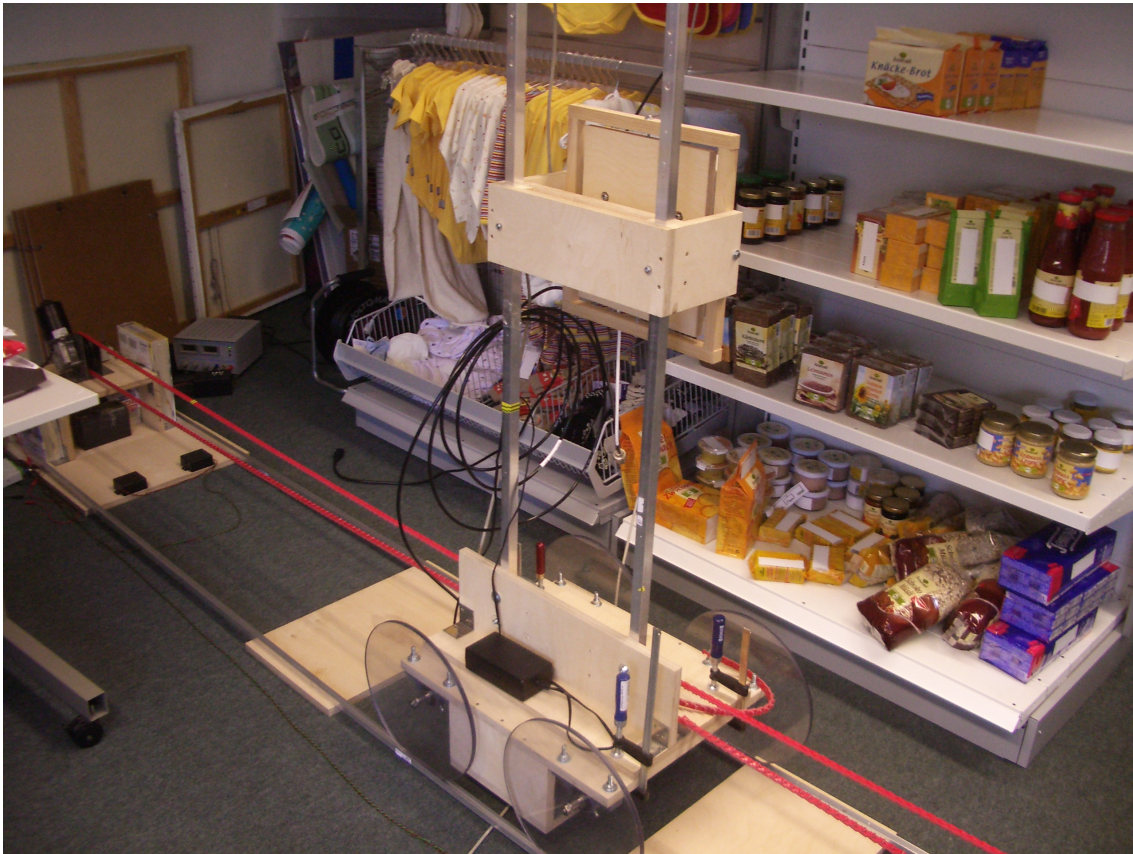


Abbildung 3.2: Der gesamte Versuchsaufbau

3.3 Speicherung

Zur Speicherung der Messergebnisse des Lesegerätes und der Position der Roboters wurde eine Ausgabe als csv-Datei implementiert, um so eine möglichst große Kompatibilität zu verschiedenen Auswertungswerkzeugen zu gewährleisten.

Außerdem wurde eine Schnittstelle zu MySQL integriert, um die Ergebnisse auch in einer Datenbank speichern zu können. Dies soll später eine Integration in bestehende Systeme ermöglichen.

3.4 Konfiguration

Um eine einfache Anpassung der Messsoftware und der automatischen Messeinrichtung aus 3.2 auf die einzelnen Testläufe zu erzielen wurde eine Konfigurationsschnittstelle über eine XML-Datei realisiert. Darin können auf einfache Weise Parameter wie “Anzahl der Durchläufe” oder “Schrittweite” eingestellt werden. So können gezielt Messpunkte angefahren werden und dort Messungen durchgeführt werden.

Ein Beispiel für eine solche Konfigurationsdatei sieht wie folgt aus:

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
```

```
<root>
```

```

<config>

  <saveCSV>yes</saveCSV>
  <CSVfileName>results.csv</CSVfileName>

  <saveSQL>yes</saveSQL>
  <SQLdataBase>db01</SQLdataBase>
  <SQLdataTable>table</SQLdataTable>
  <SQLserverName>127.0.0.1</SQLserverName>
  <SQLuserName>user</SQLuserName>
  <SQLuserPasswd>secret</SQLuserPasswd>

  <readerName>192.0.2.42</readerName>
  <readerPort>3000</readerPort>
  <readerAttenuationStepSize>1</readerAttenuationStepSize>
  <missedReads>5</missedReads>
  <quickRead>no</quickRead>

  <particlesSendPort>5556</particlesSendPort>
  <particlesReceivePort>5555</particlesReceivePort>

</config>

<run>
  <GOBACK/>
<!--   <GO>50</GO>  -->
  <REPEAT times="200">
    <MEASURE/>
    <GO>1</GO>
  </REPEAT>
</run>

</root>

```

Innerhalb des `<root>`-Tags werden dabei alle Einstellungen gemacht. Es gibt hier zwei Unterpunkte. Der erste ist der Bereich `<config>` der die allgemeine Konfiguration enthält. Die verwendeten Tags haben folgende Bedeutung:

`<saveCSV>` Gibt an, ob die Ergebnisse der Messungen in einer CSV-Datei gespeichert werden sollen. Mögliche Werte sind *yes* und *no*.

`<CSVfileName>` Hier wird der Name der Datei angegeben, in der die Ergebnisse gespeichert werden. Die Datei wird im Verzeichnis der Anwendung abgelegt.

`<saveSQL>` Gibt an, ob die Ergebnisse der Messungen in einer SQL-Datenbank gespeichert werden sollen. Mögliche Werte sind *yes* und *no*.

`<SQLdataBase>` Gibt den Datenbanknamen an, in der die Ergebnisse gespeichert werden sollen.

<**SQLdataTable**> Gibt den Namen der Tabelle an, in der die Ergebnisse gespeichert werden sollen.

<**SQLserverName**> Hier wird der Name des SQL-Servers angegeben. Bisher wird nur die direkte Eingabe der IP-Adresse unterstützt.

<**SQLuserName**> Der Nutzernamen mit dem sich das Programm an der Datenbank anmelden soll.

<**SQLuserPasswd**> Das Passwort mit dem sich das Programm an der Datenbank anmelden soll.

<**readerName**> Hier wird die Adresse des RFID-Readers angegeben. Bisher wird nur die direkte Eingabe der IP-Adresse unterstützt.

<**readerPort**> Der TCP-Port auf dem der RFID-Reader angesprochen wird.

<**readerAttenuation**> Die Schrittweite mit der die Antennendämpfung angepasst wird. Mögliche Eingabewerte sind 1 bis 255. Wird eine 0 eingetragen, so werden die Messungen durchgeführt ohne dass die Dämpfung gesteigert wird. Es wird dann immer mit maximaler Sendeleistung gelesen.

<**missedReads**> Gibt an, nach wie vielen Dämpfungsschritten der aktuelle Lesevorgang abgebrochen wird. Dazu muss <readerAttenuation> zwischen 1 und 255 sein und <quickRead> *no* sein.

<**quickRead**> Gibt an ob, bei der Anpassung der Antennendämpfung zur Beschleunigung des Suchvorgangs nach dem Prinzip der Binärsuche vorgegangen werden soll. Mögliche Werte sind *yes* und *no*.

<**particlesSendPort**> Der Port auf dem der Particle zur Steuerung des Roboterwagens angesprochen wird.

<**particlesReceivePort**> Der Port auf dem der Particle des Roboterwagens die aktuelle Position sendet.

Der zweite Bereich ist der <run>-Abschnitt. Hier wird die Abfolge der Messungen festgelegt. Die möglichen Tags zur Steuerung sehen wie folgt aus:

<**REPEAT**> Die Befehle die innerhalb eines REPEAT stehen werden wiederholt ausgeführt. Die Anzahl der Wiederholungen wird mit <REPEAT times="n"> eingestellt. Es ist möglich auch innerhalb eines REPEAT noch beliebig viele REPEAT unterzubringen.

<**GO**> Mit GO wird der Roboterwagen die hier angegebene Anzahl an Ticks weitergefahren.

<**GOBACK**> Mit GOBACK fährt der Roboterwagen zurück in die Ausgangsposition.

<**GoNonBlocking**> Mit GoNonBlocking wird der Roboterwagen die angegebene Anzahl Ticks weitergewegt. Im Gegensatz zu <GO> wird aber das Programm nicht blockiert bis der Roboter die endgültige Position erreicht hat, sondern es wird direkt zum nächsten Befehl weitergegangen. So sind zum Beispiel Messungen während der Bewegung des Roboters möglich.

<**MEASURE**> Mit MEASURE wird eine Lesung des RFID-Readers angestoßen, so wie sie im Abschnitt <config> beschrieben wurde.

<**MEASUREmasked**> In diesem Tag kann eine Bitmaske angegeben. Es werden dann nur Tags ausgelesen, die dieser Bitmaske entsprechen.

3.5 Messmethodik

Um messen zu können, wie gut sich ein Tag an einem Produkt lesen lässt, oder wie stark die Eigenschaften eines Produktes die Lesbarkeit beeinträchtigen, wurde nach den Erkenntnissen aus [HTMF07] die Entfernung der Antenne zum Produkt als Methode verworfen und stattdessen die Dämpfung der Antenne schrittweise erhöht. So lassen sich Einflüsse des Raumes und andere Störeinflüsse besser ausschließen.

Wünschenswert wäre auch ein Auslesen der *Received Signal Strength Indication (RSSI)*, um genauere Aussagen über die Lesbarkeit eines Tags zu gewinnen und die Position genauer bestimmen zu können. Mit dem zur Verfügung stehenden Lesegerät ist dies aber nicht machbar, da die dazu notwendigen Schnittstellen am Lesegerät nicht zur Verfügung stehen.

Untersucht wird auch der Einfluss verschiedener Winkel der Antennen zueinander. Dazu werden sowohl die Antenne des Readers, also auch die jeweiligen Tags im Raum gedreht.

Um den praktischen Einsatz zu simulieren muss dann vor einem Regal mit realen Produkten, an denen jeweils ein Tag angebracht wird, an möglichst vielen Positionen gemessen werden.

4. Evaluierung

Die Versuche wurden in Gruppen aufgeteilt. Der erste Abschnitt beschäftigt sich mit grundlegenden Versuchen, die etwas über den Messaufbau und die verwendeten Geräte aussagen. Der nächste behandelt den unterschiedlichen Aufbau der Tags, der darauf folgende verschiedene Produkte und Verpackungen. Im letzten Teil geht es um die bestmögliche Anbringung der Tags an einem Produkt.

4.1 Grundlegende Versuche

4.1.1 Nachweis der Antennenkeule

Um ein ungefähres Bild von der Charakteristik der verwendeten Antenne zu bekommen wurde versucht die Antennenkeule, wie in Kapitel 2.2 beschrieben, nachzuweisen. Es wurden 40 Tags vom Typ “Dog Bone” auf eine Korkfläche geklebt, wie nachfolgend in Abbildung 4.1 dargestellt. Die Antenne wurde mittig, mit einem Abstand von $d = 70\text{cm}$ davor aufgebaut.

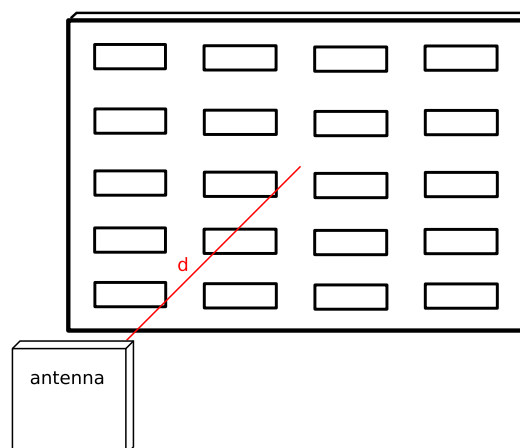


Abbildung 4.1: Skizze des Versuchsaufbaus

Da eine Variation des Abstandes d nicht so einfach durchzuführen war und um die im Kapitel 3.5 beschriebenen Probleme zu vermeiden, wurde dann die Antennendämpfung variiert.

Durch die extreme Breite der Keule dieser Antenne, der relativ geringen Anzahl an Tags und dem nur begrenzt zur Verfügung stehenden Raum konnte aber lediglich die Spitze dieser Antennenkeule nachgewiesen werden. Diese zeigt aber schon die Breite der Keule, der lesbare Bereich vor der Antenne beträgt in alle Richtungen nahezu 180° .

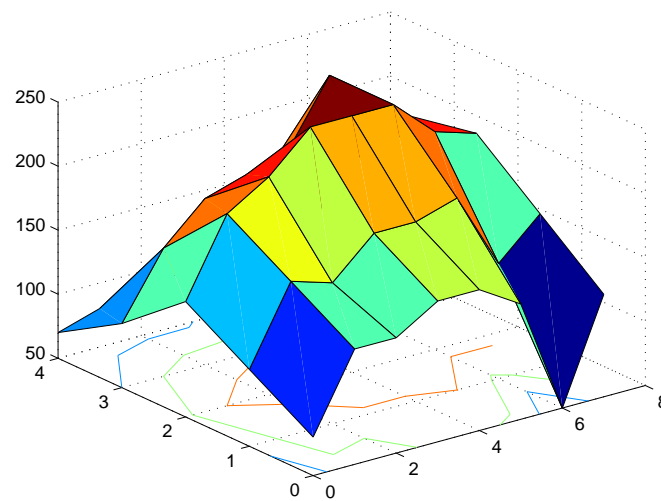


Abbildung 4.2: Spitze der Antennenkeule

4.1.2 Wiederholbarkeit der Versuche

Ein weiterer Punkt der hier untersucht wurde ist die Wiederholbarkeit der Versuche. Dazu wurden drei Testläufe mit dem gleichen Versuchsaufbau gefahren. Die nachfolgende Grafik 4.3 zeigt deutlich die gleichbleibende Form der Kurven. Externe Störeinflüsse lassen sich also ausschließen.

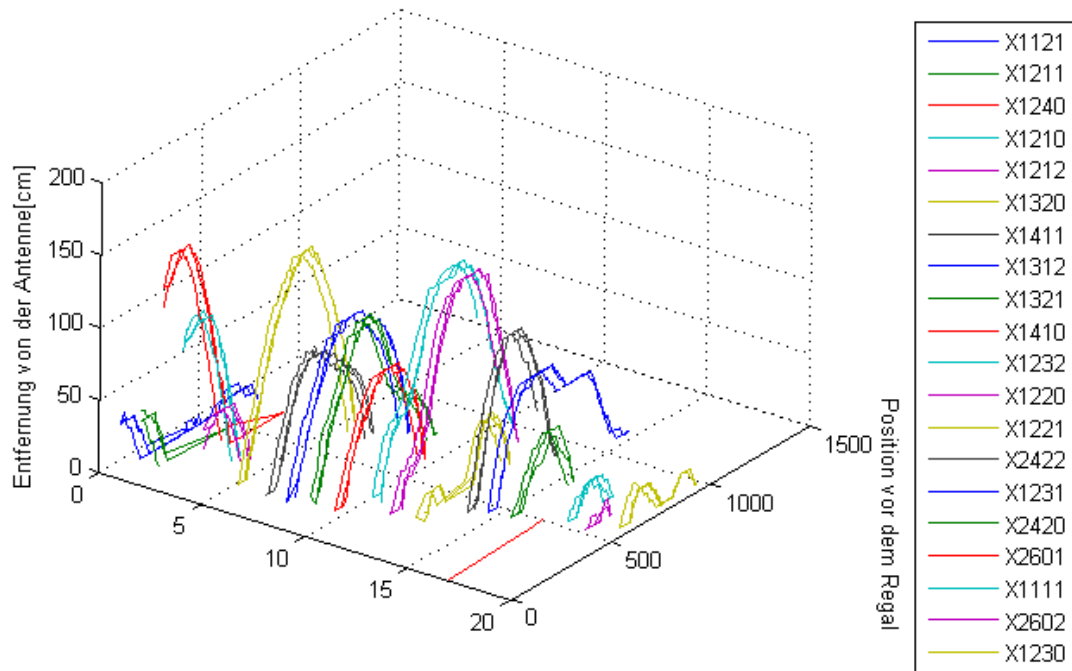


Abbildung 4.3: Auswertung

Die leichten Verschiebungen auf der x-Achse kommen wahrscheinlich von einer leichten Abweichung der Positionsangaben des Roboters. Diese können bei einem Richtungswechsel entstehen.

4.1.3 Entfernung

In diesem Versuch ging es um die Auswirkung des Abstandes der Antenne zu den Produktregalen. Dazu wurde der Versuchsaufbau ähnlich wie in 4.3.3 angelegt.



Abbildung 4.4: Versuchsaufbau

Die insgesamt 27 Tags wurden wieder von links nach rechts durchnummeriert. Der Roboter wurde einmal so aufgebaut, dass die Antenne 40cm von der Regalstange

vorbeifuhr und einmal mit einem Abstand von 66cm. Die Ergebnisse werden in den Abbildungen 4.5 und 4.6 gezeigt.

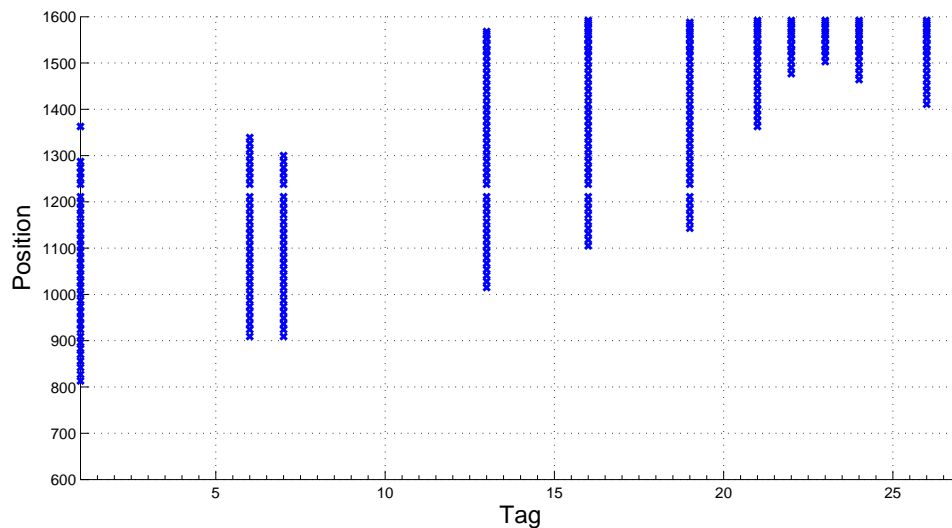


Abbildung 4.5: Auswertung mit einem Abstand von 40cm

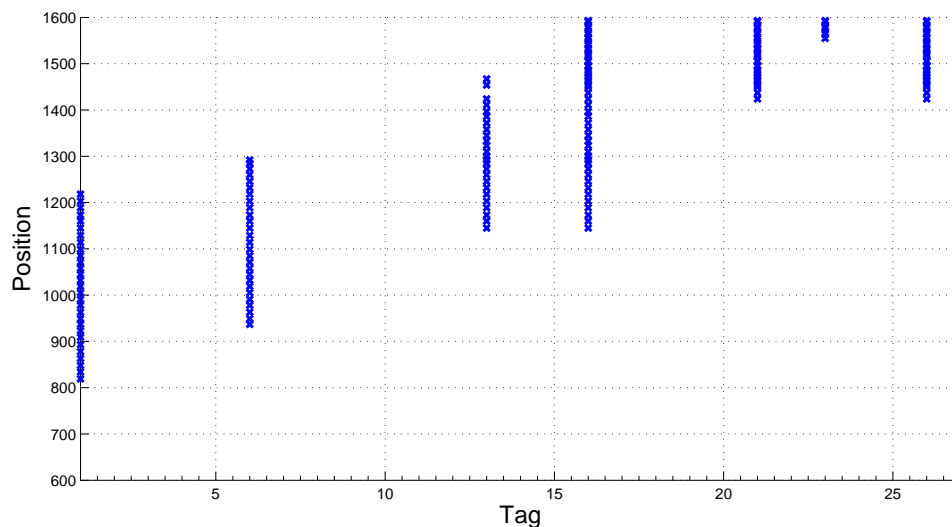


Abbildung 4.6: Auswertung mit einem Abstand von 66cm

Interessant ist dabei, dass bei einem Abstand von 40cm, wie er auch in dem Versuch 4.3.3 war, wieder genau 12 Tags gelesen wurden. Bei einem Abstand von 66cm waren es dann aber nur noch 7 Tags. Die Leserate verschlechterte sich also von 44% auf 26%.

4.2 Vergleich verschiedener Tag Typen

In den ersten Versuchen geht es um die Evaluierung verschiedener Tags. Zum einen wurde die Leistungsfähigkeit verschiedener schon im Handel erhältlicher Tags mit

unterschiedlichen Antennenlayouts verglichen, um so eventuell auf eine besonders geeignete Antennenform schließen zu können.

Es wird somit klar, dass durch eine geeignete Antennenform noch deutliche Verbesserungen möglich sind. So sind die Antennen von MAN den 2x4 von Symbol sehr ähnlich, weisen aber deutlich schlechtere Leseigenschaften auf. Mehr Informationen zu diesem Thema finden sich zum Beispiel in IEEE-Artikel [RNL05].

Um weiter Aussagen treffen zu können welche Tags für den Einsatz geeignet scheinen muss auch untersucht werden aus welchen Materialien sich die besten Leseigenschaften ableiten lassen.

Hierzu wurden die Tags aus A.2 verwendet. Diese sind durch die gleichen Chips und Antennenformen, aber unterschiedlichen Herstellungsverfahren, gerade für diesen Vergleich geeignet. Die unterschiedlichen Herstellungsverfahren setzen unterschiedliche Materialien voraus, hier wurden Straps aus Papier und PET genutzt, die Antennen wurden mit unterschiedlichen Silbertinten gedruckt, die Chips wurden aufgeklebt oder aufgelötet, das Antennendesign war hierbei immer gleich, ebenso wie der genutzte Chip.

Die große Serienstreuung bei der Fertigung der Tags lässt allerdings die Frage offen, ob diese Aussage statistisch haltbar ist. Die Serienstreuung ist allerdings auch bei rein maschinell gefertigten, kommerziell genutzten Produkten recht groß. Hier können nur größer angelegte Versuchreihen statistisch gesicherte Ergebnisse liefern.

4.2.1 Kommerzielle Tags

Die erste Gruppe von Tags, die für die Versuche zur Verfügung standen, waren Tags aus der Serienproduktion. Es sind passive Tags die im Frequenzbereich von 868 MHz (UHF) arbeiten. Diese Tags sind eigentlich selbstklebend, die jedoch aufgrund der Wiederverwendbarkeit mit Klebestreifen an den zu testenden Produkte angebracht wurden.

Die Messungen zum Vergleich der Lesbarkeit wurden einmal an Packungen mit Müsli-Riegeln der Firma Schwartau (CORNY) und einmal an Tetra-Packs durchgeführt. Es wurde jeweils ein Tag an einer Packung angebracht und nur diese eine Packung wurde gelesen. Hierbei wurde die maximale Entfernung, bei der der Tag noch gelesen wurde ausgemessen.

Nr.	Name	Hersteller	Abmessungen [cm]	Corny [cm]	TetraPak [cm]
1	Dog Bone	Rafsec	9 x 2	7	-
2	4-T	Symbol	9 x 9	16	10
3	2x4	Symbol	9 x 4	50	50
4	single dipole	Symbol	3 x 2	12	-
5	N/A	Mühlbauer	11,5 x 3,5	30	-
6	N/A	MAN	8 x 2,5	-	-

Klar ersichtlich ist hier die deutliche Überlegenheit der 2x4 Tags von Symbol und die generell schlechte Lesbarkeit von den mit Flüssigkeit gefüllten Tetra-Packs.

Zum Vergleich der konventionellen Tags 1 bis 5 wurde als Nr. 6 noch ein gedruckter Tag von MAN gemessen. Diese Technik schneidet schlechter ab, es muss also

abgewägt werden ob die Kosteneinsparung bei der Produktion die schlechteren Leseigenschaften rechtfertigen kann.

4.2.2 TUC + MAN

In diesem Abschnitt folgt die Auswertung der von der TU Chemnitz gestellten Tags. Zur Verfügung standen 16 verschiedene Typen, wobei von jedem Typ die 3 besten Tags zur Evaluierung verwendet wurden. Eine Verbesserung mancher Tags durch Erhitzen der Kontaktstellen ist bei diesem Versuch noch nicht erfolgt.

Der Testaufbau bestand aus einem Regal von dm, wobei auf einem Regalbrett immer 12 Packungen Tee standen, auf deren Rückseiten jeweils ein Tag geklebt war. Es wurden immer 3 Tags des gleichen Typs hintereinander in eine Reihe gestellt. Die Antenne fuhr auf einem Roboter montiert, parallel zum Regal daran vorbei. Die Skizze 4.7 veranschaulicht den Aufbau.

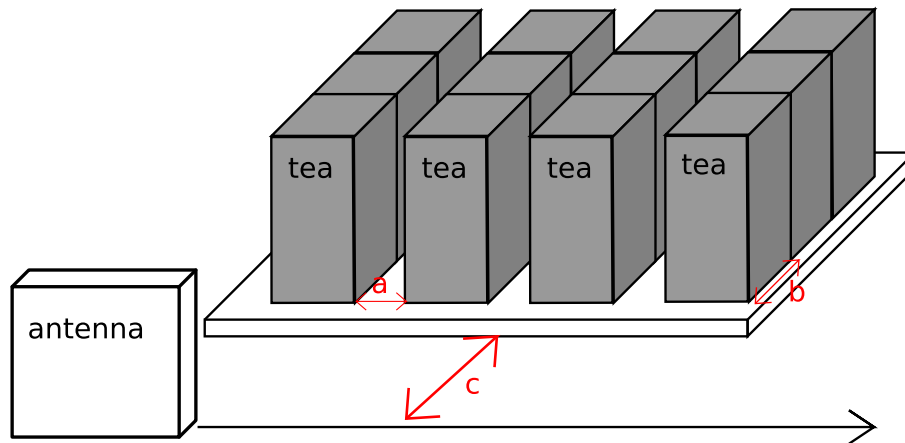


Abbildung 4.7: Skizze des Versuchsaufbaus

Der Abstand (a) zwischen den Packungen beträgt 9cm. Eine Packung ist 4,5cm tief (b). Die Antenne fährt in einem Abstand von $c = 29\text{cm}$ Entfernung parallel vor dem Regal vorbei.

Eine erste Auswertung zeigt in Abbildung 4.8 eine grafische Übersicht aller Ergebnisse, um die Unterschiede in der Lesequalität zu veranschaulichen. Klar ersichtlich ist hier, dass die am besten zu lesenden Tags in der Reihe A1401X zu finden sind.

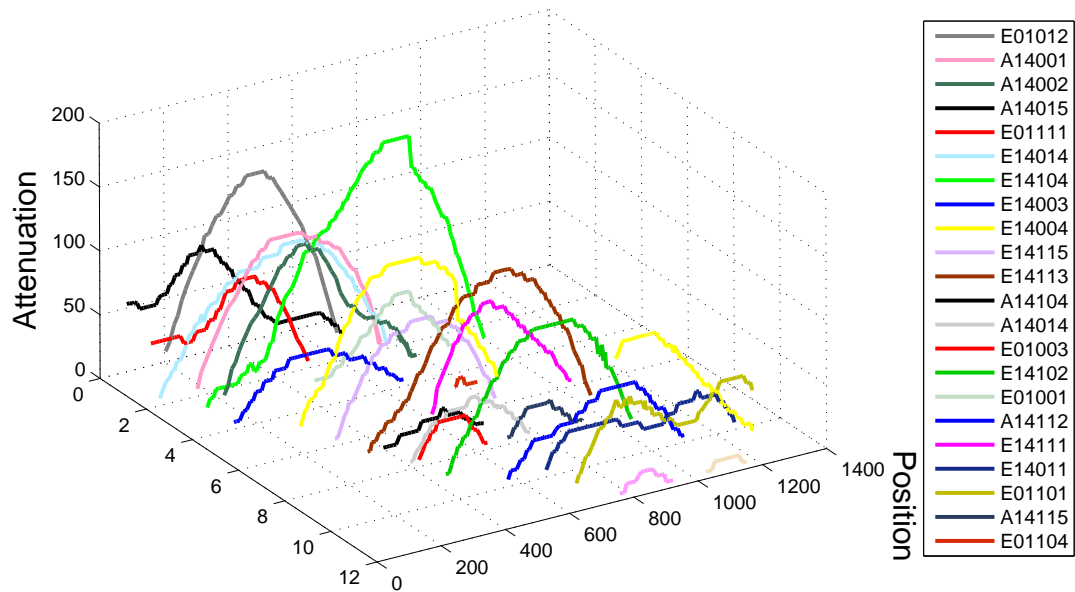


Abbildung 4.8: Übersicht über die verwendeten Tags

In einem weiteren Auswertungsschritt wurden dann die Tags mit geätzter Tinte nicht mehr berücksichtigt, was die Anzahl der zu betrachtenden Typen auf zwölf reduziert.

Im Folgenden werden drei Durchläufe unter Berücksichtigung der räumlichen Anordnung grafisch dargestellt, d.h. die in der Grafik weiter vorne stehenden Tags waren auch auf dem Regal auf den vorderen Packungen angebracht.

Die Anordnung der Tags wird durch die Tabellen verdeutlicht. Die Tags in der ersten Zeile wurden auf die hinteren Kartons geklebt, die mittleren auf die Kartons in der Mitte und die Tags aus der untersten Zeile auf die Packungen die vorne standen.

E01104	A14011	E14011	A14001
E01102	A14014	E14013	A14002
E01101	A14015	E14014	A14005

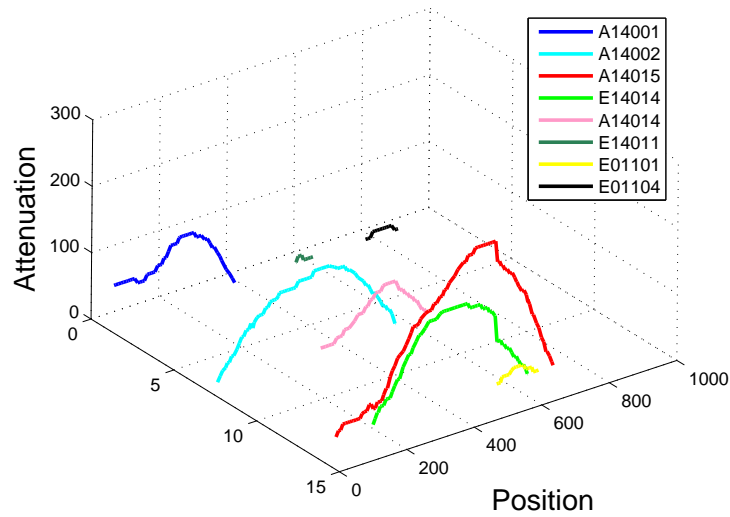


Abbildung 4.9: Auswertung des 1. Versuchs

E01001	E14004	E14102	E01011
E01002	E14005	E14103	E01012
E01003	E14003	E14104	E01013

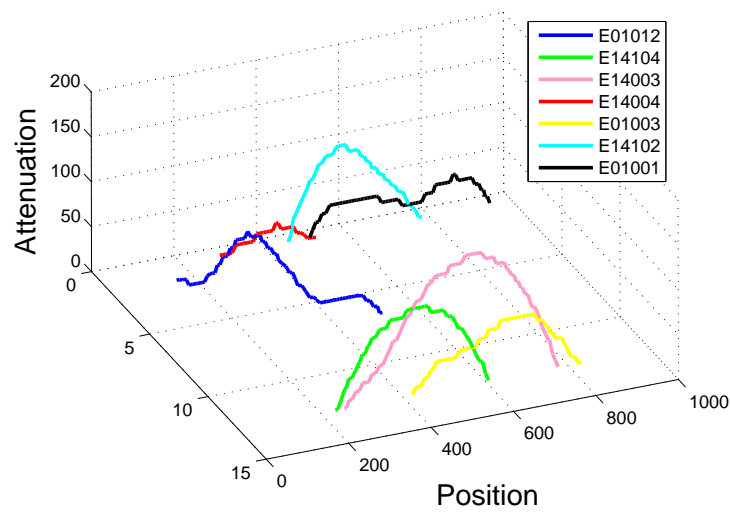


Abbildung 4.10: Auswertung des 2. Versuchs

A14112	A14103	E14111	E01114
A14114	A14101	E14113	E01112
A14115	A14104	E14115	E01111

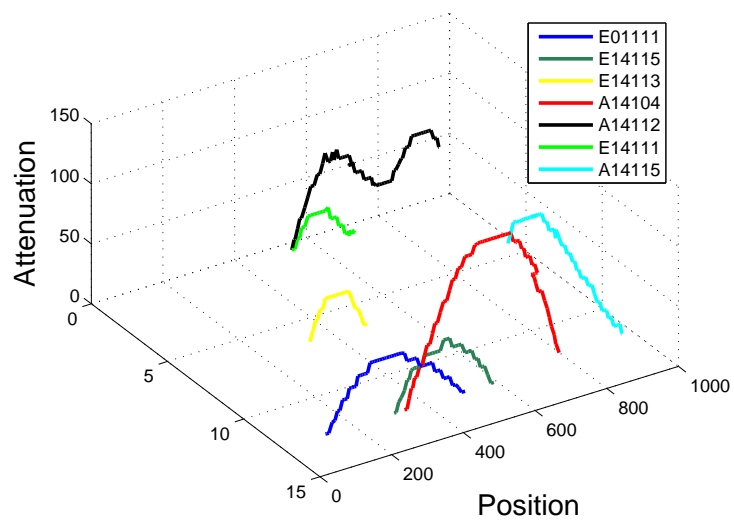


Abbildung 4.11: Auswertung des 3. Versuchs

Es folgt noch eine Liste mit den genauen Zahlenwerten der Ergebnisse der Leseversuche. Am Ende wurden zum Vergleich noch 3 MAN-Tags eingefügt.

Tag	Substrat	Strap	Verbindung	Dämpfung
A14001	PAP	Cu	3M	103
A14002	PAP	Cu	3M	127
A14014	PAP	Cu	Lot	71
A14015	PAP	Cu	Lot	223
A14104	PAP	Al	3M	127
A14112	PAP	Al	Lot	79
A14115	PAP	Al	Lot	135
E01001	COP	Cu	3M	47
E01003	COP	Cu	3M	71
E01012	COP	Cu	Lot	126
E01101	COP	Al	3M	23
E01104	COP	Al	3M	15
E01111	COP	Al	Lot	55
E14003	COP	Cu	3M	151
E14004	COP	Cu	3M	31
E14011	COP	Cu	Lot	15
E14014	COP	Cu	Lot	143
E14102	COP	Al	3M	103
E14104	COP	Al	3M	103
E14111	COP	Al	Lot	33
E14113	COP	Al	Lot	39
E14115	COP	Al	Lot	55
1	PAP			165
2	PAP			103
3	PAP			95

Liste aller Tags mit den Ergebnissen der Abstandslesungen die von der TU Chemnitz erstellt wurden.

Tag	Charge	Substrat	Antenne	Strap	Fügung	G [Ω]	K [Ω]	Leseabstand [cm]
E01001	1	PET	A001b	Cu	3M	8.8	5.9	111
E01002	1	PET	A001b	Cu	3M	6.3	3.9	130
E01003	1	PET	A001b	Cu	3M	5.9	3.7	118
E01004	1	PET	A001b	Cu	3M	6.1	3.8	102
E01005	1	PET	A001b	Cu	3M	5	3.4	110
E01011	1	PET	A001b	Cu	Lot	7.2	3.3	177
E01012	1	PET	A001b	Cu	Lot	6.1	3.7	177
E01013	1	PET	A001b	Cu	Lot	5.9	2.5	177
E01014	1	PET	A001b	Cu	Lot	19.3	8	158
E01015	1	PET	A001b	Cu	Lot	9.2	5.2	105
E01101	1	PET	A001b	Al	3M	6.8	2.8	118
E01102	1	PET	A001b	Al	3M	5	3.2	115

E01103	1	PET	A001b	Al	3M	4.7	3.1	115
E01104	1	PET	A001b	Al	3M	6	2.7	133
E01105	1	PET	A001b	Al	3M	5.4	2.1	117
E01111	1	PET	A001b	Al	Lot	10.6	6.5	173
E01112	1	PET	A001b	Al	Lot	7.8	3.7	172
E01113	1	PET	A001b	Al	Lot	6.8	3.2	173
E01114	1	PET	A001b	Al	Lot	6.8	2.7	179
E01115	1	PET	A001b	Al	Lot	9.4	6.6	174
E14001	8	PET	A014	Cu	3M	18.2	9	61
E14002	8	PET	A014	Cu	3M	10.1	6.1	62
E14003	8	PET	A014	Cu	3M	15.5	19	61
E14004	8	PET	A014	Cu	3M	20.6	11.6	63
E14005	8	PET	A014	Cu	3M	16.7	5.9	80
E14011	8	PET	A014	Cu	Lot	22	11.2	138
E14012	8	PET	A014	Cu	Lot	17.1	10.2	140
E14013	8	PET	A014	Cu	Lot	17.4	9	139
E14014	8	PET	A014	Cu	Lot	17.8	8.8	141
E14015	8	PET	A014	Cu	Lot	12.6	14.2	142
E14101	8	PET	A014	Al	3M	14.3	7.5	102
E14102	8	PET	A014	Al	3M	18.1	12.8	116
E14103	8	PET	A014	Al	3M	15.1	6.7	113
E14104	8	PET	A014	Al	3M	13.2	7.1	108
E14105	8	PET	A014	Al	3M	14.4	7.6	98
E14111	8	PET	A014	Al	Lot	20.1	9.6	141
E14112	8	PET	A014	Al	Lot	11.8	13.6	142
E14113	8	PET	A014	Al	Lot	12.5	15.2	142
E14114	8	PET	A014	Al	Lot	14.1	14.9	161
E14115	8	PET	A014	Al	Lot	15.7	7.3	92
A14001	8	PAP	A014	Cu	3M	10.1	6.6	65
A14002	8	PAP	A014	Cu	3M	11	4.9	67
A14003	8	PAP	A014	Cu	3M	10.5	4.7	59
A14004	8	PAP	A014	Cu	3M	10.1	4.8	62
A14005	8	PAP	A014	Cu	3M	10.4	5.2	49
A14011	8	PAP	A014	Cu	Lot	11	5.3	206
A14012	8	PAP	A014	Cu	Lot	12.4	6.9	158
A14013	8	PAP	A014	Cu	Lot	10.6	6.9	176
A14014	8	PAP	A014	Cu	Lot	9.3	6.2	174
A14015	8	PAP	A014	Cu	Lot	13.1	6.5	178
A14101	8	PAP	A014	Al	3M	11	4.9	67
A14102	8	PAP	A014	Al	3M	9.7	6.7	64
A14103	8	PAP	A014	Al	3M	10.3	5.8	67
A14104	8	PAP	A014	Al	3M	11.7	7.4	66
A14105	8	PAP	A014	Al	3M	11.2	6.6	64
A14111	8	PAP	A014	Al	Lot	9.4	14.2	141
A14112	8	PAP	A014	Al	Lot	11.1	4.5	143
A14113	8	PAP	A014	Al	Lot	15.5	6.9	140
A14114	8	PAP	A014	Al	Lot	13.2	6.1	175
A14115	8	PAP	A014	Al	Lot	9.5	6.6	175
C01001	0	COP	C01	Cu	3M	0.09	0.09	136
C01002	0	COP	C01	Cu	3M	0.09	0.09	141
C01003	0	COP	C01	Cu	3M	0.09	0.09	139
C01004	0	COP	C01	Cu	3M	0.09	0.09	20

C01005	0	COP	C01	Cu	3M	0.09	0.09	138
C01011	0	COP	C01	Cu	Lot	0.09	0.42	177
C01012	0	COP	C01	Cu	Lot	0.09	0.09	176
C01013	0	COP	C01	Cu	Lot	0.09	0.09	176
C01014	0	COP	C01	Cu	Lot	0.09	0.09	23
C01015	0	COP	C01	Cu	Lot	0.09	0.09	159
C01101	0	COP	C01	Al	3M	0.08	0.08	140
C01102	0	COP	C01	Al	3M	0.09	0.09	141
C01103	0	COP	C01	Al	3M	0.09	0.09	141
C01104	0	COP	C01	Al	3M	0.08	0.08	161
C01105	0	COP	C01	Al	3M	0.09	0.09	141
C01111	0	COP	C01	Al	Lot	0.09	0.09	176
C01112	0	COP	C01	Al	Lot	0.09	0.09	178
C01113	0	COP	C01	Al	Lot	0.09	0.09	179
C01114	0	COP	C01	Al	Lot	0.09	0.09	143
C01115	0	COP	C01	Al	Lot	0.09	0.09	140

4.2.2.1 Vergleich der aktuellsten TUC-Tags

Der Versuchsaufbau erfolgte wie in Kapitel 4.4.2, wobei die Tags nur in Position 1 gemessen wurden, also auf der Oberseite der Packungen.



Abbildung 4.12: Versuchsaufbau

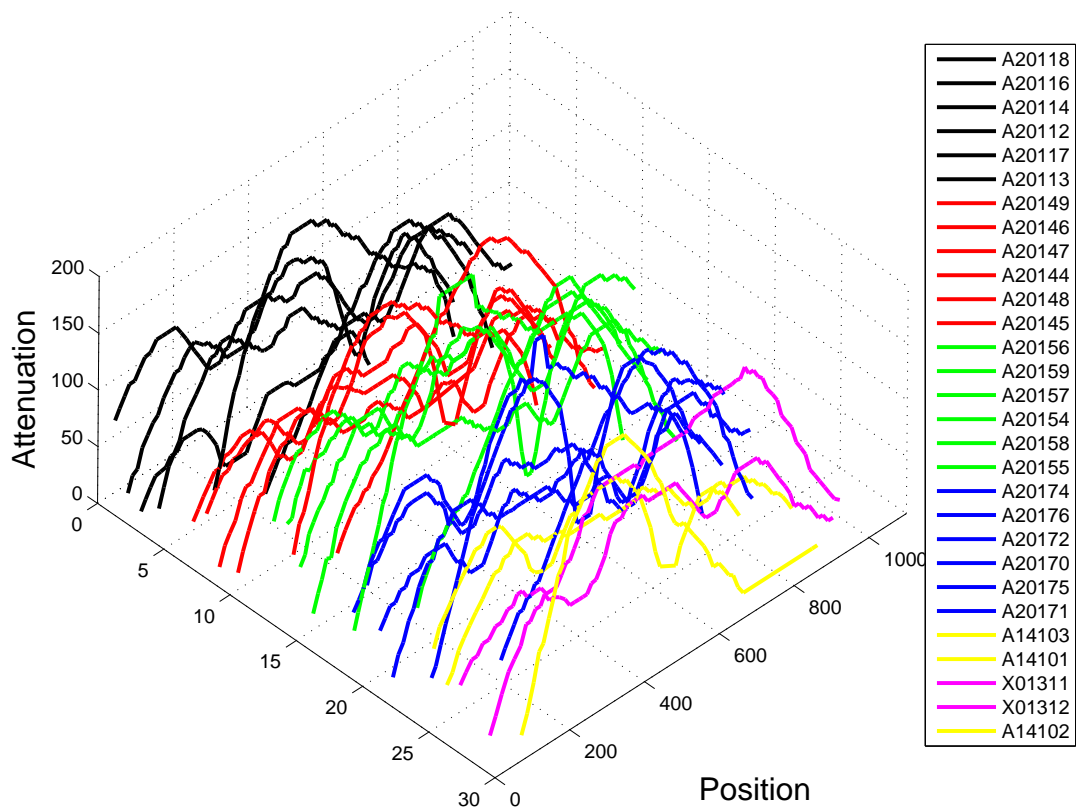
Die Tags waren dabei wie folgt den Packungen zugeordnet.

	links	rechts
hinten	X01312	A14101
	X01310	A14102
vorne	X01311	A14103
	A20114	A20118
	A20113	A20117
	A20112	A20116
	A20146	A20149
	A20145	A20148
	A20144	A20147
	A20156	A20159
	A20155	A20158
	A20154	A20157
	A20172	A20176
	A20171	A20175
	A20170	A20174

Es folgt eine kurze Übersicht über die verwendeten Tags. Die Bezeichnung PVC steht dabei für Isolierband (Coroplast) und Scotch Tape für z-leitfähige Klebstoffolie (3M/Bez.: 7303).

Tag ID	Verbindung	Sinterzeit [s]	Leseabstand [cm]
A20112	Scotch Tape	0	143
A20113	Scotch Tape	0	144
A20114	Scotch Tape	0	118
A20116	Scotch Tape	0	118
A20117	Scotch Tape	0	172
A20118	Scotch Tape	0	173
A20144	PVC	0	147
A20145	PVC	0	150
A20146	PVC	0	151
A20147	PVC	0	146
A20148	PVC	0	145
A20149	PVC	0	151
A20154	PVC	60	166
A20155	PVC	60	145
A20156	PVC	60	173
A20157	PVC	60	167
A20158	PVC	60	177
A20159	PVC	60	175
A20170	Scotch Tape	60	150
A20171	Scotch Tape	60	160
A20172	Scotch Tape	60	164
A20174	Scotch Tape	60	152
A20175	Scotch Tape	60	162
A20176	Scotch Tape	60	153

Eine Übersicht ist in der nachfolgenden Grafik einzusehen, in der alle Messwerte dargestellt werden, um erkennen zu können welche Tags am besten abschneiden. Die Tags die mit den größten Dämpfungswerten lesbar waren, waren die Reihen A2015X und A2017X (in der Grafik: grün und blau). Im Allgemeinen wurden die besten Ergebnisse mit den Tags aus der Reihe A2015X erzielt. Vorne in der Grafik (gelb und pink) wurden noch die Ergebnisse von Tags aus anderen Reihen dargestellt, um einen Vergleich zu haben.



Nun folgen noch die Ergebnisse für die verschiedenen Tags nach Typen zusammengefasst, um eine bessere visuelle Zugänglichkeit zu erhalten..

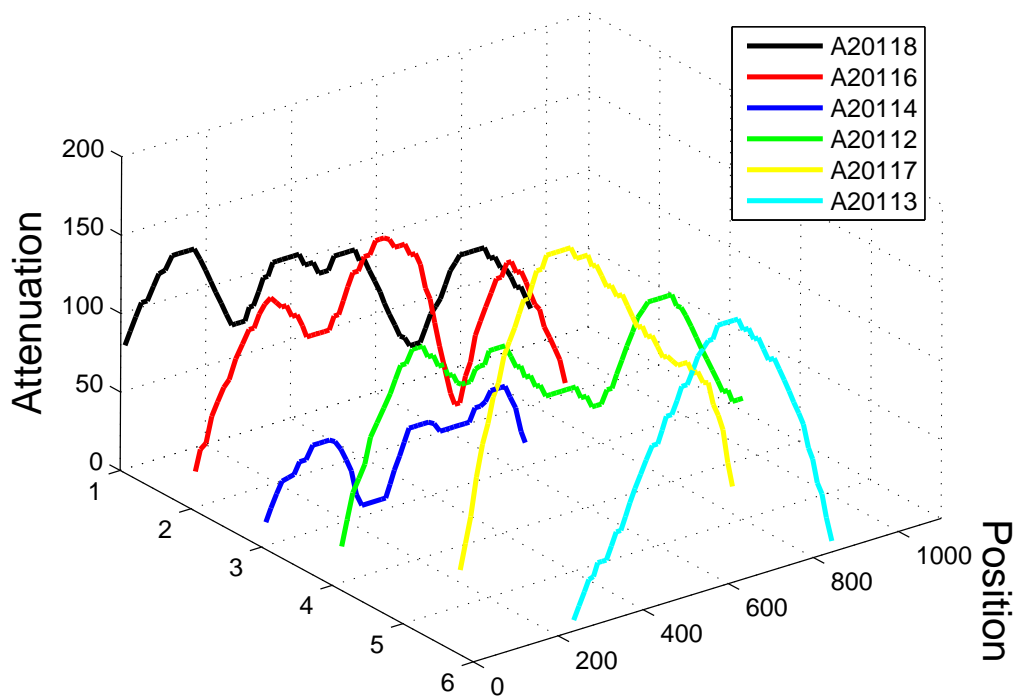


Abbildung 4.13: Auswertung der Tags A2011

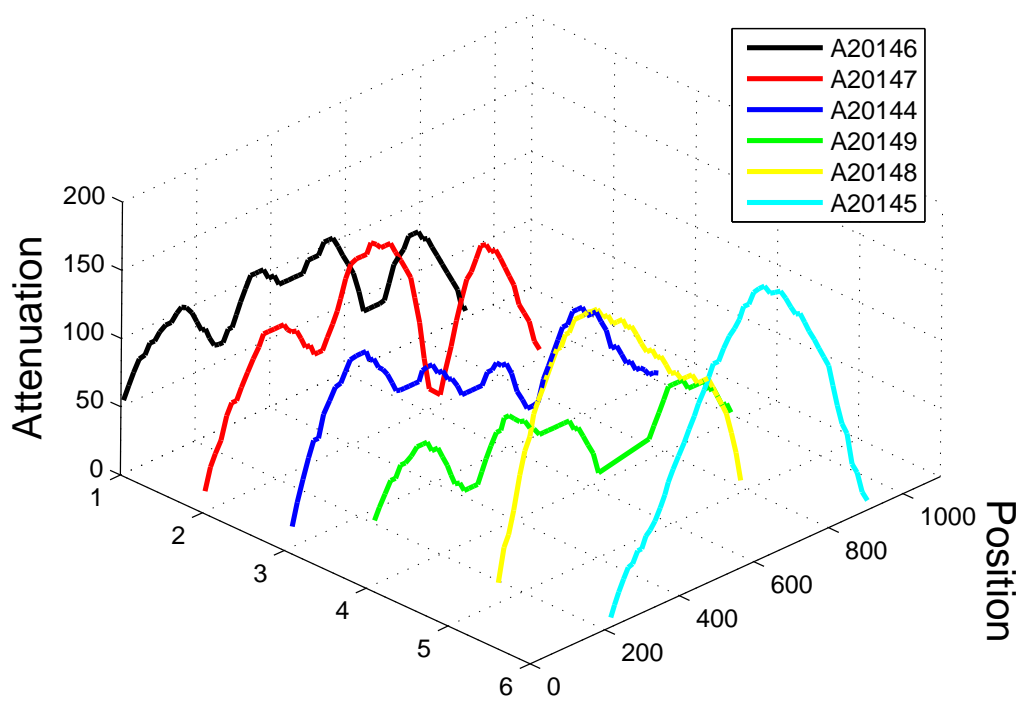


Abbildung 4.14: Auswertung der Tags A2014

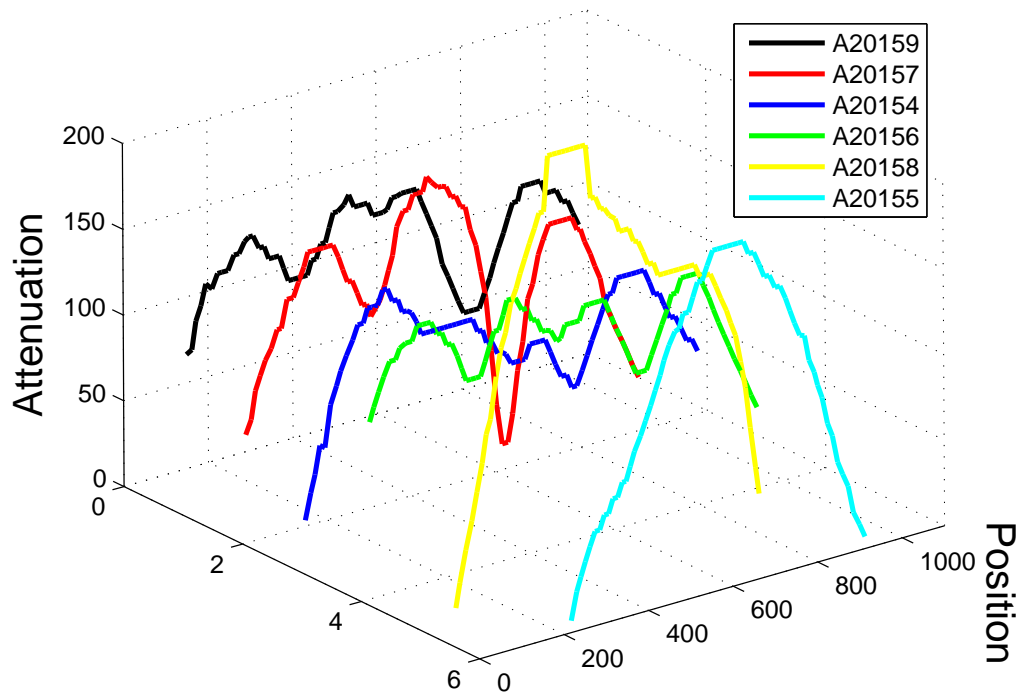


Abbildung 4.15: Auswertung der Tags A2015

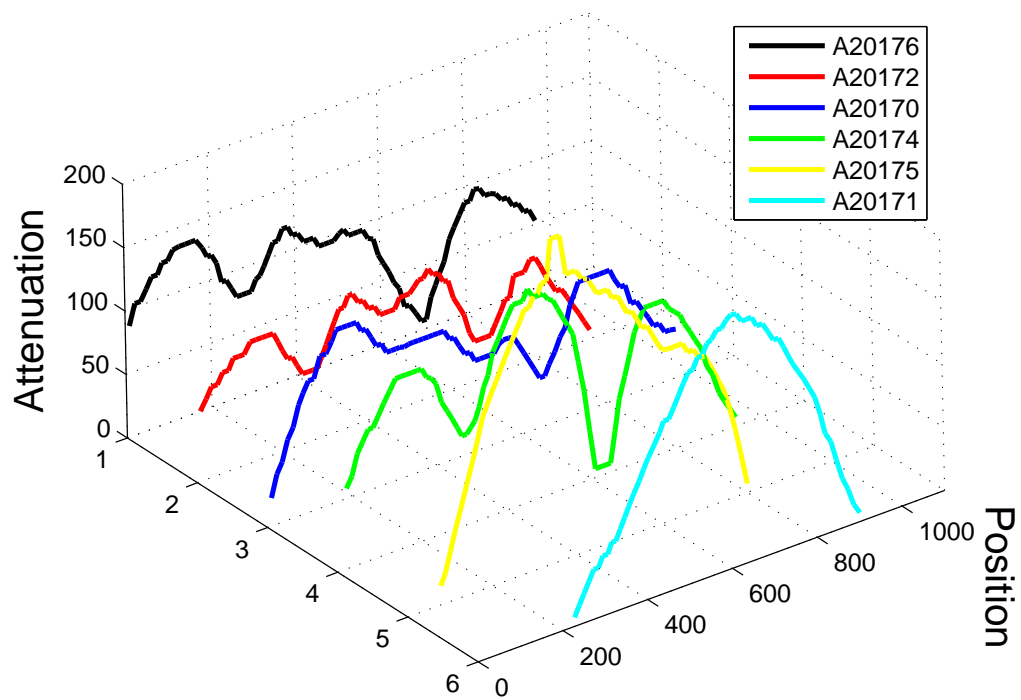


Abbildung 4.16: Auswertung der Tags A2017

4.3 Produkte und Verpackungen

Aus den Versuchen ging auch hervor, dass sich verschiedene Produkte unterschiedlich auf die Leseraten auswirken. Produkte die auf Wasser basieren, wie zum Beispiel Getränke, aber auch Tomatensauce oder Ketchup, absorbieren so viel Energie, dass eine Lesung selbst mit den besten Tags nur auf eine Distanz von nur wenigen Zentimetern möglich war. Gut eignen sich hingegen trockene Produkte, am besten mit einer geringen Dichte, wie Tee, Zwieback oder Papiertaschentücher.

Auch die Verpackung spielt hier eine Rolle. Zur Verfügung standen unter anderem Glasflaschen, beschichtetes Papier, Pappkarton und Kunststofffolien. Die verschiedenen Packungsarten werden in den folgenden Unterpunkten genauer untersucht.

Insgesamt lässt sich sagen, dass die Verpackung möglichst ohne Metall, wie in Dosen, Metallfolien und TetraPaks, auskommen sollte. Die nachstehende Tabelle 4.2 zeigt die Leseraten für verschiedene Verpackungen.

Verpackung	Leserate
Pappkarton	58%
Beschichtetes Papier	67%
Textilien (ohne Verpackung)	44%
Kunststoffolie	50%
TetraPak	0%
Dose	0%
Glasflasche	0%

Tabelle 4.2: Übersicht: Verpackungen

Man muss allerdings beachten das in den Verpackungen noch Produkte waren, welche sich auch auf die Leserate auswirken. So konnten die Glasflaschen nicht gelesen werden, da sie Flüssigkeiten enthalten. Flüssigkeiten brachten keine auswertbaren Resultate.

4.3.1 Pappkarton

Die erste nun analysierte Packungsart sind Pappkartons. Da die Tee-Packungen sich am besten lesen lassen, wurde hier auf solche zurückgegriffen. Der Aufbau bestand aus drei hintereinander stehenden Schachteln (siehe Abbildung 4.17).



Abbildung 4.17: Versuchsaufbau

In der Abbildung 4.18 wird die Lesequalität für die Packungen hintereinander grafisch dargestellt. Hier erkennt man sehr schön die Abnahme der Lesbarkeit für die hinteren Tags. Es tritt bei so wenigen Tags jedoch schon eine Abweichung von der erwarteten Kurvenform für den hinteren Tag auf (leichte Delle in der grünen Kurve).

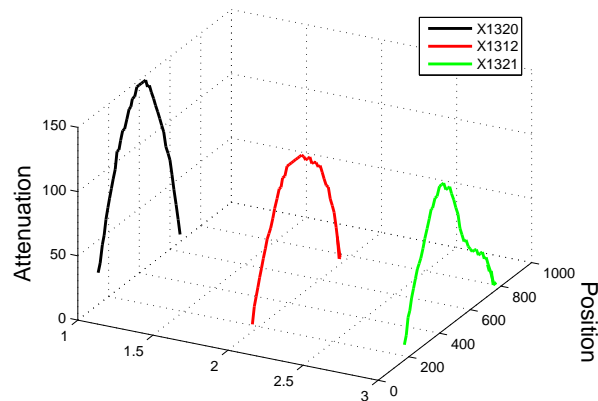


Abbildung 4.18: Ergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen in der Übersichtstabelle, die Tags sind nach ihrer Anordnung im Regal sortiert.

Tag	beste Dämpfung	durchschnittliche Dämpfung
X1320	183	119
X1321	143	73
X1312	135	90

4.3.2 Beschichtetes Papier

Zum Test dieser Verpackungsart wurde auf Knäckebrötchen zurückgegriffen. Dieses ist in festes Papier mit Kunststoffbeschichtung eingepackt.

Der Versuchsaufbau wurde so gewählt, dass sich gleich mehrere verschiedene Packungstypen testen lassen. Dazu wurden die Produkte auf einer Ebene des Regals aufgebaut. Es standen immer mehrere Produkte vom gleichen Typ hintereinander und der Messwagen fuhr wie gewohnt parallel daran vorbei.



Abbildung 4.19: Versuchsaufbau

Diese Sorte lies sich ziemlich gut lesen, es wurden 4 der 6 hintereinander gestellten Packungen gelesen, wobei die dritte und sechste Packung (von vorne) nicht gelesen wurden. Wie gut die einzelnen Tags gelesen wurden zeigt die nachfolgende Grafik 4.20.

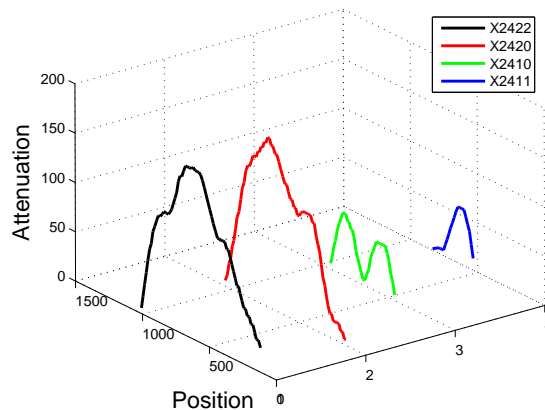


Abbildung 4.20: Ergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen in der Übersichtstabelle, die Tags sind nach ihrer Anordnung im Regal sortiert.

Tag	beste Dämpfung	durchschnittliche Dämpfung
X2422	218	131
X2420	215	122
X2421	-	-
X2410	79	45
X2411	71	38
X2412	-	-

4.3.3 Baby Push

Bei diesem Versuch wurden keine Verpackungen getestet, sondern Textilien die auf Kleiderbügeln hängen.

Die Antenne durch die automatische Messeinrichtung in einer Höhe von 130cm an dem Regal mit Kleinkind-Kleidung vorbei bewegt, wobei die Anordnung der Kleider nach den Vorschriften von *dm* erfolgte.



Abbildung 4.21: Versuchsaufbau

Es hingen 27 Artikel an der Stange in der Mitte. Die Tags wurden auf die an den Kleidern schon vorhandenen Etiketten geklebt und von rechts nach links nummeriert. Von den insgesamt 27 Tags wurden 12 Tags gelesen, was einer Leserate von nur 44% entspricht. In der Grafik lässt sich erkennen, dass gerade im mittleren Bereich wo die Schlafanzüge recht eng nebeneinander hängen, die Leserate besonders schlecht war.

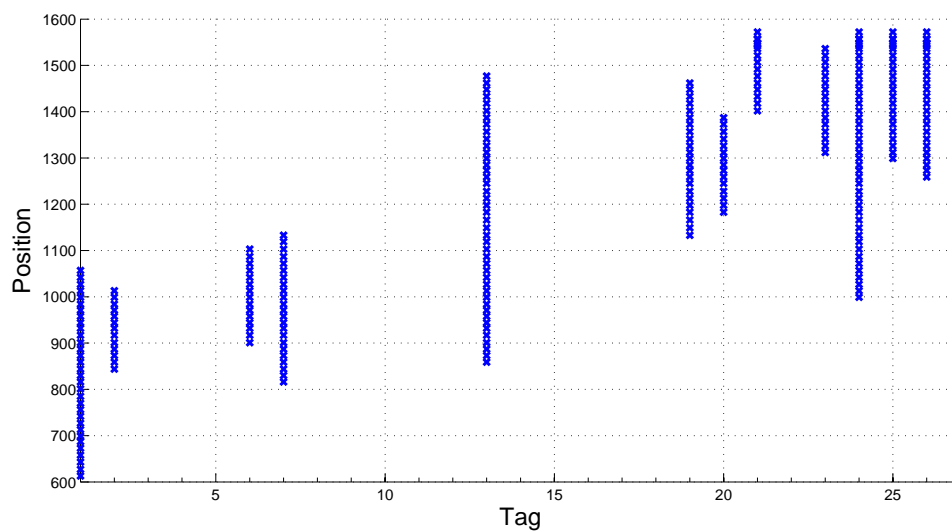


Abbildung 4.22: Auswertung

In einem weiteren Versuch wurden die Kleidungsstücke so aufgehängt, dass zwischen allen der gleiche Abstand war. Das hat zwar die Eigenschaften der Lesung verändert, doch die Quantität von 12 gelesenen Tags blieb gleich.

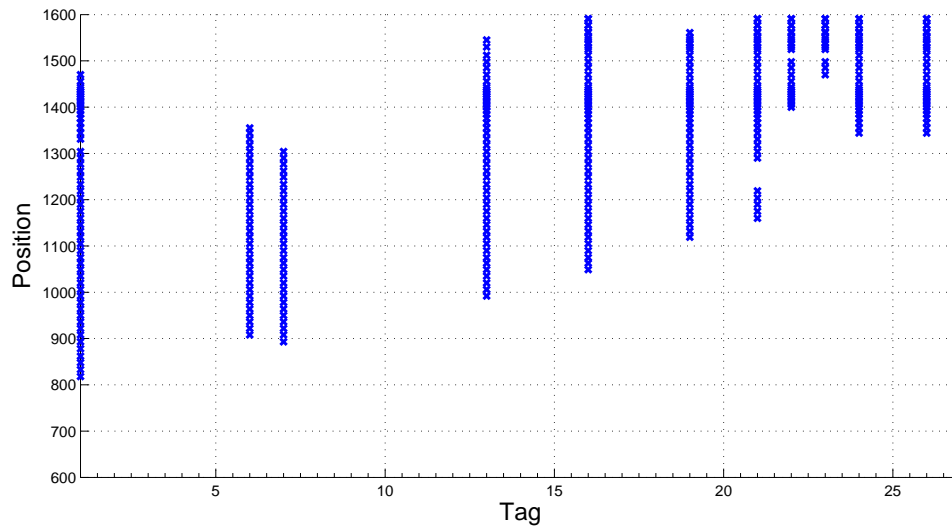


Abbildung 4.23: Auswertung des zweiten Versuchs

4.3.4 Kunststoffolie

In diesem Abschnitt folgen die Ergebnisse für den Versuch mit Tüten aus Kunststoffolie. Die hier zur Verfügung stehenden Produkte sind Müsli- und Körnerpackungen. Es wurden vier verschiedene Produkte nebeneinander gestellt und von jeder Produktsorte jeweils drei hintereinander.



Abbildung 4.24: Versuchsaufbau

	links		rechts	
hinten	3042	3012	3032	3022
	3041	3011	3031	3021
vorne	3040	3010	3030	3020

Die obige Tabelle veranschaulicht die Anordnung der Tags. Von den insgesamt 12 angebrachten Tags von MAN wurden 6 Stück gelesen. Das entspricht einer Leserate von 50%.

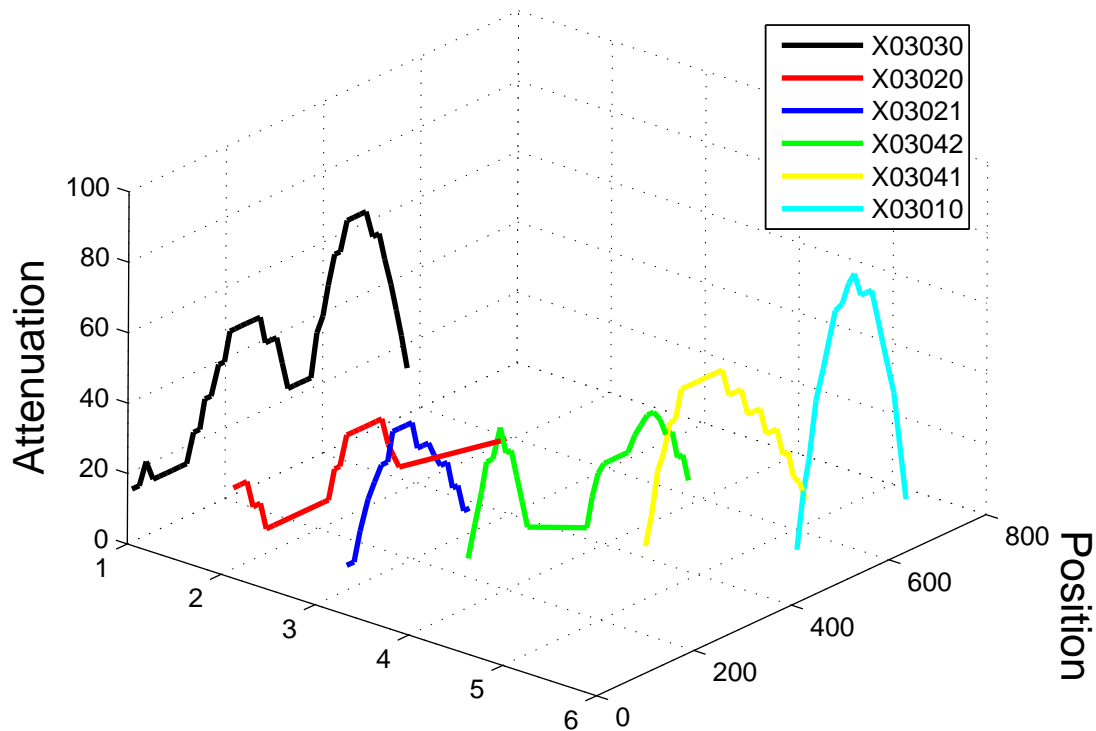


Abbildung 4.25: Auswertung

4.3.5 Andere Verpackungen

Mit den restlichen Verpackungen (Tetra-Packs, Flaschen, Dosen, etc.) wurden sehr schlechte Messergebnisse erzielt. So konnte zum Beispiel mit der in diesen Versuchen üblichen Entfernung von etwa 30cm zwischen der Antenne und dem Produkt kein einziger Tag gelesen werden. Das kann an der Verpackung liegen, aber auch am Inhalt. So wurde in den Vorversuchen festgestellt, dass eine leere PET-Flasche ziemlich gut lesbar ist, eine mit Wasser gefüllte aber kaum noch. Dagegen sind Tetra-Packs auch schon im leeren Zustand sehr schlecht zu lesen. In diesen Versuchen wurden die von *dm* gestellten Produkte aber nur gefüllt untersucht.

Die Verpackungen die hier gemessen wurden waren Gläser/Glasflaschen mit Marmelade und Ketchup, Dosen mit Brotaufstrich und TetraPaks mit Getränken.

Im nächsten Abschnitt wird dann gezeigt wie sich die Anbringung der Tags an verschiedenen Stellen der Verpackung auswirkt.

4.4 Anbringung

In diesem Aufbau geht es um den Zusammenhang zwischen der Ausrichtung der Tags, bedingt durch ihre Anbringung am Produkt und der Position des Produkts im Regal, und der Lesbarkeit.

Klare Vorteile bringt eine Anbringung die etwas Abstand zwischen den Tag und das Produkt bringt, wie zum Beispiel die Befestigung an Etiketten die lose an Kleidung hängen zeigt. Auch durch Fehler beim Ankleben der Tags an die Produkte, bei denen

sich ein Abstand von wenigen Millimetern zwischen Tag und Verpackung bildete, kann diese These unterstützt werden. So stieg durch solche Maßnahmen die Leserate deutlich an. Einen praktischen Nutzen kann man daraus aber nicht ableiten, da die Tags ja direkt auf die Verpackung gedruckt werden sollten.

Weitere Vorteile durch eine besondere Ausrichtung der Tags konnten nicht eindeutig ausgemacht werden, wie die weiteren Versuche aus diesem Abschnitt zeigen. Eine kleine Übersicht bietet die folgende Tabelle.

Position	gelesene Tags
vorne	19
hinten	21
links	20
rechts	20
oben	21
unten	7

Bis auf den Ausreißer für die Anbringung auf der Unterseite einer Packung versprechen die sonstigen Anbringungen eigentlich alle eine Leserate auf gleichem Niveau. Bei der Anbringung auf der Unterseite gerieten die Antennen der Tags wohl in Berührung mit dem Regalboden aus Metall, was die schlechte Leserate begründet. Bei einem Einsatz in der Praxis sollte also darauf geachtet werden eine solche Konstellation zu vermeiden, entweder durch andere Regale oder eine Anbringung der Tags an anderer Stelle und einer Beachtung dieser Umstände beim Einsortieren der Waren in die Regale.

In den Vorversuchen konnte jedoch tendenziell eine etwas bessere Leseleistung bei auf der Oberseite angebrachten Tags festgestellt werden, sofern diese mit ihrer Antenne parallel zum darüberliegenden Regalboden ausgerichtet waren.

4.4.1 Kontinuierliche Lesungen mit variierender Anbringung und Orientierung

In diesem Abschnitt wird gezeigt, wie sich die Ausrichtung der Tags bedingt durch ihre Positionierung auf dem Produkt und die Orientierung des Tags im Antennenfeld die Lesbarkeit beeinflusst. Dazu wurden 30 Tags auf die Produkte geklebt und dann Messungen für die unterschiedlichen Positionen und Orientierungen durchgeführt. Es wurden Messungen an mehreren Produkten parallel durchgeführt, um die Praxis-Tauglichkeit zu analysieren.

Zuerst werden die Messungen mit den Tags auf der Vorderseite beschrieben, erkennbar in Abbildung 4.26. Die weiteren Positionierungen und Orientierungen können für den jeweiligen Graphen von der Bildunterschrift abgelesen werden.



Abbildung 4.26: Versuchsaufbau

Da die Güte der Lesbarkeit in diesem Fall nicht relevant erschien und um die Messungen zu beschleunigen, wurde auf eine Anpassung der Dämpfung (Attenuation) der Antenne verzichtet und nur gemessen, ob an einer bestimmten Position ein Tag lesbar war oder nicht.

Die Tag Nummer auf der X-Achse in der grafischen Auswertung stimmt mit der entsprechenden Nummer im Bild des Versuchsaufbau überein.

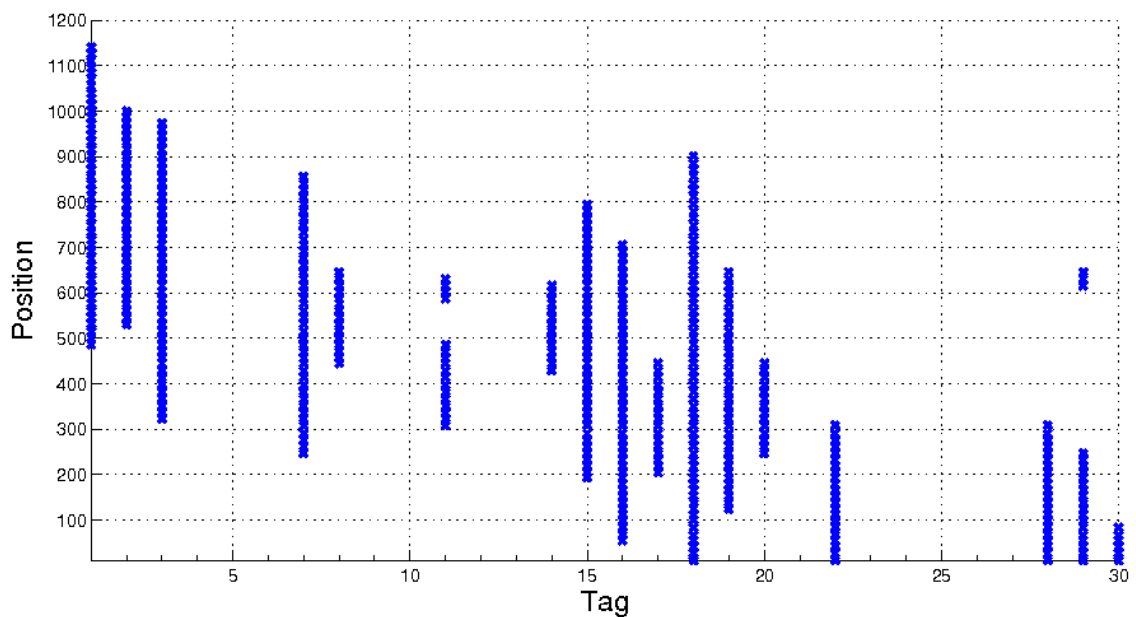


Abbildung 4.27: Tags auf der Vorderseite

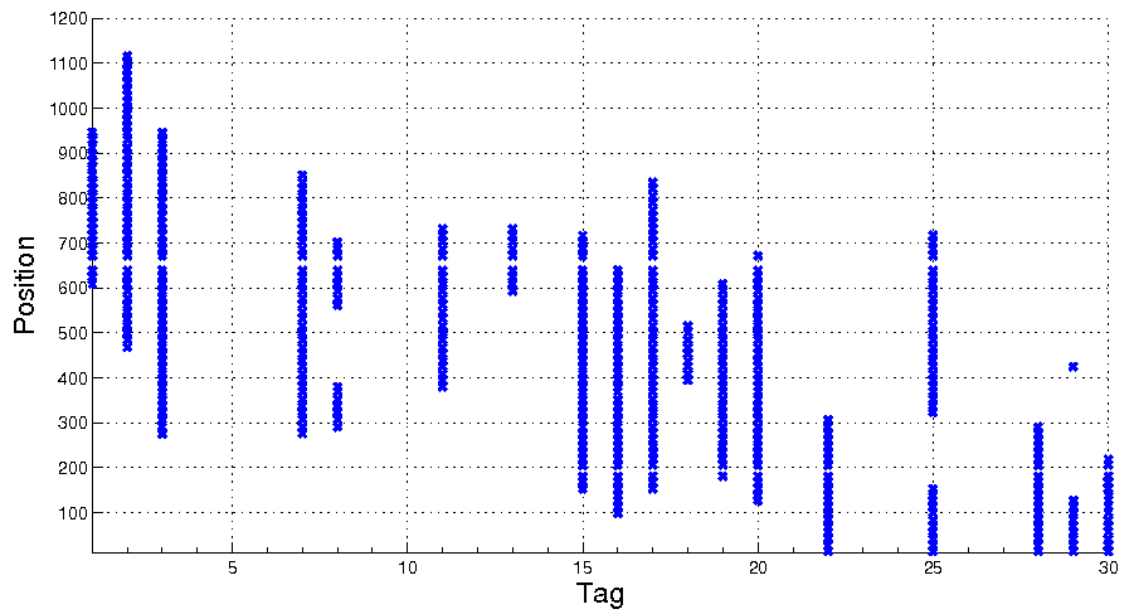


Abbildung 4.28: Tags auf der Rückseite

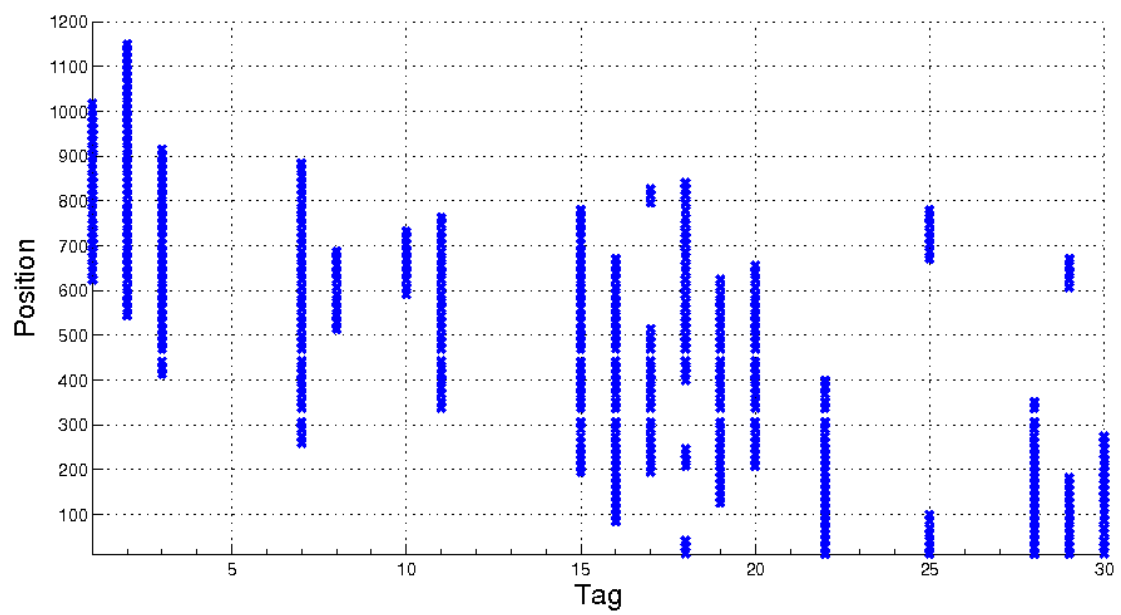


Abbildung 4.29: Tags auf der linken Seite

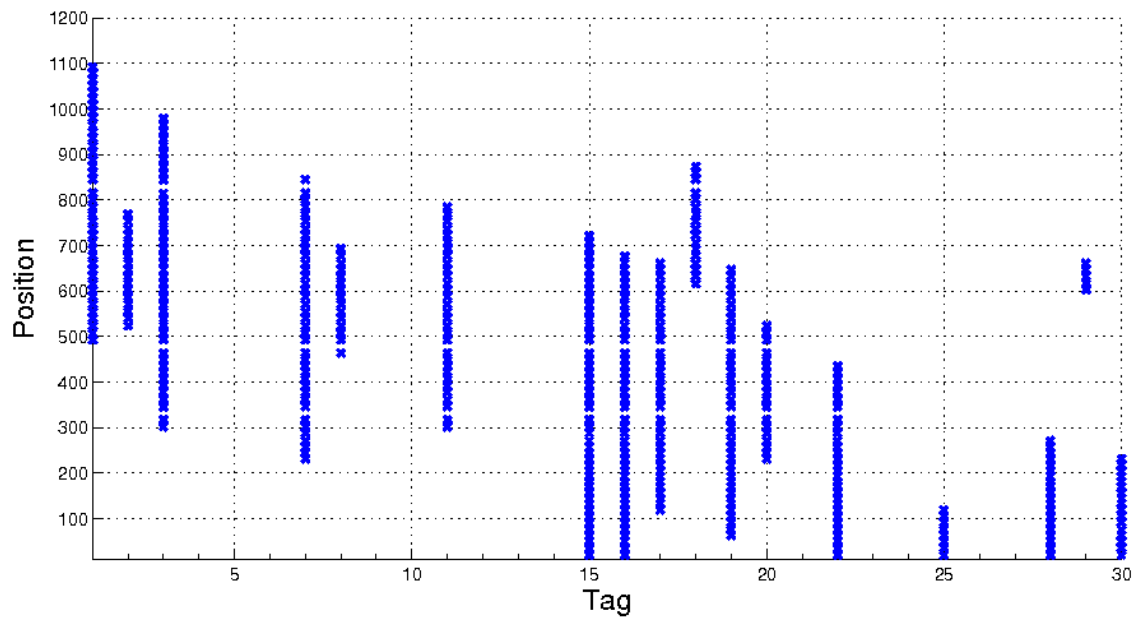


Abbildung 4.30: Tags auf der rechten Seite

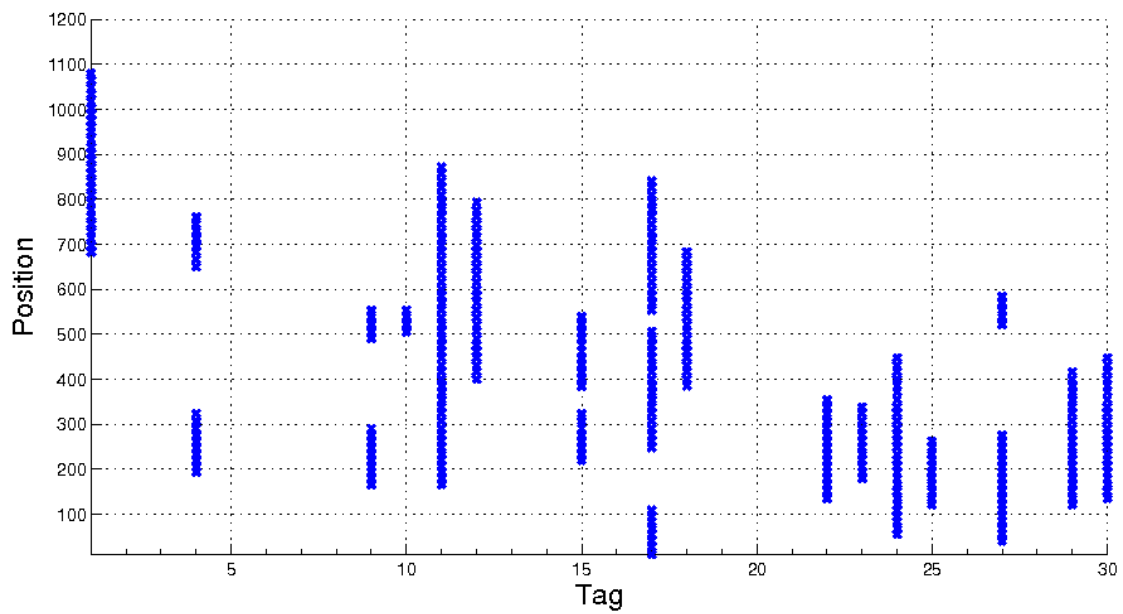


Abbildung 4.31: Tags auf der Oberseite

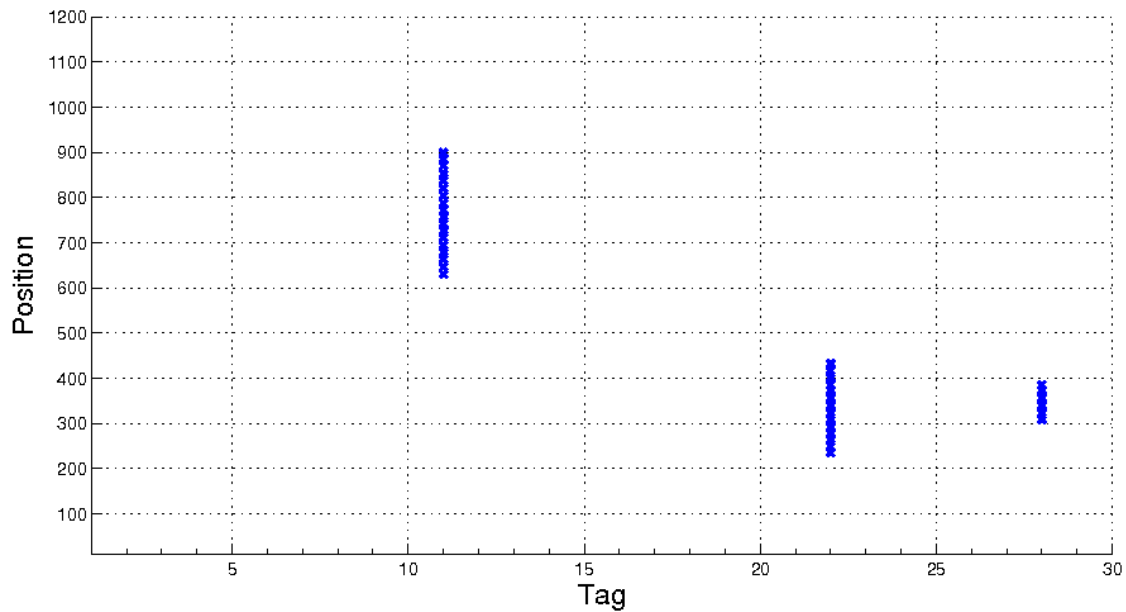


Abbildung 4.32: Tags auf der Unterseite

Die Streifen in den Grafiken, z.B. in Abbildung 4.28 bei Schritt 200 und zwischen den Schritten 600 und 700, wurden anhand von Unregelmäßigkeiten im Betrieb der Messeinrichtung (Sprünge durch höheren Widerstand an bestimmten Stellen) verursacht.

Als Zusammenfassung stellt die folgende Tabelle nochmals die Anzahl der gelesenen Tags dar und den Prozentsatz bezogen auf die 30 vorhandenen Tags.

Position	gelesene Tags	Leserate [%]
vorne	17	57
hinten	18	60
links	18	60
rechts	17	57
oben	16	53
unten	3	10

Es lässt sich hier kaum eine Position erkennen, die einen deutlichen Vorteil versprechen würde. Lediglich die Position der Tags unterhalb der Produkte, und somit direkt auf dem Regalboden aus Metall, zeigt deutlich schlechtere Lese-Eigenschaften.

In den vorherigen Versuchen (allererste Tests) konnten jedoch tendenziell etwas bessere Lesungen bei auf der Oberseite angebrachten Tags festgestellt werden, sofern diese mit ihrer Antenne parallel zum darüber liegenden Regalboden ausgerichtet waren. Dies könnte mit Reflexionen dieses Regalbodens auf die Tag-Oberseite erklärt werden. Genauere Aussagen müssten mit einem Simulator zur Strahl-Verfolgung (ray-tracing) zu erhalten sein.

4.4.2 Lesungen verschiedener Orientierungen mit variierender Dämpfung der Lese-Energie

In diesem Versuch geht es um den Einfluss der Ausrichtung der Antenne bei einer vorgegebenen Position des Tags auf dem Produkt.

Der Messaufbau bestand aus 6 Produkten, die wie in der folgenden Abbildung 4.33 in zwei 3er-Reihen angebracht waren.



Abbildung 4.33: Versuchsaufbau

Die Tags waren dabei wie folgt den Packungen zugeordnet:

	links	rechts
hinten	X01312	A14101
	X01310	A14102
vorne	X01311	A14103

Es wurden die Tags an verschiedenen Positionen angebracht und die Messungen durchgeführt. Aus Simplifizierungsgründen werden die Positionen wie in der nachstehenden Skizze mit den Nummern 1 bis 4 benannt.

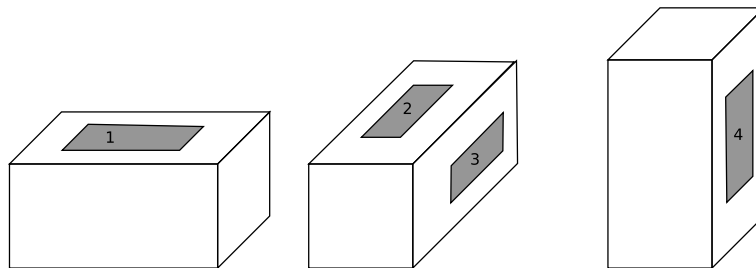


Abbildung 4.34: Anbringung der Tags

In jeder Position wurde einmal mit dem Chip zum Produkt zeigend und einmal weg zeigend gemessen.

Es gibt also für die Anbringung auf der Oberseite (Position 1 und 2) vier Messungen und ebenfalls 4 für die Anbringung an der Seite (Position 3 und 4).

Aus den folgenden Grafiken lässt sich ablesen, dass eine Anbringung der Tags auf der Oberseite der Verpackung tendenziell besser ist. Eine klare Empfehlung auf welcher Seite der Tag anzubringen ist, kann aber nicht gegeben werden, da zum Beispiel für Position 3 und 4 gerade die entgegengesetzte Richtung besser zu sein scheint.

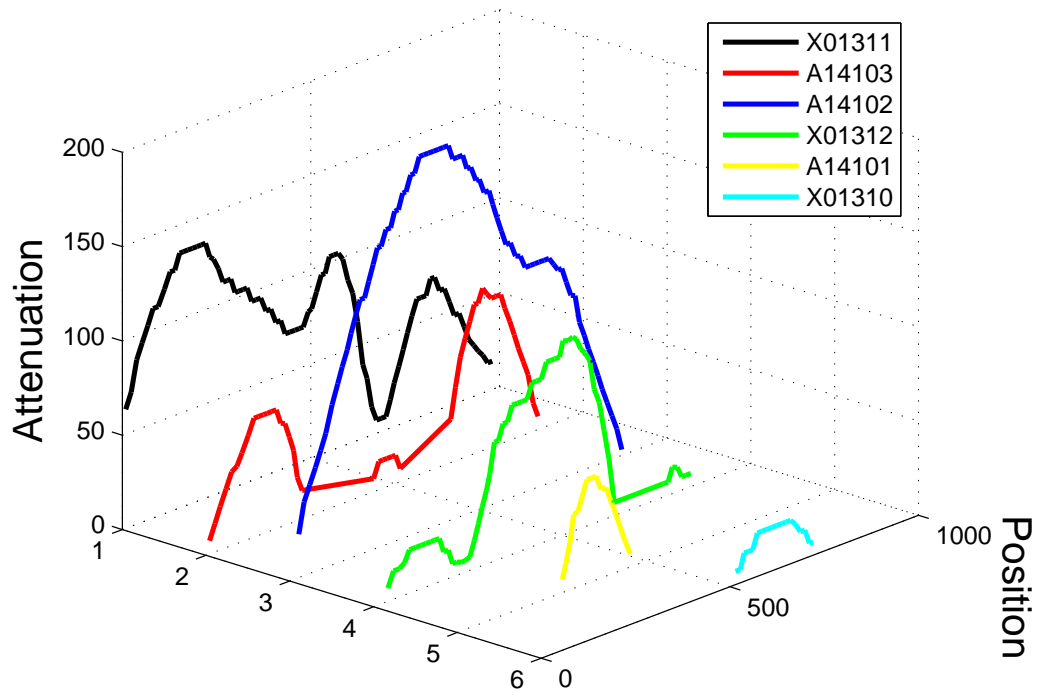


Abbildung 4.35: Position 1, Chip oben

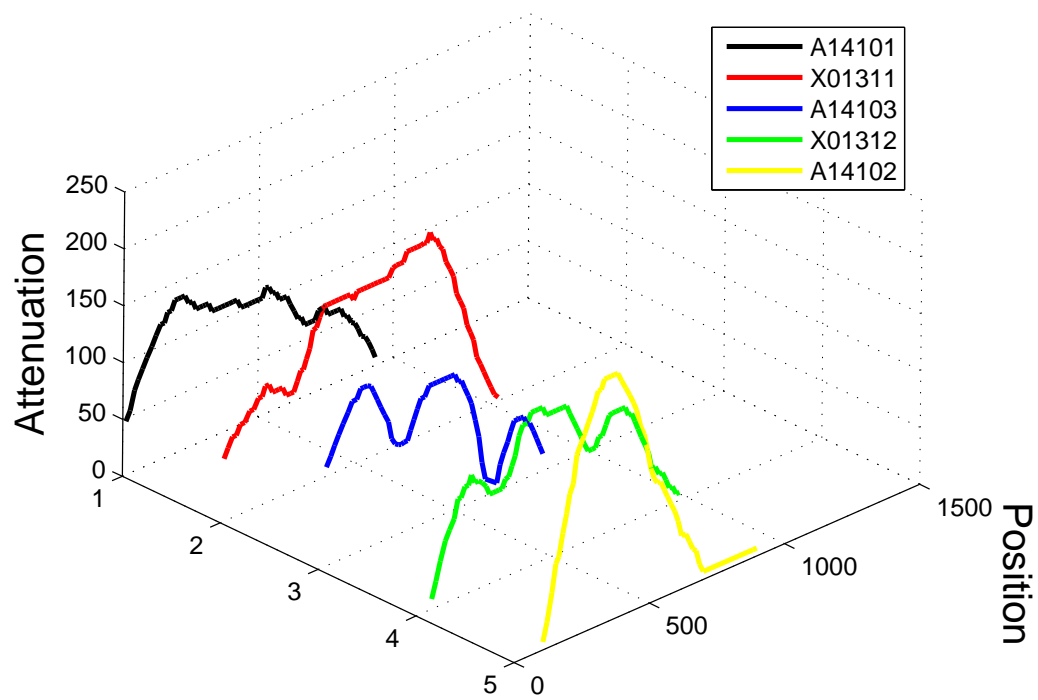


Abbildung 4.36: Position 1, Chip unten

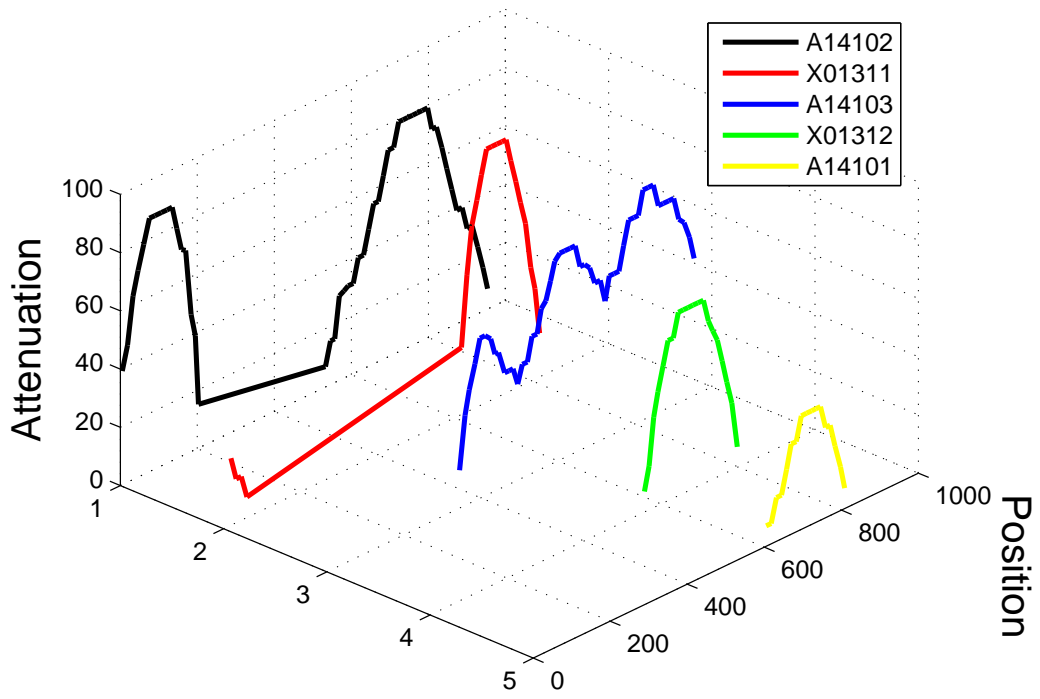


Abbildung 4.37: Position 2, Chip oben

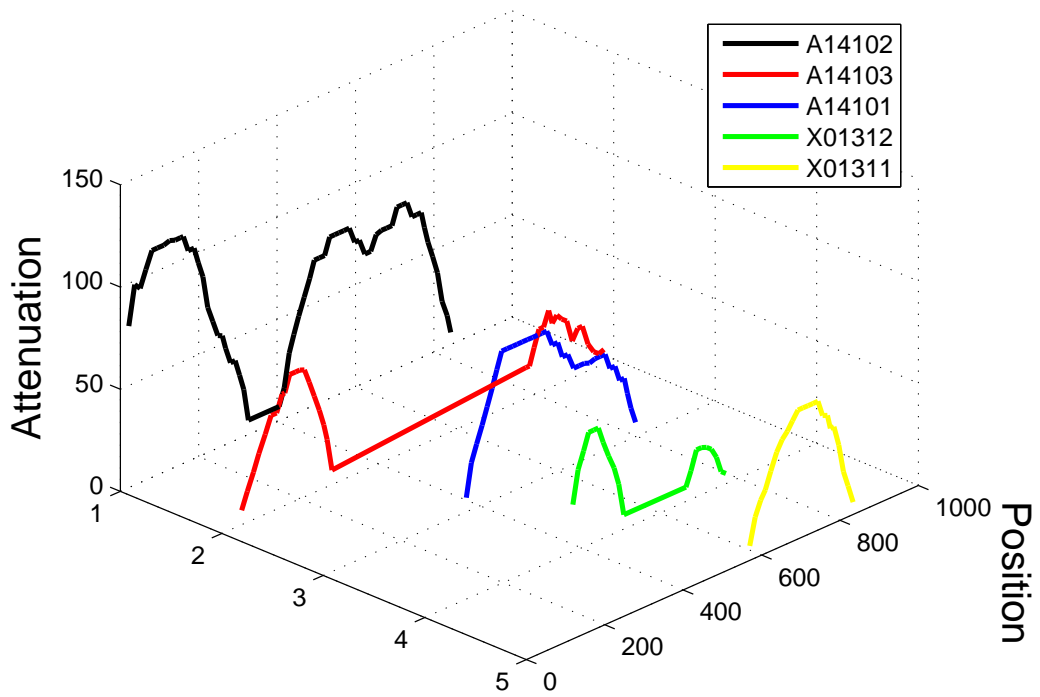


Abbildung 4.38: Position 2, Chip unten

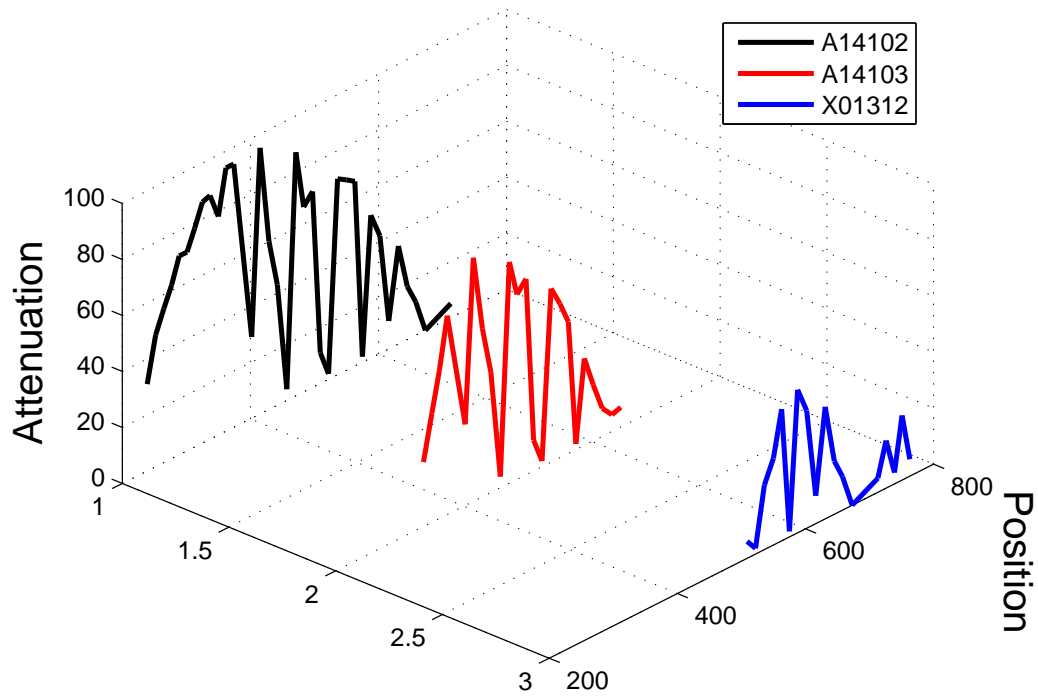


Abbildung 4.39: Position 3, Chip links

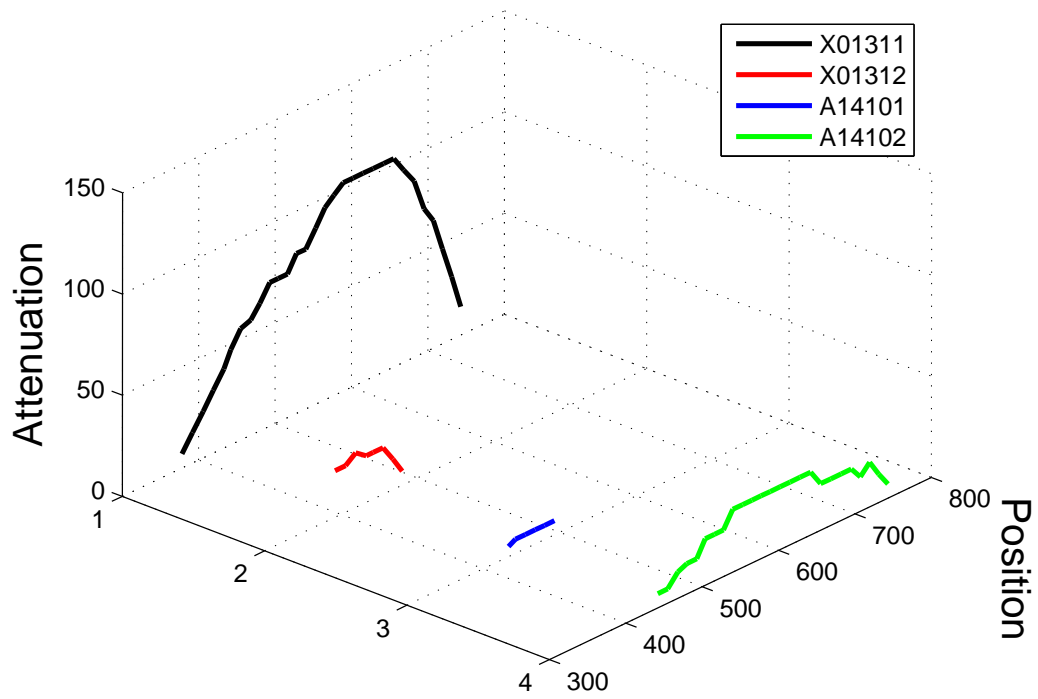


Abbildung 4.40: Position 3, Chip rechts

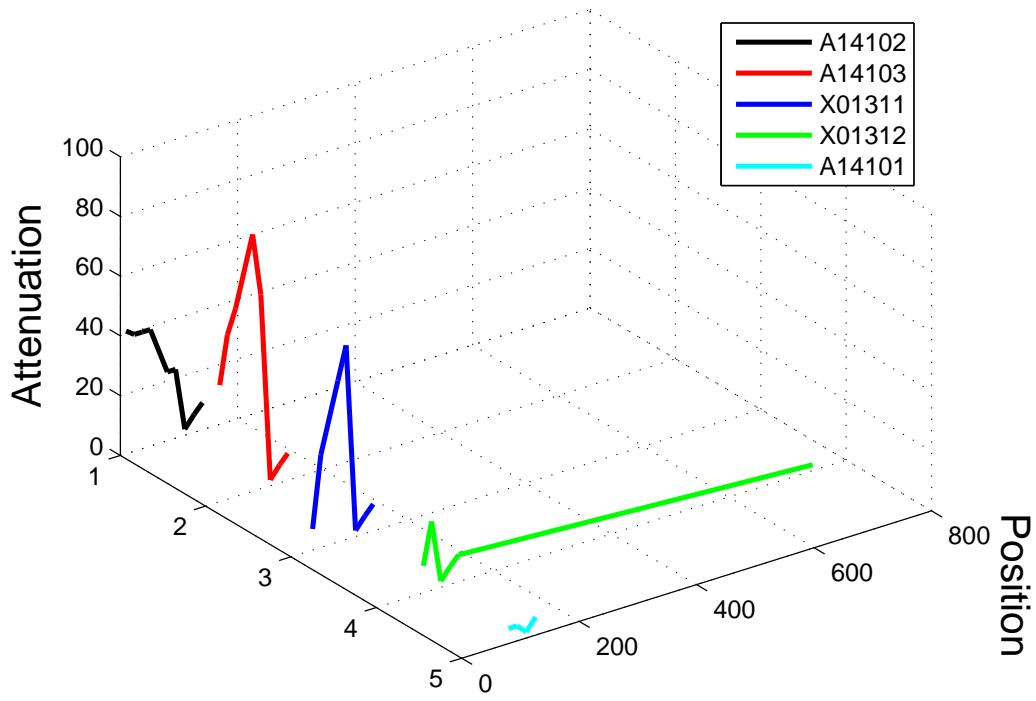


Abbildung 4.41: Position 4, Chip links

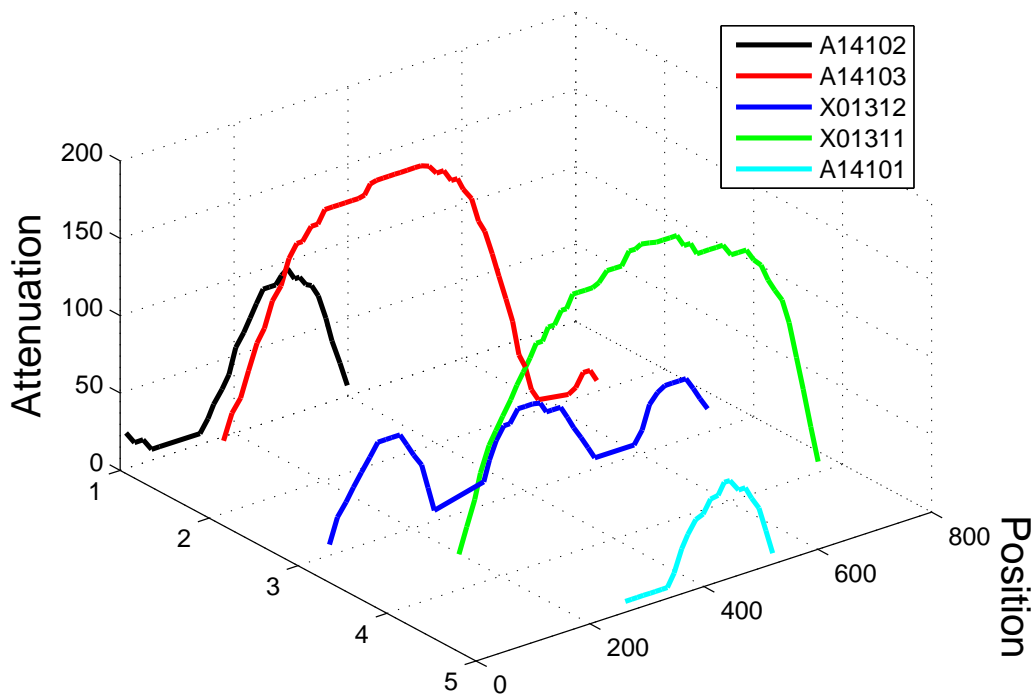


Abbildung 4.42: Position 4, Chip rechts

4.4.3 Kontinuierliches Lesen mit bewegter Antenne

Dieser Versuch hat das Ziel, die Leseraten bei Bewegung des Lesegerätes durch die Gänge eines Ladengeschäfts zu simulieren. Dazu wurde die Antenne des Lesegeräts durch die automatisierte Messeinrichtung zum einen in kleinen Schritten an den Regalen vorbei bewegt. Danach wurden Messungen mit kontinuierlich bewegter Lesegeräte durchgeföhrt. Das folgende Bild 4.43 verdeutlicht den Versuchsaufbau.



Abbildung 4.43: Versuchsaufbau

Bei den Messungen aus der Bewegung heraus kann nicht die Dämpfung der Energie variiert werden, da dies nur mit diskreten Messpunkten möglich ist.

Messung	Tags
Bewegung	19
Stationär	19
Insgesamt	35

Die gesammelten Daten wurden anschließend untereinander und mit der Anzahl der insgesamt vorhandenen Tags verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass von den insgesamt 35 Tags die an Produkten angebracht waren, in jedem der Test-Fälle die gleichen 19 gelesen wurden. Die Leserate beträgt in beiden Fällen 54%. Man kann also bei den Versuchen davon ausgehen, dass sich die Ergebnisse von den stationären Messungen, zumindest für das hier verwendete Lesegerät (XR480) von Symbol, auch auf den mobilen Fall übertragen lassen.

5. Zusammenfassung

Nachdem das Szenario und die Versuche vorgestellt und ausgewertet wurden, wird in diesem Kapitel ein Fazit aus den Versuchen gezogen.

Die Versuche zur Anbringung der Tags auf den Produktpackungen haben ergeben, dass es tendenziell besser ist die Tags auf der Oberseite der Packungen zu befestigen. Ein deutlicher Vorteil gegenüber einer Anbringung an der Seite ist aber nicht auszumachen.

Die Untersuchung der Richtungsabhängigkeit hinterlässt kein klares Bild: je nach Tag kommt es hier zu unterschiedlichen Ergebnissen welche Richtung zu bevorzugen ist. Dies mag an der Serienstreuung bei der Fertigung liegen. Bei etlichen Produkten ist eine exakte Ausrichtung im Verkaufsregal aber prinzipiell nicht praktikabel, wie zum Beispiel im Szenario dieser Arbeit bei den Baby-Söckchen die lose in den Auslagekörben liegen, oder allgemein auf Wühltischen.

Zum Punkt der mobilen Ausführung eines Lesegeräts lässt sich festhalten, dass zumindest mit dem hier zur Verfügung stehenden Lesegerät von Symbol kein Unterschied auszumachen war, ob die Antenne während des Lesevorgangs an den Regalen vorbei bewegt wurde oder fest an einem Punkt stand.

Die Versuchsreihen zum Vergleich der verschiedenen Tags von MAN und der TU Chemnitz haben ergeben, dass sich die Leseraten zum großen Teil auf gleichem Niveau befinden. Die Tags mit den besten Leseraten sind die erst vor kurzem eingetroffenen, gesinterten und mit Coroplast gefügten Tags von der TU Chemnitz.

Wichtig für die Lesbarkeit von an Produkten angebrachten Tags ist das Material mit welchem die Produkte verpackt sind. Keine Probleme bereiten hier Verpackungen aus Kunststoff und Papier/Pappe. Äußerst kritisch sind dagegen TetraPaks. Zu anderen Materialien konnten keine Ergebnisse gewonnen werden, da z.B. die vorhandenen Glasflaschen mit Flüssigkeiten gefüllt sind, welche generell dazu führen, dass die verwendeten Tags kaum auszulesen waren. Auch mit den von *dm* gestellten Dosen wurden solche Erfahrungen gemacht.

Der im Titel der Studienarbeit vorgegebene Aspekt der Evaluation eines RFID-Lesemodells wurde durch die Ergebnisse zu den Leseigenschaften unmöglich gemacht, da eine Modellierung der Lesungen mit einfachen statistischen Methoden

aufgrund der Leseigenschaften in dieser Umgebung nicht möglich zu sein scheint. Eine Simulation durch Raytracing könnte brauchbare Ergebnisse liefern, aufgrund der hohen Rechenintensität und der Kosten für einen Raytracer scheidet dies hier jedoch aus.

A. Eingesetzte RFID Tags

In diesem Anhang werden die verwendeten Tags vorgestellt. Sie sind in drei Gruppen unterteilt. In A.1 sind die kommerziell erhältlichen zusammengefasst, in A.2 dann die von der TU Chemnitz produzierten und in A.3 diejenigen von MAN.

A.1 Kommerzielle Tags

Die erste Gruppe von Tags die für die Versuche zur Verfügung standen sind Tags aus der Serienproduktion. Es sind passive Tags die im Frequenzbereich von 868 MHz arbeiten.

Diese Tags sind eigentlich selbstklebende Etiketten, die aufgrund der Wiederverwendbarkeit mit Klebestreifen an den zu testenden Produkte angebracht wurden. Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick über die Tags, danach folgen Bilder der einzelnen Tags.

Name	Hersteller	Abmessungen (BxH)[cm]	Abbildung
Dog Bone	Rafsec	9 x 2	A.1
4-T	Symbol	9 x 9	A.2
2x4	Symbol	9 x 4	A.3
single dipole	Symbol	3 x 2	A.4
N/A	Mühlbauer	11,5 x 3,5	A.5

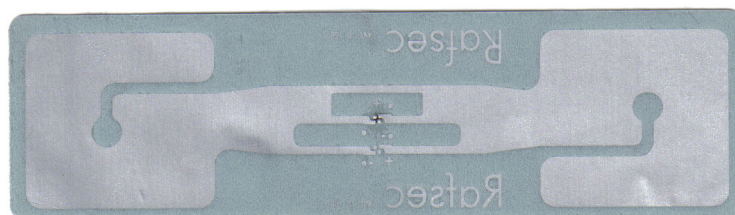


Abbildung A.1: Ein Tag vom Typ Dog Bone der Firma Rafsec

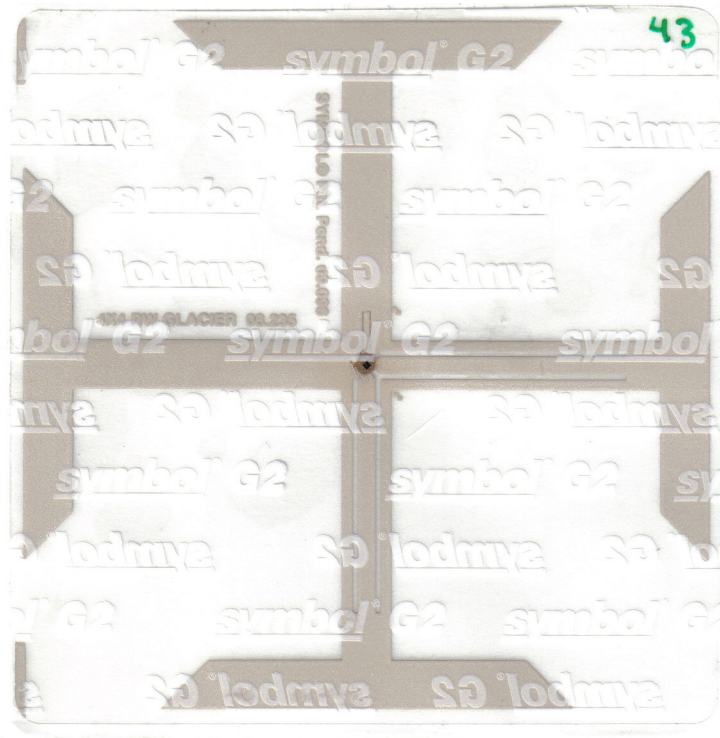


Abbildung A.2: Ein Tag vom Typ 4T der Firma Symbol

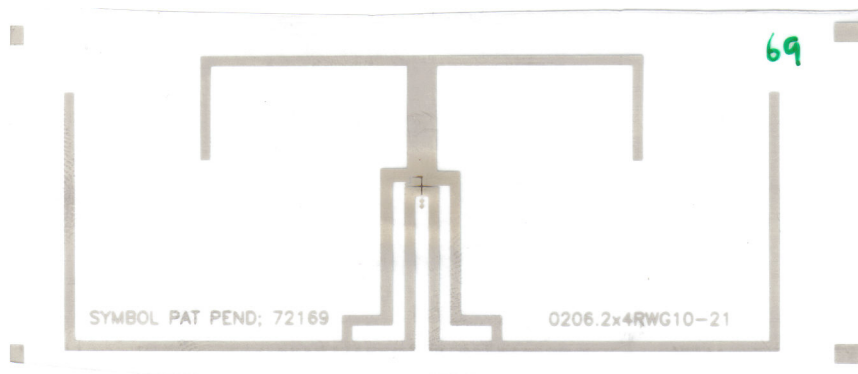


Abbildung A.3: Ein Tag vom Typ 2x4 der Firma Symbol

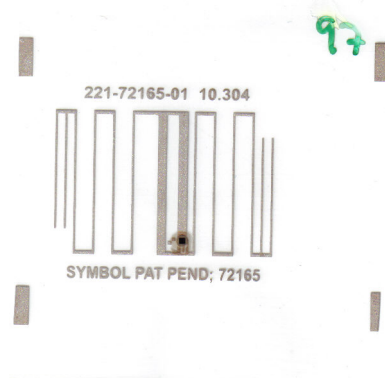


Abbildung A.4: Ein Tag vom Typ Single Dipole der Firma Symbol

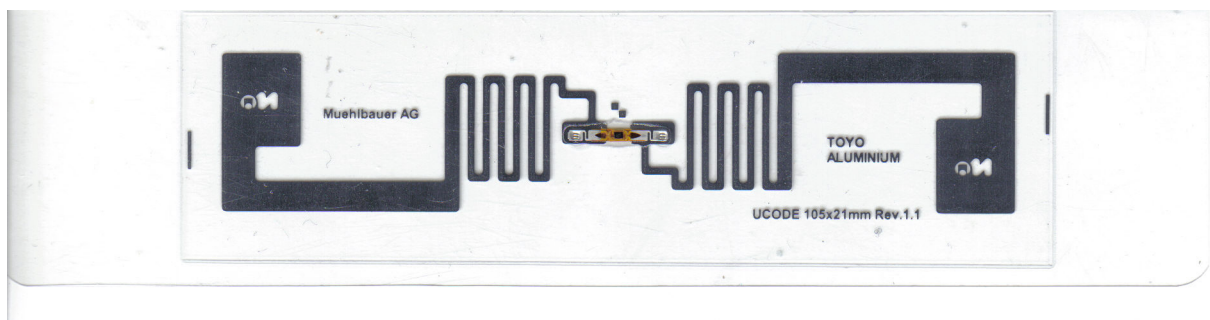


Abbildung A.5: Ein Tag der Firma Muehlbauer

A.2 Tags der TU Chemnitz

Weitere 80 Tags wurden zu Versuchszwecken von der TU Chemnitz hergestellt (Manufaktur). Diese sind 16 Sätze à 5 Tags, die sich aus unterschiedlichen Konfigurationen aus Antennenmaterial (Cu, zwei verschiedene Silbertinten), Substrat (PET, Papier) und Fügmaterialien (Klebefolie, Pb-freies Lot) ergeben. Die Tabelle A.1 liefert eine Aufschlüsselung welcher Tag welchen Aufbau hat.

Die Antennenform wurde im Rahmen einer gesonderten NDA von NXP zur Verfügung gestellt und ist speziell auf den verwendeten FCS2-Chip abgestimmt. Die Abbildung A.6 zeigt beispielhaft einen dieser Tags.

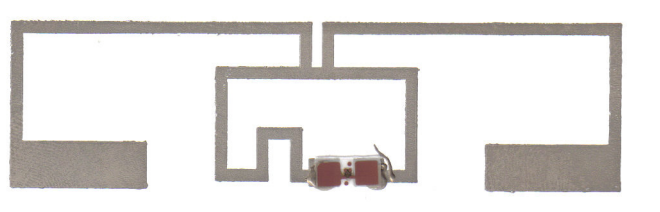


Abbildung A.6: Einer der verwendeten Tags

Bezeichnung	Substrat	Antenne	Strap	Verbindung	Leseabstand [cm]
E01001	PET	A001b	Cu	3M	111
E01002	PET	A001b	Cu	3M	130
E01003	PET	A001b	Cu	3M	118
E01004	PET	A001b	Cu	3M	102
E01005	PET	A001b	Cu	3M	110
E01011	PET	A001b	Cu	Lot	177
E01012	PET	A001b	Cu	Lot	177
E01013	PET	A001b	Cu	Lot	177
E01014	PET	A001b	Cu	Lot	158
E01015	PET	A001b	Cu	Lot	105
E01101	PET	A001b	Al	3M	118
E01102	PET	A001b	Al	3M	115
E01103	PET	A001b	Al	3M	115
E01104	PET	A001b	Al	3M	133
E01105	PET	A001b	Al	3M	117
E01111	PET	A001b	Al	Lot	173
E01112	PET	A001b	Al	Lot	172
E01113	PET	A001b	Al	Lot	173
E01114	PET	A001b	Al	Lot	179
E01115	PET	A001b	Al	Lot	174
E14001	PET	A014	Cu	3M	61
E14002	PET	A014	Cu	3M	62
E14003	PET	A014	Cu	3M	61
E14004	PET	A014	Cu	3M	63
E14005	PET	A014	Cu	3M	80
E14011	PET	A014	Cu	Lot	138
E14012	PET	A014	Cu	Lot	140

E14013	PET	A014	Cu	Lot	139
E14014	PET	A014	Cu	Lot	141
E14015	PET	A014	Cu	Lot	142
E14101	PET	A014	Al	3M	102
E14102	PET	A014	Al	3M	116
E14103	PET	A014	Al	3M	113
E14104	PET	A014	Al	3M	108
E14105	PET	A014	Al	3M	98
E14111	PET	A014	Al	Lot	141
E14112	PET	A014	Al	Lot	142
E14113	PET	A014	Al	Lot	142
E14114	PET	A014	Al	Lot	161
E14115	PET	A014	Al	Lot	92
A14001	PAP	A014	Cu	3M	65
A14002	PAP	A014	Cu	3M	67
A14003	PAP	A014	Cu	3M	59
A14004	PAP	A014	Cu	3M	62
A14005	PAP	A014	Cu	3M	49
A14011	PAP	A014	Cu	Lot	206
A14012	PAP	A014	Cu	Lot	158
A14013	PAP	A014	Cu	Lot	176
A14014	PAP	A014	Cu	Lot	174
A14015	PAP	A014	Cu	Lot	178
A14101	PAP	A014	Al	3M	67
A14102	PAP	A014	Al	3M	64
A14103	PAP	A014	Al	3M	67
A14104	PAP	A014	Al	3M	66
A14105	PAP	A014	Al	3M	64
A14111	PAP	A014	Al	Lot	141
A14112	PAP	A014	Al	Lot	143
A14113	PAP	A014	Al	Lot	140
A14114	PAP	A014	Al	Lot	175
A14115	PAP	A014	Al	Lot	175
C01001	COP	C01	Cu	3M	136
C01002	COP	C01	Cu	3M	141
C01003	COP	C01	Cu	3M	139
C01004	COP	C01	Cu	3M	20
C01005	COP	C01	Cu	3M	138
C01011	COP	C01	Cu	Lot	177
C01012	COP	C01	Cu	Lot	176
C01013	COP	C01	Cu	Lot	176
C01014	COP	C01	Cu	Lot	23
C01015	COP	C01	Cu	Lot	159
C01101	COP	C01	Al	3M	140
C01102	COP	C01	Al	3M	141
C01103	COP	C01	Al	3M	141
C01104	COP	C01	Al	3M	161
C01105	COP	C01	Al	3M	141
C01111	COP	C01	Al	Lot	176

C01112	COP	C01	Al	Lot	178
C01113	COP	C01	Al	Lot	179
C01114	COP	C01	Al	Lot	143
C01115	COP	C01	Al	Lot	140

Tabelle A.1: Liste der Tags von der TUC

Später wurden dann nochmal 68 Tags nachgeliefert. Die Antenne war die gleiche wie oben, das Antennenmaterial XINK Z1 Extender. Die Antennen sind auf gestricheltem Karton aufgebracht. Die Chips wurden entweder mit Isolierband (Coroplast) oder z-leitfähiger Klebstoffolie (3M/Bez.: 7303) aufgeklebt.

Bezeichnung	Verbindung	Sinterzeit Antenne [s]	Widerstand über G [Ω]	Therhmoden -Dauer [s]	Leseabstand [cm]
A20101	3M	0	25,7	2	157
A20102	3M	0	28,0	1	136
A20103	3M	0	23,1	1	120
A20104	3M	0	22,4	2	157
A20105	3M	0	23,3	2	157
A20106	3M	0	28,6	1-2	119
A20107	3M	0	27,5	1-2	139
A20108	3M	0	28,0	1-2	119
A20109	3M	0	N/A	1-2	157
A20110	3M	0	N/A	1-2	145
A20111	3M	0	N/A	1-2	117
A20112	3M	0	N/A	1-2	143
A20113	3M	0	N/A	1-2	144
A20114	3M	0	N/A	1-2	118
A20116	3M	0	N/A	1-2	118
A20117	3M	0	N/A	1-2	172
A20118	3M	0	N/A	1-2	173
A20119	3M	0	N/A	1-2	120
A20121	3M	0	N/A	1-2	173
A20122	3M	0	N/A	1-2	167
A20123	3M	0	N/A	1-2	164
A20124	3M	0	N/A	1-2	163
A20125	3M	0	N/A	1-2	117
A20126	3M	0	N/A	1-2	165
A20127	3M	0	N/A	1-2	117
A20129	3M	0	N/A	1-2	172
A20140	Coroplast	0	21,1	1-2	148
A20141	Coroplast	0	24,9	1-2	146
A20142	Coroplast	0	22,6	1-2	151
A20143	Coroplast	0	25,4	1-2	149
A20144	Coroplast	0	27,4	1-2	147
A20145	Coroplast	0	23,5	1-2	150

A20146	Coroplast	0	22,8	1-2	151
A20147	Coroplast	0	26,7	1-2	146
A20148	Coroplast	0	24,3	1-2	145
A20149	Coroplast	0	25,9	1-2	151
A20150	Coroplast	60	16,7	1-2	148
A20151	Coroplast	60	15,4	1-2	167
A20152	Coroplast	60	16,4	1-2	172
A20153	Coroplast	60	14,8	1-2	174
A20154	Coroplast	60	17,1	1-2	166
A20155	Coroplast	60	14,7	1-2	145
A20156	Coroplast	60	16,0	1-2	173
A20157	Coroplast	60	16,3	1-2	167
A20158	Coroplast	60	16,6	1-2	177
A20159	Coroplast	60	14,9	1-2	175
A20160	Coroplast	60	17,1	1-2	131
A20161	Coroplast	60	17,1	1-2	150
A20162	Coroplast	60	16,2	1-2	175
A20163	Coroplast	60	16,6	1-2	175
A20164	Coroplast	60	16,7	1-2	115
A20165	Coroplast	60	16,5	1-2	142
A20166	Coroplast	60	17,1	1-2	147
A20167	Coroplast	60	15,7	1-2	176
A20168	Coroplast	60	16,6	1-2	40
A20169	Coroplast	60	15,9	1-2	117
A20170	3M	60	15,1	1-2	150
A20171	3M	60	17,7	1-2	160
A20172	3M	60	17,6	1-2	164
A20173	3M	60	16,3	1-2	162
A20174	3M	60	15,8	1-2	152
A20175	3M	60	13,9	1-2	162
A20176	3M	60	15,0	1-2	153
A20177	3M	60	15,7	1-2	154
A20178	3M	60	15,2	1-2	151
A20179	3M	60	18,7	1-2	150
A20180	3M	60	16,3	1-2	162
A20181	3M	60	16,1	1-2	173

Tabelle A.2: Liste der nachgereichten Tags

A.3 Tags von MAN

Die dritte Gruppe von circa 550 Tags sind von MAN hergestellt. Das Antennendesign und der Chip entsprechen den Tags der TUC, es wurde aber lediglich eine Sorte hergestellt. Die Tags sahen also wie in Abbildung A.6 gezeigt aus.

Diese Tags kommen bei den Massenleseversuchen zum Einsatz um möglichst gleiche Voraussetzungen für alle Produkte zu haben, wobei auch bei diesen Tags eine recht große Streuung in der Lesbarkeit vorliegt.

Literaturverzeichnis

- [AIM00] Inc AIM. Eigenschaften von rfid-systemen. 2000.
- [BFHF03] James Brusey, Christian Floerkenmeier, Mark Harrison, and Martyn Fletcher. Reasoning about uncertainty in location identification with rfid. 2003.
- [BR07] Leonid Bolotny and Gabriel Robins. The case for multi-tag rfid systems. *International Conference on Wireless Algorithms, Systems and Applications*, 2007.
- [FB99] P.R. Foster and R.A. Burberry. Antenna problems in rfid systems. *RFID Technology (Ref. No. 1999/123), IEEE Colloquium on*, 1999.
- [FK04] Thomas Finke and Harald Kelter. Radio frequency identification - abhörmöglichkeiten der kommunikation zwischen lesegerät und transponder am beispiel eines iso14443-systems. 2004.
- [FL04] Christian Floerkemeier and Matthias Lampe. Issues with rfid usage in ubiquitous computing applications. 2004.
- [Flo04] Christian Floerkemeier. A probabilistic approach to address uncertainty of rfid. 2004.
- [HBF⁺03] Dirk Hahnel, Wolfram Burgard, Dieter Fox, Kenneth P. Fishkin, and Matthai Philipose. Mapping and localization with rfid technology. 2003.
- [HTMF07] Steve Hodges, Alan Thorne, Hugo Mallinson, and Christian Floerkemeier. Assessing and optimizing the range of uhf rfid to enable real-world pervasive computing applications. *5th International Conference, PERVASIVE 2007*, 5:280–297, 2007.
- [ICN97] ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 ghz). 1997.
- [Inc06] EPCglobal Inc. Epcglobal tag data standards version 1.3. 2006.
- [JRS03] Ari Juels, Ronald L. Rivest, and Michael Szydlo. The blocker tag: selective blocking of rfid tags for consumer privacy. 2003.
- [Kar03] Mikko Karkkainen. Increasing efficiency in the supply chain for short shelf life goods using rfid tagging. 2003.
- [KL73] Leonard Kleinrock and Simon S. Lam. Packet-switching in a slotted satellite channel. 1973.

- [Kol01] Stephan Kolnsberg. Drahtlose signal - und energieübertragung mit hilfe von hochfrequenztechnik in cmos-sensorsystemen. 2001.
- [LJL05] Su-Ryun Lee, Sung-Don Joo, and Chae-Woo Lee. An enhanced dynamic framed slotted aloha algorithm for rfid tag identification. 2005.
- [RNL05] K.V.Seshagiri Rao, Pavel V. Nikitin, and Sander F. Lam. Antenna design for uhf rfid tags: a review and a practical application. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 53(12):3870–3876, Dec. 2005.
- [Vog02] Harald Vogt. Multiple object identification with passive rfid tags. 2002.
- [WEM89] Jeffrey E. Wieselthier, Anthony Ephremides, and Larry A. Michaels. An exact analysis and performance evaluation of framed aloha with capture. 1989.