

UNIVERSITEIT ANTWERPEN

Academiejaar 2018-2019

Faculteit Toegepaste Ingenieurswetenschappen

## **Bachelorproef:**

# **IoT enabled lifecycle tracking of goods**

**Student: Plouvier Cédric**

**Bedrijf/stagegever: Inuits**

Promotor bedrijf/stagegever: Coopman Tom

Promotor UAntwerpen: Weyn Maarten

**Bachelor of Science in de industriële wetenschappen:  
elektronica-ICT**

## Samenvatting

Is er een kostenefficiënte oplossing voor geautomatiseerd inventarisbeheer van vloeistofproducten met het Internet of Things? Uit dit onderzoek blijkt dat UHF RFID (ultra high frequency radio frequency identification) een van de weinige kostenefficiënte technologieën is die gebruikt kan worden voor het lezen van tags in grote hoeveelheden. Hierbij zijn vloeistoffen problematisch aangezien deze de energie van het RF signaal absorberen. Een RF signaal met een lagere frequentie gebruiken, zou een oplossing kunnen bieden omdat een langere golflengte zorgt voor betere penetratie van het RF signaal door de vloeistof. Deze dual-frequency RFID techniek blijkt echter nog niet op punt te staan. Er zijn wel al goed werkende oplossingen zoals de CapTag die het mogelijk maakt om tags op flessen met vloeistof te lezen. Dit gaat niet met de gebruikelijke UHF RFID tags. De toekomst zal uitwijzen of reeds bestaande technologieën, zoals actieve RFID, kostenefficiënt zal worden of dat er nieuwe oplossingen op de markt komen.

## Inleiding

Het Internet of Things is in elke industrie terug te vinden en kent vele toepassingen. Een van deze toepassingen is de automatisering van inventarisbeheer. Het automatiseren van het inventarisbeheer bespaart veel tijd en geld voor bedrijven. Het vermindert ook het repetitieve werk van de arbeiders. Het is dus niet enkel van belang om een goede en betrouwbare oplossing te bekomen maar deze ook zo kostenefficiënt mogelijk te maken.

Dit onderzoek is specifiek gericht op het automatiseren van het inventarisbeheer waarbij vloeistoffen aanwezig zijn. Het Internet of Things wordt hier niet frequent gebruikt doordat vloeistoffen een grote invloed hebben op radiofrequente straling.

Een eerste stap in dit onderzoek is het bekijken van de mogelijk technologieën die gebruikt kunnen worden. Dit door zowel een uitgebreid marktonderzoek om de reeds bestaande oplossingen te analyseren alsook onderzoek naar de werking van de bestaande technologieën. Hierbij wordt steeds rekening gehouden met de kostenefficiëntie.

Er is reeds veel onderzoek gebeurd in dit vakgebied. Enkele interessante bronnen en onderzoeken zijn:

- Lehpamer, H. L. (2012). *RFID Design Principles* (second edition). Artech House.
- Prof. Weyn, M. W., & Bellekens, B. B. (2019). RFID\_NFC. Geraadpleegd op maart 8, 2019, van [https://blackboard.uantwerpen.be/bbcswebdav/pid-1931690-dt-content-rid-18962961\\_1/xid-18962961\\_1](https://blackboard.uantwerpen.be/bbcswebdav/pid-1931690-dt-content-rid-18962961_1/xid-18962961_1)
- Mapleston, D. M. (2013). GB2493996A. GB: UK Patent Application.
- Gao, Y. G., Zhang, Z. Z., Lu, H. L., & Wang, H. W. (2012). *Calculation of read distance in passive backscatter RFID systems and application* (1818-0523). Geraadpleegd van <https://pdfs.semanticscholar.org/cc4a/a94dcce192ad1e03fb82b302995a27698d2a.pdf>

Vervolgens bepalen we theoretische waarden voor de oplossing zoals de maximale afstand en de minimale tijd die nodig is voor een correcte inventaris aanpassing. Dit voor zowel een optimale situatie zonder vloeistoffen alsook realistische waarden die rekening houden met verliezen en interferenties.

Deze theoretische waarden worden dan achteraf vergeleken met de resultaten die we bekomen uit onze metingen en testen. Hieruit moet ook blijken of de gekozen technologie adequaat is voor de beoogde toepassing. Afwijkingen van de theoretische waarden worden verklaard en we trekken een conclusie over onze bekomen oplossing. We bespreken ook de beperkingen en problemen van deze oplossing.

Als laatste doen we nog verder onderzoek naar het verbeteren van onze reeds bekomen oplossingen en hoe we de ondervonden problemen kunnen oplossen.

## Methodes en materialen

### Marktonderzoek

Voor het marktonderzoek hebben we naar bedrijven gezocht die deze mogelijkheden aanbieden naar klanten en welke technologie zij hiervoor gebruiken. Uit papers van verschillende bedrijven merken we dat 2 technologieën het meest frequent gebruikt worden. Deze zijn Bluetooth Low Energy (BLE) en Radio Frequency Identification (RFID).

Deze 2 technologieën worden voor een andere functie geïmplementeerd. RFID wordt gebruikt indien er enkel nood is aan inventarisbeheer. BLE wordt gebruikt wanneer er ook nood is aan locatiebepaling of tracking van de goederen. Voor enkel inventarisbeheer opteert men dus voor RFID, meerbepaald UHF RFID. De reden hiervoor is dat RFID hardware kostenefficiënter is dan die van BLE.

Er is ook gezocht naar bedrijven die een RFID systeem gebruiken voor inventarisbeheer bij vloeistoffen. De ingenieur logistiek van Colruyt heeft ons verteld dat Campina Friesland RFID gebruikt maar we hebben hen niet kunnen contacteren (T. Vanderkelen, 24 april 2019). Zelf gebruikt Colruyt deze technologie niet meer omdat deze onbetrouwbare resultaten gaf.

Er is dus geen bedrijf gevonden dat het inventarisbeheer van vloeistofproducten doet met RFID.

## Onderzoek technologie

Uit het marktonderzoek bleek dat passieve RFID en BLE de twee courante technologieën zijn. Er is ook nog kort onderzoek gedaan naar Wi-Fi HaLow en actieve RFID. Deze 3 technologieën bleken ondergeschikt aan passieve RFID en Bluetooth Low Energy.

Wi-Fi HaLow of IEEE802.11ah is een nieuwe technologie die de IEEE802.11 standaard functioneert in de 868 MHz, niet-gelicenseerde, frequentieband opereert. Er wordt veel van verwacht maar momenteel zijn de chips nog niet verkrijgbaar. Morse Micro (<https://www.morsemicro.com/>) zal een van de eersten zijn op de markt maar er is nog weinig over de prijzen geweten. Volgens Morse Micro zullen de chips vijf keer kleiner zijn, goedkoper en tweehonderd keer minder energie verbruiken ten opzichte van de originele IEEE802.11 Wi-Fi chips. Ondanks het mogelijke potentiële van Wi-Fi HaLow is er nog te weinig over geweten en onvoldoende hardware beschikbaar om deze te gebruiken voor onze toepassing.

Actieve RFID heeft een groter bereik doordat de tags hun eigen stroomvoorziening hebben maar te duur zijn voor onze toepassing omdat we grote aantallen nodig hebben. De prijs van een actieve RFID tag varieert tussen de tien en honderd euro.

Passieve RFID is zeer kostefficiënt, heeft geen line of sight nodig en is dus uitermate geschikt voor onze toepassing. Er zijn meerdere klassen van RFID die elk in een eigen niet-gelicenseerde frequentieband opereren. Deze worden in onderstaande tabel weergegeven.

Frequency	Read Range (Passive tag) [m]	Data transfer rate [Kbits/sec]	Environmental sensitivity (metal & water)	Directional
125-134 kHz (LF) Induction	< 1	2 - 4	Low	Not
13.56 MHz (HF) Induction	< 1.5	10 - 20	Limited	Hardly
868 - 870 MHz 902 - 928 MHz (UHF) Backscatter	2 - 4	20 - 150	High	More
2.45 GHz (UHF - $\mu$ W) Backscatter	$\pm 1$	> 100	High	Very

Tabel 1. Verschillende frequentiebanden voor RFID

Herdruckt van "RFID\_NFC", door Prof. Weyn, M. W., & Bellekens, B. B. (2019). Geraadpleegd van [https://blackboard.uantwerpen.be/bbcswebdav/pid-1931690-dt-content-rid-18962961\\_1/xid-18962961\\_1](https://blackboard.uantwerpen.be/bbcswebdav/pid-1931690-dt-content-rid-18962961_1/xid-18962961_1)

UHF RFID (868-870 MHz) sluit het beste aan bij onze eisen voor het bereik. Mogelijke problemen zijn de hoge gevoeligheid aan omgevingsfactoren zoals metaal en water.

We beslissen om UHF RFID te gebruiken voor het ontwikkelen van onze toepassing.

UHF RFID gebruikt de EPC Gen 2 Air interface protocol, deze is gestandaardiseerd als ISO 18000-63 (EPCglobal inc., 2008). UHF RFID is onderworpen aan strikte regelgeving, deze verschilt van regio tot regio. Voor Europa is het maximale uitgezonden vermogen 2W ERP (effective radiated power) in de 868 MHz frequentieband. Er is sprake van een nieuwe frequentieband in Europa tussen 915 en 921 MHz die tot 4W ERP zal toelaten. Deze is wel al in gebruik in het Verenigd Koninkrijk (GS1, 2019).

## Berekeningen leesbereik

Voor de berekeningen van het leesbereik hebben we analoog gewerkt aan RFID Design Principles van Harvey Lehpamer (Lehpamer, 2012). De assumpties die we maken door onvoldoende gegevens zijn ook gebaseerd op dit boek. Eerst berekenen we het maximale leesbereik van de tags in vrije ruimte. Vervolgens het maximale leesbereik in vrij ruimte rekening houdend met verliezen.

Voor het maximale leesbereik in vrije ruimte vertrekken we vanuit de Friis vergelijking:

$$r = \frac{\lambda \cos(\theta) \sqrt{\frac{PrGrGt(1 - (\Delta p))^2}{P_{th}}}}{4\pi}$$

waarbij  $\lambda$  = golflengte [m]

$\theta$  = hoek tussen de tag en de antenne oppervlakte

$Pr$  = vermogen van de reader [mW]

$Gr$  = versterking antenne

$Gt$  = versterking tag

$P_{th}$  = minimum drempel vermogen tag [mW]

$\Delta p$  = vermogensreflectiecoëfficiënt

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

waarbij  $c$  = lichtsnelheid = 3.108 [m/s]

$f$  = frequentie = 866,6 [MHz]

$$\lambda = 0,346m$$

Volgende gegevens halen we uit de datasheets van de gebruikte reader en antenne:

$$Gr = 5 \text{ dBi} = 3,16$$

$$Pr = 27 \text{ dBm} = 500 \text{ mW}$$

$$\Delta p < 0,5$$

Uit "RFID Design Principles" (Lehpamer, 2012, p. 202) halen we typische waarden voor de versterking van een tag en het minimum drempelvermogen van de tag:

$$Gt = 2 \text{ dBi} = 1,6$$

$$0,01 \text{ mW} < P_{th} < 0,05 \text{ mW}$$

We kunnen nu een optimale maximale leesafstand of een realistischere maximale leesafstand berekenen.

Voor de optimale maximale leesafstand nemen we volgende waarden aan :

$$\theta = 0$$

$$\Delta p = 0$$

$$P_{th} = 0,01 \text{ mW}$$

Deze gegevens invullen in de Friis equation geeft ons:

$$r = 13,8m$$

We bekomen een meer realistisch resultaat indien we volgende waarden aannemen:

$$\theta = 0$$

$$\Delta p = 0,5$$

$$P_{th} = 0,05 \text{ mW}$$

Als we dit opnieuw invullen in de Friis vergelijking bekomen we:

$$r = 5,36m$$

We bekomen een realistischer resultaat als we rekening houden met verliezen zoals het polarisatieverschil en ruis. We houden rekening met zowel thermische ruis als het ruisgetal. Voor thermische ruis  $N$  gebruiken we de formule:  $N = kTB$  waarbij  $B$  de bandbreedte is

$T$  de temperatuur [K]

$k$  de Boltzmann constante =  $1,38 \cdot 10^{-23}$

Voor een kamertemperatuur van 20°C is  $T = 293,15 \text{ K}$ . De bandbreedte voor UHF RFID in Europa is 200 kHz.

Met deze gegevens bekomen we:

$$N = -150,9[\text{dBm}] = (8,13 \cdot 10)^{-23}$$

Deze waarde is zodanig klein dat we ze niet integreren in het link budget. Een typische waarde voor het ruisgetal is -3dB (Lehpamer, 2012, p. 203).

Het voorwaartse link budget of downlink van antenne naar tag ziet er dan als volgt uit:

Transmitter vermogen	Kabel en connector verliezen	Reader antenne	Free space path loss	Tag antenne	Tag threshold
27 dBm	-3 Dbm	5 dBi -3 polarization mismatch	Gezocht	2 dBi	-13 dBm

Tabel 2. Link budget

Hieruit halen we de maximale free space path loss om toch nog een geldig link budget te bekomen.

Deze is:

$$FSL = 27 + 5 + 2 - (3 + 3) - (-13)$$

$$FSL = 40,85 \text{ dB}$$

Uit de formule:

$$FSL = 10 \log \left( \frac{4\pi df}{c} \right)^2 = 20 \log(d) + 20 \log(f) - 27,55$$

waarbij  $f$  = frequentie = 868 MHz

$d$  = afstand

$c$  = lichtsnelheid =  $3.108 \text{ [m/s]}$

bekomen we dan een maximale afstand  $d$  voor een geldige link budget.

$$d = 10^{\frac{191 - 31,2}{20}} = 3,03 \text{ m}$$

Men hoeft het link budget van het uplink signaal van tag naar reader niet na te rekenen aangezien dat elk passief UHF RFID systeem altijd gelimiteerd wordt door het drempel vermogen van de tag en niet die van de reader.

De afstand kan in werkelijkheid afwijken door destructieve interferenties maar ook door constructieve interferenties zoals weerkaatsingen.

## Tag leesnelheid berekeningen

Een veel terugkomende waarde is dat UHF RFID tweehonderd tags per seconde kan lezen in Europa.

Een formule om dit na te rekenen is:

$$Tr > (Tc + Td) * N \quad \text{waarbij } Tr \text{ tijd tag in het detecteerbaar veld van de antenne is}$$

$Tc$  tijd nodig voor operatie van reader naar tag

$Td$  tijd om een tag te detecteren

$N$  het aantal tags

$Tc$  is voor een 800 bit tag typisch 0,7s (Lehpamer, 2012, p.162).

We bekomen dus:

$$Tr > 0,7N$$

Indien we als voorbeeld een pallet met daarop  $4 \times 4 \times 4$  dozen wijn nemen met elks daarin 6 flessen met elks een tag:

$$Tr = 0,7 * (4 * 4 * 4 * 6) = 268,8 \text{ s}$$

Het pallet moet dan 268,8 seconden of 4 minuten en 29 seconden in het detectieveld van de antenne blijven.

Dit is een vrij lange tijd om de toepassing praktisch te houden. Een tag per doos geeft ons een meer praktisch resultaat want dan is de tijd nodig om elke doos te lezen:

$$Tr = 0,7 * (4 * 4 * 4) = 44,8 \text{ s}$$

## Materialen

De gebruikte materialen voor dit onderzoek zijn:

Nordic ID NUR-05WL2 reader (Nordic ID, 2017), Nordic ID Sampo S0 (Nordic ID, 2018), SparkFun UHF RFID tags, adhesive (geen datasheet beschikbaar) (Antratek, n.d.), SparkFun UHF RFID tags (geen datasheet beschikbaar) (Antratek, n.d.-b), Alien H3 EPC Gen 2 UHF RFID adhesive tags (ebay, n.d.), Dubbelzijdige tape, Klittenband, Raspberry Pi 3, 4 kartonnen dozen wijn met ieders 6 flessen, 2 kartonnen dozen cava met ieders 6 flessen, Bosch afstandsmeter.

## Testen maximale leesafstand voor het lezen van een tag

Wanneer we werken met de hardware gebruiken we de Windows applicaties die ontwikkeld zijn door Nordic ID (NordicID, 2017). Deze heeft een zeer makkelijke interface voor het configureren van antenne en reader. Het gebruik van de hardware op linuxsystemen kan teruggevonden worden in het portfolio.

De parameters die zijn aangepast voor het testen zijn de power threshold filter van de antenne, het Tx level of uitgezonden vermogen, en de modulatietechniek. De minimum power threshold filter stellen we in op een RSSI (Received Signal Strength Indicator) waarde van -90, dit is een relatieve waarde en is niet uitgedrukt in dBm. Het gevolg van deze lage threshold is dat ook RFID bronnen worden herkend die we niet willen lezen. Het Tx level zetten we natuurlijk op het maximum. Dit is voor onze Nordic ID NUR-05WL2 500mW. Voor de modulatietechniek zal PR-ASK ons een betere leesafstand geven. Dit geeft een diepere modulatie waardoor het elektrisch veld een lagere top heeft.

We plaatsen zowel de tag als de antenne van de grond zodat we zo weinig mogelijk invloed hebben van destructieve of constructieve storingen door weerkaatsing van het RF signaal met de grond.

De directiviteit en afstand wordt nagegaan met een Bosch lasermeter.

## Testen lezen van tags in vloeistofrijke omgeving

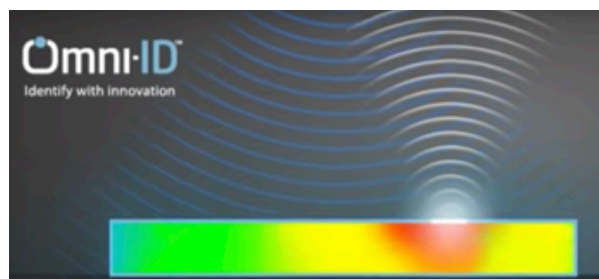
We hebben de invloed van flessen wijn tussen de antenne en tag gemeten door zowel de antenna aan het plafond te bevestigen met klittenband alsook verticaal tegen de muur. Er zijn 6 adhesive tags bevestigd aan elke zijde van een wijndoos. De afstand tussen de doos met tags en de antenne die bevestigd is aan het plafond is 2,30 meter. De afstand tussen de verticaal geplaatste antenne en de proefopstelling is 2 meter. De overige beschikbare 5 dozen met elks 6 flessen wijn of cava worden in alle mogelijke formaties op en rondom de doos met tags geplaatst. Er is telkens geanalyseerd welke tags gelezen zijn na minstens 100 leesopgingen.

## Oplossingen voor het lezen van tags in vloeistofrijke omgeving

Er is een voor de hand liggende oplossing zoals het vermogen van de antenne verhogen tot 2W ERP. De verliezen in kabels en connectoren zijn ook groter bij een hoger vermogen.

Een andere oplossing is het gebruik maken van 2 frequenties, ook wel dual-frequency genoemd. Hierbij is de communicatie van antenna naar tag in een lagere frequentie, bijvoorbeeld 13,56 MHz. Deze lagere frequentie heeft ook een lange golflengte  $\lambda$  waardoor er betere penetratie is van ioniserende vloeistoffen. Eens de power threshold van de tag is bereikt en deze voldoende energie heeft, kan de tag antwoorden op de hogere frequentie van 868 MHz. Dit omdat de power threshold van de antenne lager ligt en het antwoord van de tag beter detecteert. We hebben deze oplossing niet getest omdat we niet over de nodige materialen beschikken.

Omni-ID is een gepatenteerde oplossing (US7768400, 2010) voor het lezen van tags op flessen met vloeistof of metalen omhulsels (<https://www.omni-id.com/>). Het ontwerp is een dikkere tag met een conductor en daaronder een diëlectricum, dit noemen zij de plasmonische structuur. Deze structuur vangt de RF signalen op en oscilleren in de plasmonische structuur. Na enige tijd heeft er zich voldoende energie verzameld en concentreert deze opgevangen energie onder de chip die hierdoor wel zijn minimum drempel vermogen bereikt ("Omni-ID | RFID Tags Technology," 2016). Dit is een techniek die ook 'spacing' wordt genoemd, verwijzend naar de ruimte tussen de conductor en de fles door het diëlectricum.



*Figuur 1. Werking van omni-id's plasmonische structuur*  
Herdruckt van "Omni-ID harmonic structure", door Omni-ID (2016). Geraadpleegd van <https://www.omni-id.com/rfid-tag-technology/>

Een andere interessante technologie is die van CapTag. Deze tag moet gedeeltelijk over de metalen dop van een fles en onder de vloeistoflijn bevestigd worden. Een deel van de tag is dus capacitief gekoppeld aan de metalen dop en een deel is capacitief gekoppeld aan de vloeistof. Het deel van de tag onder de vloeistoflijn is de grond aangezien het elektrisch veld wordt geabsorbeerd door de vloeistof voor de tag. De metalen dop vangt het elektrisch veld van het RF signaal op en door het spanningsverschil in de tag begint er een hoogfrequente AC stroom te vloeien die de tag van de threshold power voorziet. De tag zorgt er voor dat de fles transformeert in een monopool. We hebben deze technologie getest door de lus uit een normale UHF gen 2 tag te knippen (D. Mapleston van CapTag, persoonlijke communicatie, 11 april 2019) (GB2493996A, 2013). Deze hebben we op alle mogelijke wijzen bevestigd op de wijnflessen zoals getoond in Figuur 2. Vervolgens hebben we voor iedere fles de maximale afstand gemeten waarop de tag gelezen word. Als grenswaarden voor detectie gaan we uit van een RSSI van boven de -75 en een vindpercentage van 50 procent of meer.



*Figuur 2. Verschillende bevestigingswijzen near-field tags*

We testen ook deze technologie voor het lezen van tags in een vloeistofrijke omgeving. Dit door een doos te vullen met flessen waarop zich tags bevinden op de optimale plek. Hier rond plaatsen we dozen met wijnflessen in alle mogelijke combinaties en analyseren we welke flessen gedetecteerd worden en welke niet.

## Resultaten

Uit het vooronderzoek blijkt dat UHF RFID een van de weinige technologieën is die een mogelijke oplossing biedt en tegelijk ook kostenefficiënt is. Ook is de gevoeligheid voor de omgeving zoals metaal en vloeistoffen reeds een gekend probleem.

Uit de berekeningen vinden we dat een realistische maximale afstand voor het lezen van tags zich tussen de 6 en de 3 meter bevindt.

De tijd die een antenne nodig heeft om alle tags te lezen en deze dus in het bereik van de antenne moeten blijven, kan bepaald worden met de volgende formule:  $Tr > 0,7N$  waar  $Tr$  de tijd van alle tags in het antennebereik is.

De maximale leesafstand van een tag bedraagt 5,5m. Hierbij bedraagt de RSSI -71 en is er een vindpercentage van 14%. Indien we de tag korterbij brengen, bekommen we een meer betrouwbare RSSI waarde en vindpercentage. Vanaf 4 meter hebben we een vindpercentage van rond de 70%.

Het lezen van de tags in een vloeistofrijke omgeving is zeer onnauwkeurig en we stellen vast dat de flessen wijn tussen de tag en antenne een zeer grote invloed hebben op het mogelijks lezen van de tag. Een enkele fles wijn is reeds voldoende om een tag niet meer te kunnen lezen op een afstand van 2 meter.

We hebben de volgende mogelijke oplossing onderzocht voor het probleem van de vloeistof.

De dual-frequency techniek is niet getest geweest maar vanuit meerdere bronnen is ons bevestigd dat deze techniek geen betrouwbare oplossing is (Lauran D'hanis van Auxcis, persoonlijke communicatie, 30 april 2019) (Lehpamer, 2012)

De Omni-ID technologie is niet getest kunnen worden omdat we niet over deze tags beschikken. Deze technologie biedt enkel een oplossing voor het lezen van tags op vloeistofflessen of metalen objecten maar niet voor het lezen van tags doorheen vloeistof.

De testresultaten van de CapTag oplossing geeft ons goede resultaten. In de optimale positie van de tag en fles bekomen we een afstand van 1,80m met onze zelfgemaakte tags. CapTag zelf beweert afstanden te bereiken tot wel 10 meter (CapTag, 2015).

Positie van de tag	Bereik tag vooraan (m)	Bereik tag achteraan (m)
Volledige UHF RFID tag op de fles	0,38	0,42
Tag volledig op dop	Niet gelezen	Niet gelezen
Tag volledig op fles	0,61	0,85
Tag half op de fles, half op de dop en chip op de dop, halfvolle fles	0,28	0,32
Tag half op de fles, half op de dop met wijn net tot aan de dop. Chip op de dop	0,32	0,58
Tag half op de fles, half op de dop met luchtspleet tussen dop en wijn. Chip op de dop	0,52	0,85
Tag half op de fles, half op de dop met luchtspleet tussen dop en wijn. Chip achter de wijn	1,68	1,84
Tag half op de fles, half op de dop met luchtspleet tussen dop en wijn. Chip op de luchtspleet	1,6	1,78
Tag half op de fles, half op de dop met fles gevuld net tot aan de dop. Chip achter de wijn	0,84	1,63

Tabel 3. Resultaten van testen CapTag oplossing met zelfgemaakte tags

Ook de CapTag biedt geen oplossing voor het lezen van tags doorheen vloeistoffen maar enkel voor het lezen van tags op vloeistofflessen.

## Discussie en conclusie

De resultaten van de berekende waarden voor het leesbereik en de gemeten waarden komen goed overeen.

De gemeten afstand is iets hoger dan onze realistisch berekende waarde. Dit kan meerdere oorzaken hebben zoals een overschatting van de verliezen of constructieve interferenties door reflectie van het RF signaal. Daarbij is de meting gedaan met een optimale directiviteit en oriëntatie van de tag. Ook zijn -75 RSSI en 14% vindpercentage van de tag geen al te betrouwbare lezingen van een tag.

Uit berekeningen blijkt dat men toch rekening moet houden met de nodige tijd om een grote hoeveelheid tags te lezen. Het is dus aangewezen om de hoeveelheid tags te beperken of voldoende tijd te voorzien om alle tags te lezen. De oorzaak van de invloed van vloeistoffen op het lezen van de tag is omdat de vloeistof het elektrisch veld van het uitgestuurd elektromagnetisch signaal van de antenne absorbeert en omzet in warmte. Een tweede oorzaak is het glas van de flessen. Deze heeft weinig invloed als de invalshoek  $90^\circ$  is, maar indien deze verandert zal er meer refractie van het signaal zijn. Doordat de flessen rond zijn, is de kans op een invalshoek van  $90^\circ$  klein. Uit de onderzochte oplossingen voor deze invloed van de vloeistof is geen ervan een oplossing voor het lezen van tags doorheen de vloeistof. De CapTag tags zijn wel een goede oplossing indien men enkel nood heeft om tags op flessen vloeistof te lezen. De beste positie van de tag is half op de dop en half op de fles met een luchtspleet met de chip in de luchtspleet. Hierdoor creëert men het grootste potentiaalverschil om een stroom te induceren en de tag van voldoende power te voorzien.

We kunnen dus concluderen dat we geen kostenefficiënte oplossingen voor het lezen van tags doorheen vloeistoffen hebben kunnen ontdekken noch ontwikkelen.

Een mogelijke oplossing in de toekomst is de komst van een frequentieband met een maximaal vermogen van 4W ERP in plaats van de huidige 2W maar de kans is klein dat dit een positief resultaat geeft.

De komst van Wi-Fi HaLow kan ook een nieuwe te onderzoeken technologie zijn voor deze toepassing. Een andere mogelijkheid is afwachten of de kostprijs van andere technologieën die geschikter zijn zoals Bluetooth Low Energy en actieve RFID voldoende dalen zodat deze kostenefficiënt worden om op grote schaal te implementeren.



## Referenties

Antratek. (n.d.-a). UHF RFID Tag - Adhesive (Set of 5), WRL-14151 - Antratek Electronics. Geraadpleegd op mei 15, 2019, van <https://www.antratek.be/uhf-rfid-tag-adhesive-set-of-5>

Aankoopplaats van enkele tags. Extra informatie over de tags kan ook hier worden teruggevonden.

Antratek. (n.d.-b). UHF RFID Tag (Set of 5), WRL-14147 - Antratek Electronics. Geraadpleegd op mei 15, 2019, van <https://www.antratek.be/uhf-rfid-tag-set-of-5>

Aankoopplaats van enkele tags. Extra informatie over de tags kan ook hier worden teruggevonden.

CapTag. (2015, December 16). CapTag Solutions Ltd - low cost RFID Labels. Geraadpleegd op mei 15, 2019, van <https://www.youtube.com/watch?v=TnvrewAdKDw>

Demo van de werking van de CapTag en het maximale leesbereik van deze technologie.

ebay. (n.d.). AZ-9662 EPC GEN2 UHF RFID Adhesive Tags Alien H3 UHF RFID 50Pcs Fashion Hot Sale. Geraadpleegd op mei 15, 2019, van [https://www.ebay.com/itm/AZ-9662-EPC-GEN2-UHF-RFID-Adhesive-Tags-Alien-H3-UHF-RFID-50Pcs-Fashion-Hot-Sale/173034920489?\\_trkparms=aid=222007&algo=SIM.MBE&ao=2&asc=49564&meid=78665e57146047d2b9f909a7d27d0752&pid=100623&rk=5&rkt=6&sd=400306553807](https://www.ebay.com/itm/AZ-9662-EPC-GEN2-UHF-RFID-Adhesive-Tags-Alien-H3-UHF-RFID-50Pcs-Fashion-Hot-Sale/173034920489?_trkparms=aid=222007&algo=SIM.MBE&ao=2&asc=49564&meid=78665e57146047d2b9f909a7d27d0752&pid=100623&rk=5&rkt=6&sd=400306553807)

Aankoopplaats van enkele tags. Extra informatie over de tags kan ook hier worden teruggevonden.

EPCglobal inc. (2008). Specification for RFID Air Interface (1.2.0). Geraadpleegd van [https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/uhf1g2\\_1\\_2\\_0-standard-20080511.pdf](https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/uhf1g2_1_2_0-standard-20080511.pdf)

Officiële documentatie van de huidige RFID standaard met de vereisten voor klasse 1 tags van de tweede generatie in de 860 tot 960 MHz frequentieband.

Gao, Y. G., Zhang, Z. Z., Lu, H. L., & Wang, H. W. (2012). Calculation of read distance in passive backscatter RFID systems and application (1818-0523). Geraadpleegd van <https://pdfs.semanticscholar.org/cc4a/a94dcce192ad1e03fb82b302995a27698d2a.pdf>

Paper van een tabaksbedrijf in China over de berekeningen van het leesbereik van passieve RFID systemen.

GS1. (2019). Regulatory status for using RFID in the EPC Gen2 (860 to 960 MHz) band of the UHF spectrum. Geraadpleegd van [https://www.gs1.org/docs/epc/uhf\\_regulations.pdf](https://www.gs1.org/docs/epc/uhf_regulations.pdf)

Laatst uitgebrachte officiële regelgeving door GS1 over RFID generatie 2 in het 860 tot 960 MHz frequentieband. Hierin vinden we ook terug dat men in Europa bezig zijn om een power van 4W ERP toe te laten.

Lawrence, C. R. L., Clarke, P. L. R., Brown, J. R., & Damerell, W. N. . (2010). US7768400. US: United States patent Lawrence et al.

Patent van de Omni-ID met informatie hoe de plasmonische structuur eruit ziet en werkt.

Lehnamer, H. L. (2012). RFID Design Principles (second edition). Artech House.

Boek specifiek voor het ontwerpen van UHF RFID systemen. Hierin wordt uitgebreid in uitgelegd hoe men het link budget, leesbereik en leesnelheid van een UHF RFID systeem kan berekenen. Ook de mogelijkheden en de huidige beperkingen van het systeem zoals penetratie van vloeistoffen en het menselijk lichaam worden hierin besproken

Mapleston, D. M. (2013). GB2493996A. GB: UK Patent Application.

Een van de 2 patenten van de CapTag tags waarin het concept wordt uitgelegd en geïllustreerd.

Nordic ID. (2017). Nordic ID. Geraadpleegd op maart 19, 2019, van <https://github.com/NordicID>

Github repository van de gebruikte Nordic ID hardware waar de windows demo applicaties terug te vinden zijn om met deze hardware te werken. Ook de documentatie om met de hardware te werken op een linuxsysteem of raspberry pi zijn hier terug te vinden.

Nordic ID. (2017). NORDIC ID NUR-05WL2 RFID MODULES (V1006). Geraadpleegd van [https://www.nordicid.com/nordic-id-nur-05wl2-rfid-module\\_datasheet\\_eu\\_v1006/](https://www.nordicid.com/nordic-id-nur-05wl2-rfid-module_datasheet_eu_v1006/)

Datasheets van de gebruikte Nordic-ID NUR-05WL2 reader in dit onderzoek.

Nordic ID. (2018). NORDIC ID SAMPO S0 (V1010). Geraadpleegd van [https://www.nordicid.com/nordic-id-sampo-s0\\_datasheet\\_eu\\_v1010/](https://www.nordicid.com/nordic-id-sampo-s0_datasheet_eu_v1010/)

Datasheet van de gebruikte Nordic ID sampo S0 antenne in dit onderzoek.

Omni-ID. (2016). Omni-ID | RFID Tags Technology. Illustration. Geraadpleegd van <https://www.omni-id.com/rfid-tag-technology/>

Bevat de afbeelding die meer duiding geeft van de plasmonische structuur ontworpen door Omni-ID. Hier is ook een filmpje terug te vinden die de werking verduidelijkt.

Prof. Weyn, M. W., & Bellekens, B. B. (2019). RFID\_NFC. Geraadpleegd op Maart 8, 2019, van [https://blackboard.uantwerpen.be/bbcswebdav/pid-1931690-dt-content-rid-18962961\\_1/xid-18962961\\_1](https://blackboard.uantwerpen.be/bbcswebdav/pid-1931690-dt-content-rid-18962961_1/xid-18962961_1)

Powerpoint presentatie van de Universiteit Antwerpen deel van het vak 5-Mobile communication gegeven door Prof. dr. ir. Weyn. Hierin wordt de staat van de huidige IoT technologieën uitgelegd. Deze worden hierin ook met elkaar vergeleken.

De tabel die de verschillende frequenties van RFID vergelijkt is afkomstig van deze presentatie.