

Mogelijkheden en toepassingen van geprinte elektronica in de logistiek

Maarten HOUBEN

promotor :

Prof. dr. Alex VAN BREEDAM

Woord vooraf

Deze eindverhandeling vormt het sluitstuk van mijn opleiding tot Handelsingenieur aan de Universiteit Hasselt. In het kader van de afstudeerrichting Operationeel Management en Logistiek heb ik ervoor gekozen de mogelijkheden en toepassingen van geprinte elektronica in de logistieke sector in kaart te brengen.

Vooreerst bedank ik mijn promotor Prof. Dr. Alex Van Breedam omdat hij mij de mogelijkheid heeft gegeven deze materie, in samenwerking met het Vlaams Instituut voor de Logistiek (VIL), uit te diepen.

Bijzondere dank gaat uit naar Liesbet De Munck, expert bij het VIL, voor haar goede opvolging, haar deskundige begeleiding en raad.

Daarnaast een woord van dank aan Gerwin Gelinck van Holst Centre, Wolfgang Milder van PolyIC, Jan Genoe van IMEC, Daniel Naegels van Deister Electronic, Geert De Coninck van Siemens, Steve Klink van Philips en Wolfgang Clemens van PolyIC. Hun bijdrage betekent zeker een meerwaarde voor deze eindverhandeling.

Een speciaal dankwoord is gericht aan mijn ouders voor de mogelijkheid die ik gekregen heb om deze studie te volgen en hun onvoorwaardelijke steun. Tenslotte wil ik via deze weg mijn vriendin bedanken voor haar steun en toeverlaat.

Samenvatting

Een goed beheer van de logistieke keten leidt tot een verbetering van de operationele efficiëntie, wat op zijn beurt leidt tot een vermindering van de kosten en betere verkopen. Van belang, om een goed beheer van de logistieke keten te ondersteunen, is visibiliteit. Visibiliteit zorgt voor al de data die nodig is om op elk punt in de logistieke keten tijdig te weten wat er gebeurt. Dit betekent op elk punt weten wat waar is, waar het is geweest en in welke staat het verkeerd gedurende het hele traject. Visibiliteit laat bedrijven toe data globaal te analyseren en sneller te reageren op kwesties die direct en indirect de goederenstroom beïnvloeden. Op die manier kunnen de verschillende partijen in de logistieke keten hun cross supply chain activiteiten op elkaar afstemmen en de afzonderlijke afdelingen binnen hun bedrijf optimaal met mekaar laten samenwerken.

Een essentiële component in visibiliteitsoplossingen is de technologie. Technologie laat immers toe de data, die nodig is om de gewenste visibiliteit te bekomen en bijgevolg een goed logistiek beheer te ondersteunen, automatisch te verzamelen. Zo worden in deze thesis drie visibiliteitstoepassingen besproken waarin de technologie essentieel is. De eerste toepassing is die van automatische identificatie. Bij automatische identificatie zenden RF-tags van op afstand en draadloos informatie, wat betreft de 'specificaties' van het product, via radiogolven uit. Het tweede toepassingsgebied zijn de intelligente verpakkingen. Bij intelligente verpakkingen laat de integratie van RF-tags met sensoren toe om voor verpakte goederen variabele informatie, zoals temperatuur, druk, trillingen, vochtigheid, enz. te meten en op een efficiënte manier met de omgeving te communiceren. De laatste toepassing, die besproken wordt, is deze waar RF-tags uitsluitel geven of een product al dan niet authentiek is. Er wordt dan gesproken over merkbescherming en productauthenticiteit.

De basis van al deze toepassingen is dezelfde, met name radiofrequentie identificatie (RFID). De voordelen van RFID nemen toe naarmate de graad van nauwkeurigheid stijgt en meer opeenvolgende spelers in de logistieke keten het toepassen. Wanneer een individueel product

bijvoorbeeld van een RF-tag voorzien is, biedt dit immers veel meer mogelijkheden dan wanneer enkel de pallet of doos opgevolgd wordt. Omdat elke tag een unieke identificatie bevat, zal elk artikel afzonderlijk automatisch geïdentificeerd kunnen worden. Dit brengt enkele potentiële voordelen met zich mee, zoals een betere en meer gedetailleerde zichtbaarheid van de voorraden, een verhoogde productbeschikbaarheid, een vermindering van de arbeid, enz.

Omwillen van deze voordelen is de interesse in RF-tags op itemniveau (hetzij voor automatische identificatie op itemniveau, voor intelligente verpakkingen of voor productauthenticiteit) gestegen, vooral vanuit de sector van de farmacie en de retail. In deze sectoren komen de voordelen van RFID op itemniveau immers het best tot uiting.

Hoewel de siliciumgebaseerde chip alomtegenwoordig en onmisbaar is in onze samenleving, uitstekende prestaties kan voorleggen en aan alle technische vereisten voor RF-tags op itemniveau kan voldoen, kent de chip vandaag een grote beperking. Siliciumgebaseerde RF-tags zijn momenteel niet in staat onder de drempel van vijf eurocent per tag te duiken en zo een echte doorbraak van RFID op itemniveau te realiseren. Hoofdoorzaak hiervan zijn de dure verwerkings- en productieprocessen van de siliciumchip. Waar de siliciumchip deze markten momenteel niet kan betreden, is deze mogelijkheid misschien wel weggelegd voor geprinte elektronica. Geprinte elektronica is een nieuwe technologie in ontwikkeling en staat centraal in deze thesis.

Geprinte elektronica gebruikt organische of anorganische halfgeleiders voor het printen van laagsgewijze transistorgebaseerde elektronische circuits op dunne flexibele substraten en dit door middel van conventionele printtechnieken. Deze geprinte elektronica circuits zullen in de toekomst waarschijnlijk in staat zijn de functies van de meest eenvoudige siliciumchips over te nemen in verscheidene elektronietoepassingen, zoals displays, batterijen, sensors, zonnecellen en RFID-tags. Printprocessen zijn goedkope en continue productieprocessen, wat het mogelijk zal maken om elektronische circuits in hoge volumes en met korte productietijden te produceren. Dit zorgt voor lage eenheidskosten. Zo beweren de ontwikkelaars van geprinte elektronica RF-tags te kunnen printen tegen een kost van enkele cents per tag. Tevens zullen

deze geprinte RF-tags flexibel zijn wat ze in staat stelt zich te passen in eender welke geometrie en dit maakt rechtstreekse integratie in de verpakking mogelijk.

De belangrijkste conclusie van deze thesis is dat siliciumgebaseerde RF-tags in staat zijn aan al de technische vereisten voor identificatie op itemniveau te voldoen, maar dat de kostprijs dit momenteel niet toelaat. Daarentegen bezit geprinte elektronica de potentie om in de toekomst aan zowel de technische vereiste als aan de lage kost vereiste voor RF-tags op itemniveau te voldoen en zo toegevoegde waarde te bieden aan logistieke ketens. De ontwikkelaars van geprinte elektronica beseffen dat de interesse naar identificatie op itemniveau groot is en er nood is aan een laagkostende RF-tag. Hun einddoel is dan ook het op de markt brengen van een RF-tag die aan alle vereisten voldoet. De vraag is echter of geprinte elektronica zijn verwachtingen kan inlossen en op welke tijdshorizon geprinte elektronica dit zal doen. Er zijn vandaag immers nog geen geprinte RF-tags op de markt en de eerste geprinte RF-tags, die eind 2007 op de markt komen, zullen zeer eenvoudig, zeer beperkt in prestaties en voor productauthenticiteit bestemd zijn.

Naast de vraag of de ontwikkelaars hun doel zullen bereiken tegen de beoogde periode van 2012-2015, bestaat er de vraag in welke mate een nieuwe technologie in staat is de concurrentie aan te gaan met de siliciumtechnologie, die alomtegenwoordig, gevestigd, matuur en betrouwbaar is. De technologie van geprinte elektronica is immers nog volop in ontwikkeling, moet nog groeien, matuur worden en zich nog volledig bewijzen. Bovendien kan er niet met zekerheid gezegd worden dat de technologische vooruitgang en enorme jaarlijkse productievolumes het nooit mogelijk zullen maken laagkostende (lager dan vijf cent) siliciumgebaseerde RF-tags te produceren. Één ding is zeker, de siliciumindustrie zal alleszins al het mogelijke doen om dit doel te bereiken. Indien de siliciumindustrie hierin slaagt, zal het in staat zijn de hype rond geprinte elektronica te counteren en zelf laagkostende RF-tags aan te bieden.

Inhoudsopgave

WOORD VOORAF

SAMENVATTING

HOOFDSTUK 1: INLEIDING..... - 1 -

1.1	Situering van het probleem	- 1 -
1.2	Probleemstelling – centrale onderzoeksvraag.....	- 6 -
1.3	Deelvragen	- 6 -
1.4	Keuze van strategieën voor onderzoek.....	- 6 -

HOOFDSTUK 2: KENNISMAKING MET GEPRINTE ELEKTRONICA - 8 -

2.1	Wat is geprinte elektronica?.....	- 8 -
2.2	Prestatieparameters	- 8 -
2.3	De halfgeleiderkeuze	- 9 -
2.4	De processen	- 11 -
2.4.1	Het productieproces bij de siliciumchip	- 11 -
2.4.2	De processen bij geprinte elektronica.....	- 12 -
2.4.3	Flexografie	- 14 -
2.4.4	Rotogravure printen.....	- 14 -
2.4.5	Offset lithografie	- 15 -
2.4.6	Rotatie scherm printen.....	- 15 -
2.4.7	Inkt jet printen	- 16 -
2.4.8	De voordelen van printen	- 17 -
2.4.9	Het probleem bij printen.....	- 18 -
2.4.10	Besluit	- 18 -

2.5	Huidige prestaties en betrouwbaarheid	- 19 -
2.6	Toepassingsgebieden van geprinte elektronica.....	- 21 -
2.6.1	Displays	- 22 -
2.6.2	Printbare batterijen	- 24 -
2.6.3	Printbare organische zonnecellen	- 25 -
 HOOFDSTUK 3: GEPRINTE ELEKTRONICA IN DE LOGISTIEK		- 27 -
3.1	Drijfveren voor het beheer van de logistieke keten.....	- 27 -
3.1.1	Het beheer van de cross supply chain activiteiten	- 27 -
3.1.2	Het beheer van de individuele organisatie.....	- 29 -
3.1.3	Zichtbaarheid of visibiliteit	- 30 -
3.2	Automatische identificatie en radiofrequentie identificatie.....	- 33 -
3.2.1	Wat is automatische identificatie?.....	- 33 -
3.2.2	Wat is radiofrequentie identificatie (RFID)?.....	- 34 -
3.2.3	Barcode versus RFID	- 38 -
3.2.4	Automatische identificatie op itemniveau	- 40 -
3.3	RFID-toepassingen in de logistieke keten en hun toegevoegde waarde.....	- 43 -
3.3.1	RFID voor cross supply chain activiteiten	- 44 -
3.3.2	Fabricage	- 47 -
3.3.3	Opslag en distributie.....	- 51 -
3.3.4	De retail	- 55 -
3.4	Intelligente verpakkingen	- 64 -
3.4.1	Inleiding	- 64 -
3.4.2	Intelligente verpakkingen en geprinte elektronica.....	- 65 -
3.4.3	De vraag naar intelligente verpakkingen	- 66 -
3.4.4	Toepassingsgebied.....	- 67 -
3.5	Merkbescherming, productauthenticiteit en het tegengaan van productnamaak.....	- 71 -
3.5.1	De economische impact van productnamaak	- 72 -
3.5.2	De bestaande oplossingen voor het bestrijden van namaak.....	- 74 -
3.5.3	Siliciumgebaseerde RF-tags	- 76 -
3.5.4	Geprinte elektronica als antinamaak technologie	- 77 -

HOOFDSTUK 4: MARKTANALYSE..... - 78 -

4.1	Itemniveau RFID.....	- 78 -
4.1.1	De markt voor RFID op itemniveau vandaag en morgen.....	- 78 -
4.1.2	De rol van de farmacie	- 79 -
4.2	Geprinte elektronica	- 81 -
4.2.1	Organische elektronica	- 82 -
4.3	Roadmap	- 84 -

HOOFDSTUK 5: FREQUENTIES, WETGEVING EN STANDAARDEN - 87 -

5.1	Frequentiebanden	- 87 -
5.1.1	Frequentieafhankelijke factoren	- 88 -
5.1.2	Toepassingen in functie van de frequentieband.....	- 89 -
5.2	Wetgeving en standaarden	- 90 -
5.2.1	Wetgeving	- 90 -
5.2.2	Standaarden	- 91 -
5.3	De frequentie bij RFID op itemniveau en geprinte elektronica	- 93 -

HOOFDSTUK 6: CONCLUSIES - 95 -

6.1	Samenvattende vergelijking tussen siliciumelektronica en geprinte elektronica	- 95 -
6.2	Conclusies en vragen voor verder onderzoek	- 97 -

LIJST VAN GERAADPLEEGDE WERKEN..... - 101 -

BIJLAGEN

Hoofdstuk 1: Inleiding

1.1 Situering van het probleem

Toen halverwege de twintigste eeuw Jack Kilby en Robert Noyce de eerste chip introduceerden, had niemand de impact hiervan op het dagelijkse leven kunnen inschatten. Kilby en Noyce slaagden er in 1958 als eerste in de elektrische componenten van een elektronica-circuit op één plaatje halfgeleidend¹ materiaal, met name silicium², te integreren. De chip, zoals we die nu nog steeds kennen, was geboren (About Inventors, 2006).

De chip is een elektronische schakeling waarbij alle componenten geïntegreerd gefabriceerd zijn op één silicium plakje. Een keramisch of plastic omhulsel beschermt dit plakje. De term 'chip' is afgeleid van de plak silicium die van een staaf van puur silicium afgezaagd wordt. Synoniemen van de chip zijn geïntegreerde schakeling, geïntegreerd circuit of IC (Encyclopaedia Britannica, 2006).

De prestaties en de complexiteit van de huidige IC's zijn niet te vergelijken met deze van de eerste chip. De wet van Moore, daterende uit 1965, stelt dat de technische vooruitgang het mogelijk maakt om het aantal transistors³ op een chip elke achttien maanden te verdubbelen. Zeer kleine en complexe chips, met wel miljoenen transistors, zijn de dag van vandaag dan ook geen uitzondering meer. Door deze grote technologische vooruitgang is het aantal toepassingen voor siliciumchips tijdens de laatste decennia enorm gestegen. Bovendien komen er nog steeds nieuwe toepassingen of verbeterde versies op de markt (IMEC, 2006b; Intel, 2006).

¹ Halfgeleiders zijn materialen met unieke elektrische eigenschappen: in hun oorspronkelijke samenstelling zijn ze niet-geleidend, maar door toevoeging van verontreinigingen kunnen ze geleidend gemaakt worden.

² Silicium is een scheikundig element dat veel wordt gebruikt in de micro-elektronica.

³ Een transistor is de basisbouwsteen van een elektronisch circuit en wordt gebruikt als schakelaar of versterker van een elektrisch signaal.

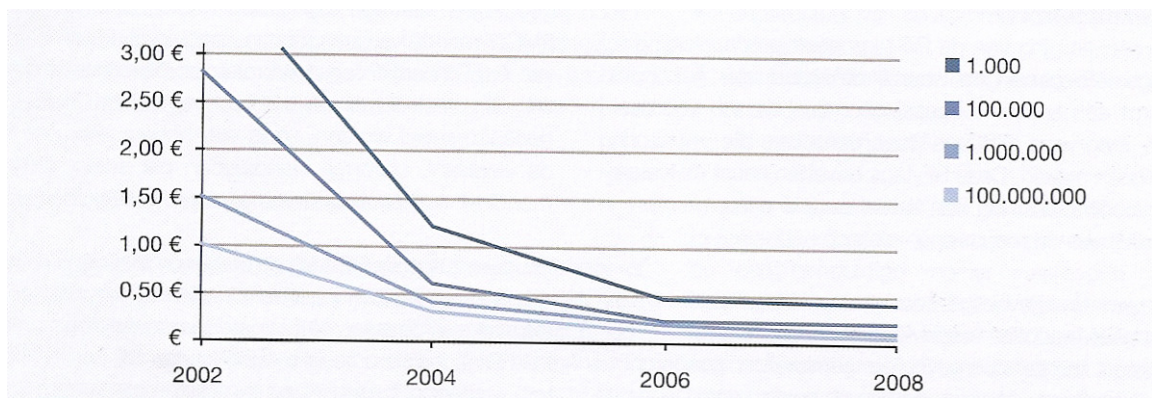
De chip is vandaag de draaischijf van bijna alles wat elektronisch is: computers, gsm's, spelconsoles, maar ook stofzuigers, koffiezetapparaten en verwarmingstoestellen bevatten siliciumchips. Ons dagelijks leven zou er totaal anders uitzien zonder het geïntegreerde circuit, om maar te zwijgen over de impact op de wetenschap.

Evenwel kent silicium enkele belangrijke nadelen (IDTechEx, 2004d, 2004e, 2006d).

- *Complex en tijdrovend productieproces:* siliciumchips zijn opgebouwd uit meerdere lagen, elk met een eigen samenstelling en met een ander proces aangebracht. Hierdoor kennen de geïntegreerde circuits een complex en tijdrovend productieproces. Een productietijd van tientallen weken is voor complexe IC's niet uitzonderlijk. Deze productietijd omvat ook het testen (de fabrikant test elke chip zorgvuldig alvorens hij de deur uitgaat) en verpakken.
- *Relatief hoge kostprijs:* door dit complexe en lange productieproces is de kostprijs van een siliciumchip momenteel relatief hoog. Eén van de belangrijkste toepassingsgebieden van IC's in de logistieke sector zijn RF-tags. Een RF-tag is een elektronische gegevensdrager die draadloos via radiogolven kan worden uitgelezen. De passieve RF-tag – RF-tag zonder batterij – is de goedkoopste. In 2004 zat deze passieve tag in de prijsklasse van € 0.30 tot € 15, afhankelijk van het type en de afgenomen hoeveelheid. Uit grafiek 1 blijkt dat de prijzen van zulke tags wel geleidelijk dalen en dit omwille van de technische evolutie en het groeiende productievolume (VIL, 2004). Deze prijsreductie door technologische vooruitgang wordt echter getemperd door de exponentiële groei in de oprichtingskosten van chipproducerende fabrieken en van de kosten voor onderzoek en ontwikkeling. Vandaag schommelt de kostprijs van een passief RF-label nog steeds rond de dertig à veertig eurocent, aldus Daniel Naegels van Deister Electronic. OrganicID haalt hetzelfde prijsniveau aan voor passieve siliciumgebaseerde tags (OrganicID, 2007).
- *Externe verbinding tussen microchip en macrocomponenten noodzakelijk:* de siliciumchip is enkel kosteneffectief wanneer hij zeer klein is. Gezien de productiekost

per wafer⁴ erg hoog is, trachten fabrikanten zoveel mogelijk circuits per wafer aan te brengen. Ze zagen deze wafer vervolgens in zoveel mogelijk chips. Zo daalt de prijs per chip. Om de chip voldoende klein en kosteneffectief te behouden, integreren de fabrikanten bijgevolg grotere conventionele componenten zoals batterijen en antennes niet op de siliciumchip zelf. Ze gaan deze componenten extern verbinden. Maar hoe kleiner de chip, hoe moeilijker en duurder het echter wordt om de externe componenten met de chip te verbinden. Deze verbinding tussen de microchip en de macrocomponent is volgens Wolfgang Mildner van PolyIC immers zeer fragiel, brengt extra processtappen en meer kansen op fouten met zich mee.

- *Gebrek aan flexibiliteit:* voor enkele toepassingen is het gebruik van silicium eveneens niet praktisch als gevolg van zijn beperkte mechanische eigenschappen, dat wil zeggen niet voldoende flexibel of te bros. Zo zijn er enerzijds “small area” toepassingen, zoals intelligente labels waar silicium niet voldoende flexibel is om op plastic, papier of golfkarton te worden aangebracht. Anderzijds is de siliciumchip niet voldoende robuust voor bepaalde “large area” toepassingen waar grote afstanden dienen overbrugd te worden. Een computerdisplay barst, als gevolg van zijn beperkte flexibiliteit, zo bijvoorbeeld in verschillende stukken indien het op de grond valt (IDTechEx, 2005d).



Grafiek 1: Prijevolutie van passieve siliciumgebaseerde RF-tags (VIL, 2004)

⁴ Een wafer is een dunne plak halfgeleidend silicium waarop verschillende micro-circuits geconstrueerd worden. Vervolgens wordt de wafer in kleine stukjes gezaagd. Elk stukje stelt een siliciumchip voor.

Deze nadelen beperken vandaag de inzetbaarheid van de traditionele chip in bepaalde, op RF-tags gebaseerde toepassingen, zoals intelligente verpakkingen, automatische identificatie op itemniveau en productauthenticiteit in de retailsector. Deze markten vereisen immers eenheidsprijzen lager dan € 0,05 tot zelfs € 0,01 en flexibiliteit is ook vaak wenselijk (IDTechEx, 2004d). Daniel Naegels van Deister bevestigt dat de eenheidsprijzen van de tags zullen moeten dalen tot enkele cents om RFID op itemniveau mogelijk te maken. Zoals aangehaald kan de siliciumindustrie vandaag geen RF-tags tegen deze kostprijzen produceren. Verder zijn de meningen verdeeld over het feit of de technologische vooruitgang en enorme jaarlijkse productievolumes het ooit mogelijk zullen maken laagkostende (lager dan vijf cent) siliciumgebaseerde RF-tags te produceren. Één ding is zeker, de siliciumindustrie zal alleszins al het mogelijke doen om dit doel te bereiken. Rest er enkel de vraag of ze hierin zullen slagen en, indien ja, wanneer dit het geval zal zijn (Roberti, 2004; Van Osten, 2005).

Waar de siliciumchip deze markten momenteel niet kan betreden, is deze mogelijkheid in de toekomst misschien wel weggelegd voor geprinte elektronica. Geprinte elektronica is een nieuwe technologie in ontwikkeling, die ook centraal staat in deze thesis. Momenteel ontwikkelen verschillende organisaties “printed electronics” of “geprinte elektronica”, waarvan sommigen reeds zeggen dat het een grotere impact op de mensheid zal hebben dan de siliciumchip ooit heeft gehad. Bij geprinte elektronica worden elektronica circuits tegen lage kosten geprint op dunne, flexibele substraten door gebruik te maken van conventionele printtechnieken en geleidende inktten.

Volgens organisaties zoals PolyIC, OrganicID, VTT, IDTechEx, enz. zal geprinte elektronica in de toekomst het volgende bieden (IDTechEx, 2005a, 2005d, 2006d; OrganicID, 2006a; PolyIC, 2006j):

- lage eenheidskosten;
- hoge productievolumes;
- dunne en flexibele substraten;
- korte productietijden,

- grote productvariëteit vermits de printsystemen snel aangepast kunnen worden aan de gestelde eisen;
- continue productie- of printprocessen;
- integratie van meerdere componenten op één substraat met als doel displays, batterijen, sensors, antennes en dergelijke te printen tegen lage kosten.

De prestaties van de gebruikte materialen bij geprinte elektronica, en in het bijzonder de geleidbaarheid van de halfgeleiders, zijn echter verscheidene ordes kleiner dan die van silicium. In heel wat toepassingen, zoals bijvoorbeeld pc's, zal geprinte elektronica bijgevolg nooit gebruikt worden. Het doel van geprinte elektronica is echter het introduceren van elektronietoepassingen in gebieden waar vandaag de kost van silicium dat onmogelijk maakt, waar veel componenten nodig zijn (bijvoorbeeld bij de integratie van een sensor in een elektronica circuit) of waar flexibiliteit vereist is (bijvoorbeeld bij de integratie van een RF-tag in de verpakking van een zak diepvriesfrietten). Dit betekent dus dat het tijdperk van de chip zeker niet afgelopen is. Het gebruik van de chip in de huidige toepassingen zal blijven bestaan en zelfs nog groeien. Daarnaast zal de eventuele komst van geprinte elektronica nieuwe markten creëren (IDTechEx, 2005d).

Eenmaal doorgebroken, zullen verschillende sectoren van geprinte elektronica profiteren. Eén daarvan is de logistieke sector. Hier zal RFID bijvoorbeeld de stap van pallet- en doosniveau naar itemniveau kunnen zetten, zodat elk artikel afzonderlijk geïdentificeerd en opgevolgd kan worden. Dit heeft een efficiënter beheer van de logistieke keten tot gevolg. Tevens zal het concept van de intelligente verpakking tot de mogelijkheden behoren. Intelligente verpakkingen bieden, door accurate informatie over de toestand van hun inhoud te geven, namelijk toegevoegde waarde aan zowel de consument, de eindverkoper, de producent als de logistieke dienstverlener. Denk maar aan een verpakking die de rijpheid van peren weergeeft of een verpakking van diepvriesfrietten, die aangeeft of een vooropgestelde temperatuur al dan niet is overschreden. Een laatste potentiële toepassing van geprinte elektronica is op het gebied van merkbescherming en productauthenticiteit, waar geprinte RF-tags uitsluitel kunnen geven of een product al dan niet echt is.

1.2 Probleemstelling – centrale onderzoeksvraag

De centrale onderzoeksvraag van deze thesis is: “Welke zijn de mogelijkheden en toepassingen van geprinte elektronica in de logistiek anno 2006-2007 en in de toekomst?”

1.3 Deelvragen

Om het onderzoek vlotter te laten verlopen, wordt de centrale onderzoeksvraag opgesplitst in een reeks deelvragen. Wanneer een antwoord kan worden gevonden op deze deelvragen, wordt het mogelijk een besluit te formuleren voor de centrale onderzoeksvraag. De deelvragen zijn:

- Wat is geprinte elektronica precies ?
- Welke technologie schuilt er achter geprinte elektronica?
- Wat is mogelijk met geprinte elektronica en welk zijn de toekomstperspectieven?
- Waarom de nood aan automatisering/elektronica in de logistiek?
- Welke logistieke toepassingen zijn er theoretisch mogelijk met geprinte elektronica?
- Hoe ver staat het in de praktijk met deze toepassingen?
- Welke knelpunten moet geprinte elektronica nog overwinnen om door te breken in de logistieke sector?
- Hoe staan de beheerders van de huidige technologieën in de logistiek tegenover deze nieuwe technologie?

1.4 Keuze van strategieën voor onderzoek

Deze thesis wil een beeld scheppen van de mogelijkheden en toepassingen van geprinte elektronica in de logistiek. Eerst wordt door middel van een literatuurstudie nagegaan wat de

technologie van geprinte elektronica precies inhoudt. Op welke materialen en productieprocessen doet geprinte elektronica een beroep, welke zijn de karakteristieken van geprinte elektronica en wat kan geprinte elektronica allemaal. Deze literatuurstudie houdt het onderzoeken van primaire bronnen (onderzoeksrapporten en wetenschappelijke papers), secundaire bronnen (publicaties van primaire bronnen in wetenschappelijke tijdschriften en boeken) en tertiaire bronnen (lijsten of bestanden van primaire en secundaire literatuur) in. Deze bronnen worden bekomen door gebruik te maken van verschillende zoekmachines (zoals google, google wetenschap, EBSCOhost, scirus,...) en vele trefwoorden (zoals printed electronics, geprinte elektronica, halfgeleider, silicium, polymer electronics, organic electronics, organic semiconductors, transistors, TFTC, printer, flexography, rotogravure, screen printing, lithography, rfid, smart packaging, itemlevel rfid, market analysis, manufacturing, retail, warehousing, EPC, ISO standards, frequency, supply chain management, automatisatie, visibility en dergelijke). Deze literatuurstudie over het technische gedeelte wordt aangevuld met informatie bekomen uit interviews, afgenomen bij deskundigen (zij die onderzoek doen naar geprinte elektronica) om zo een geheel en correct beeld te krijgen van wat geprinte elektronica is en welke de prestaties zijn.

Een tweede deel van het onderzoek gaat over geprinte elektronica in de logistiek. Hierin worden de economische aspecten van logistieke toepassingen bestudeerd. Welke automatisering- of elektronicasystemen worden nu reeds gebruikt in de logistiek en kunnen eventueel vervangen worden door of aangevuld worden met geprinte elektronica? Welke nieuwe mogelijkheden biedt geprinte elektronica voor de logistiek? Ook dit onderzoeksluik bestaat uit een literatuurstudie, aangevuld met interviews. Deze interviews vinden plaats met bedrijven, die op siliciumgebaseerde logistieke elektronietoepassingen aanbieden, en met de ontwikkelaars van de geprinte elektronica.

In bijlage kan de vragenlijst voor de ontwikkelaars van geprinte elektronica teruggevonden worden.

Hoofdstuk 2: Kennismaking met geprinte elektronica

2.1 Wat is geprinte elektronica?

Geprinte elektronica gebruikt organische of anorganische halfgeleiders voor het printen van laagsgewijze transistorgebaseerde elektronische circuits op dunne flexibele substraten en dit door middel van conventionele printtechnieken. Deze circuits zullen in de toekomst waarschijnlijk in staat de functie van de meest eenvoudige chips over te nemen in verscheidene elektronietoepassingen, zoals displays, batterijen, sensors, zonnecellen en RFID-tags (IDTechEX, 2005d; PolyIC, 2006g).

Bij geprinte elektronica ligt de prioriteit op twee kenmerken:

- lage kosten;
- flexibele circuits.

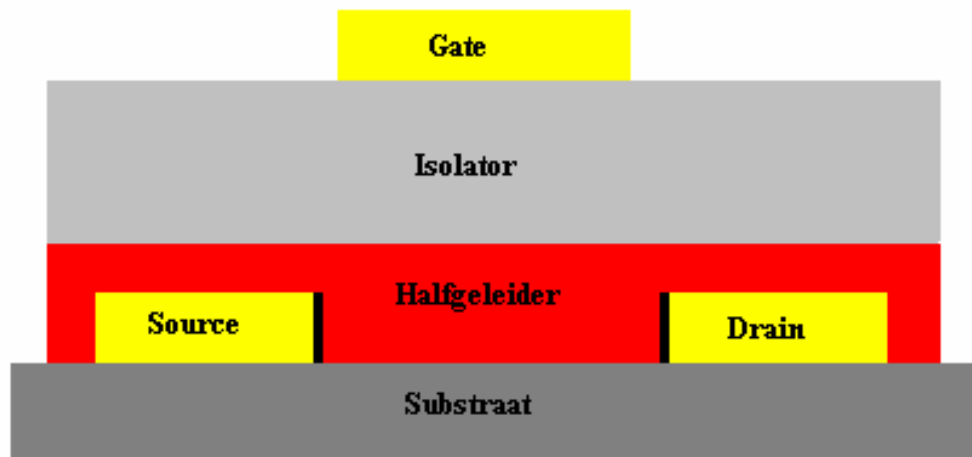
Onderstaande paragrafen tonen hoe ontwikkelaars van geprinte elektronica hun materiaal- en proceskeuzes volledig in functie van deze kenmerken stellen.

2.2 Prestatieparameters

De prestaties van elektronica circuits kunnen uitgedrukt worden in functie van de frequentie, of met andere woorden de snelheid waarmee het circuit werkt. Hoe hoger de frequentie, hoe beter de prestaties. Van de drie transistorparameters⁵, die een invloed hebben op de frequentie, zijn er twee relevant in het kader van deze thesis. Deze parameters zijn de mobiliteit van de halfgeleiders en de kanaallengte van de transistor (IDTechEx, 2005d).

⁵ Een transistor is de basisbouwsteen van een elektronisch circuit en wordt gebruikt als schakelaar of versterker van een elektrische signaal.

- De mobiliteit zegt iets over de geleidbaarheid van het halfgeleidermateriaal. Hoe groter de mobiliteit, hoe beter de geleidbaarheid en hoe hoger de frequentie (D'Olieslaeger, 2006). De mobiliteit is materiaalafhankelijk en wordt verder besproken in de paragraaf over de halfgeleiderkeuze.
- De kanaallengte is de afstand tussen de source en drain van de transistor. Hoe korter de kanaallengte, hoe hoger de frequentie waarop het circuit kan fungeren. Tevens dienen de zijdes van de source en de drain recht te zijn omdat een variabele kanaallengte niet wenselijk is. De kanaallengte is procesafhankelijk en wordt verder behandeld in paragraaf 2.3.9 van de processen.



Figuur 1: Transistor (PolyIC, 2006h)

2.3 De halfgeleiderkeuze

Halfgeleiders zijn sinds hun eerste gebruik (eind jaren vijftig) de fundering van de micro-elektronica geworden. De elektrische eigenschappen van halfgeleiders kunnen wijzigen van isolator (niet-elektrisch geleidend) naar geleider (wel elektrisch geleidend) door het toevoegen van gecontroleerde hoeveelheden geselecteerde onzuiverheden, wat ook wel doperen of doperen heet. De elektrische werking van de micro-elektronica is gebaseerd op de wisselwerking tussen regio's met verschillende elektrische eigenschappen, gecreëerd door

verschillende manieren en concentraties van doperen (Kalpakjian & Schmid, 2006). Net zoals bij de siliciumchip is de halfgeleider de basis bij geprinte elektronica.

Meer dan vijftig bedrijven zijn vandaag op zoek naar een halfgeleider als alternatief voor het dure silicium. Ze doen onderzoek naar de halfgeleidende eigenschappen van andere materialen zoals organische halfgeleiders (kleine onoplosbare moleculen en grote molecule polymeren) en anorganische halfgeleiders (carbon nanotubes). In hun keuze moeten de ontwikkelaars echter een compromis sluiten tussen de mobiliteit en de kost van de halfgeleider. De goedkope halfgeleiders, wat betreft de materiaalprijs en de kost van het verwerkingsproces, bezitten immers ook de laagste mobiliteit (IDTechEx, 2005d).

HOGE MOBILITEIT HOGE FREQUENTIE HOGE KOST				LAGE MOBILITEIT LAGE FREQUENTIE LAGE KOST	
SILICIUM		CARBON NANOTUBES (anorganisch) ONOPLOSBARE KLEINE MOLECULEN (organisch)		OPLOSBARE POLYMEREN	

Tabel 1: De halfgeleiderkeuze (IDTechEx, 2005d)

Hoewel ze de laagste mobiliteit vertonen en slechts een lage frequentie bieden, doen ontwikkelaars toch het meeste onderzoek naar de halfgeleidende, grote moleculen polymeren omdat ze in de eerste plaats goedkoop zijn. Dit draagt bij tot het profiel van lage kost technologie, dat de ontwikkelaars van geprinte elektronica zich aanmeten. Tevens zijn deze polymeren oplosbaar, zodat ontwikkelaars voor het produceren van geprinte elektronica-circuits een beroep kunnen doen op conventionele printtechnieken. Omdat de organische halfgeleiders de meest gebruikte zijn, wordt er ook soms gesproken over organische elektronica, plastic elektronica of polymeer elektronica. Geprinte elektronica omvat echter alle voornoemde termen.

Naast de halfgeleiderkeuze, moet ook voor het substraat, onderlaag waarop het elektronische circuit wordt geprint, een materiaalkeuze gemaakt worden. Vermits een geprint elektronica-circuit enkel flexibel kan zijn wanneer het substraat dat ook is, ligt de keuze voor

een flexibel substraat, zoals papier of een dunne plastic film, voor de hand. Tevens gaat een flexibel substraat gepaard met een lage kost (IDTechEx, 2005d). PolyIC bijvoorbeeld kiest flexibel polyester als substraat (PolyIC, 2006b).

2.4 De processen

De bij de geprinte elektronica gebruikte organische halfgeleiders verschillen enorm van het traditioneel halfgeleidend silicium wat betreft smeltpunt, oplosbaarheid en mechanische eigenschappen. Bijgevolg is het niet noodzakelijk de fabricagetechnieken van de traditionele micro-elektronica aan te wenden voor het produceren van geprinte elektronica.

2.4.1 Het productieproces bij de siliciumchip

Bij de traditionele siliciumelektronica zijn clean rooms essentieel voor de productie van de geïntegreerde circuits. Deze clean rooms elimineren potentiële schadelijke deeltjes, zoals stof, rook, geur en bacteriën, tijdens het fabricageproces van de siliciumgebaseerde elektronica-circuits. De aanwezigheid van zulke deeltjes kunnen immers de prestaties van de gehele chip in gevaar brengen (Kalpakjian & Schmid, 2006).

Het productieproces van de traditionele chip is complex, tijdrovend en duur. Dit komt omdat vele processtappen (zoals groeien van één-kristallen, één-kristallen verzagen tot wafers, diffusie, filmdepositie, fotolithografie, etsen, ion-implantatie, metallisatie, planarisatie, testen, verzagen van de wafer tot dies, verpakken en verbinden)⁶ vereist zijn. Bovendien worden bepaalde stappen zelfs meermaals na elkaar toegepast. De processen, waarop de producenten van siliciumchips een beroep op doen, worden ook standaardprocessen genoemd.

⁶ Voor een uitgebreide beschrijving van deze productieprocessen: zie Kalpakjian & Schmid (2006)

2.4.2 De processen bij geprinte elektronica

De ontwikkelaars van geprinte elektronica werken enkel in de fase van onderzoek en ontwikkeling in clean room omstandigheden. In deze fase doen ze een beroep op de standaardprocessen die de producenten van de siliciumchip aanwenden voor de productie van hun geïntegreerde circuits. Door het toepassen van deze reeds gekende processen, ontwikkelen ze geprinte elektronica tot het punt waarop ze over de nodige kennis, zoals de prestaties van de materialen, de functionaliteit van de componenten, circuits en hun interactie in een product, beschikken. Vervolgens gaan de geprinte elektronica ontwikkelaars over op een andere fase, het lab printen (PolyIC, 2006i).

Hierin ligt het grote voordeel van geprinte elektronica. Bij het afsluiten van de ontwikkelingsfase doen de ontwikkelaars een beroep op printmachines die geen clean room omstandigheden vereisen. Dit spaart bijgevolg een enorm deel van de kosten, die anders nodig zijn voor de aankoop en de werking van een clean room, uit. Bij het lab printen gebruiken ze de kennis van de eerste fase om deze toe te passen op grootvolume printprocessen. De ontwikkelaars gaan na met welke printprocessen het mogelijk is elektronica circuits te printen en welke aanpassingen eventueel nodig zijn om het proces verder te optimaliseren en/of



Figuur 2: Het printen van elektronica circuits (PolyIC, 2007b)

printprocessen te combineren. Wanneer deze fase voltooid is, gaan ze over naar de productiefase. In deze fase kiezen de ontwikkelaars het meest geschikte en goedkoopste printproces om geprinte elektronica producten op grote schaal, tegen hoge snelheid en tegen lage kosten te gaan produceren (PolyIC, 2006i).

De printprocessen, waarop geprinte elektronica een beroep doet, zijn (PolyIC, 2006g):

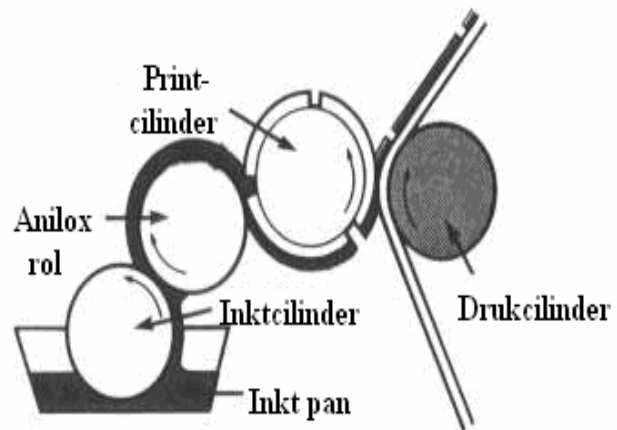
- Flexografie;
- rotogravure printen;
- offset lithografie;
- rotatie scherm printen;
- inkt jet printen.

Zoals de opsomming duidelijk maakt, doen de ontwikkelaars een beroep op een waaier van conventionele en nieuwe printtechnieken voor het printen van hun elektronicacircuits. De verscheidenheid van de materialen en de diversiteit van de gewenste circuits leiden ertoe dat ze niet één enkele printmethode zullen gebruiken voor alle toepassingen. Afhankelijk van de gewenste toepassing en de evolutie van de technologie, zullen de ontwikkelaars de juiste methode en/of combinatie van methodes kiezen. Het spreekt tevens voor zich dat ze de verschillende printmethodes moeten aanpassen aan de bijzondere eisen van geprinte elektronica zoals zeer hoge resoluties en precisiegraad. Verder maakt geprinte elektronica gebruik van op maat gemaakte halfgeleidende inktoplossingen, in plaats van de conventionele printinkten. De ontwikkelaars maken de processen bijgevolg ook passend aan deze inktoplossingen om zowel een goed printresultaat als een goede elektrische functionaliteit te verzekeren.

Hoewel de printmethodes aangepast worden aan de bijzondere eisen, blijven de conventionele printmethodes de vertrekbasis. Hieronder dan ook een korte beschrijving van de conventionele printtechnieken.

2.4.3 Flexografie

Een flexografische printopstelling bestaat uit een reeks van vier rollen of cilinders: een inktrol, een meter- of aniloxrol, een printcilinder en een drukcilinder. De eerste rol transfereert de inkt van een inktpan naar de meter of anilox rol. De anilox rol brengt op zijn beurt de inkt met een afgemeten, uniforme dikte over op de printcilinder.

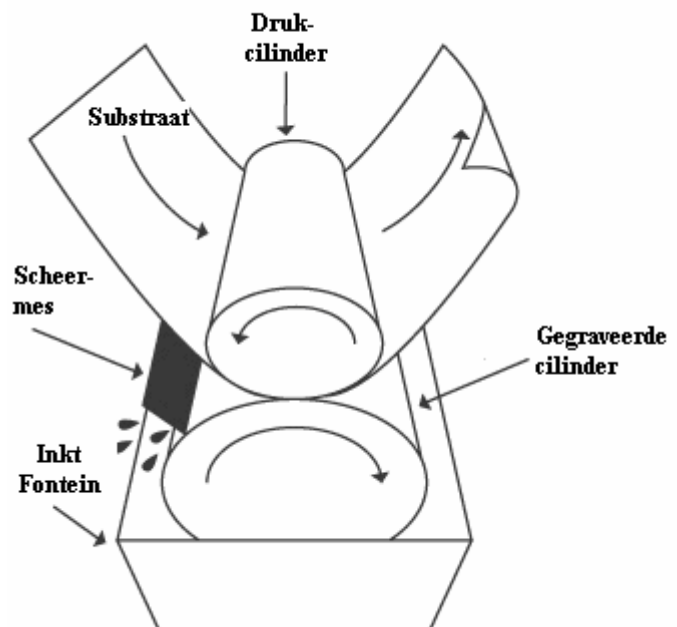


Figuur 3: Opstelling flexografie (PNEAC, 2006a)

De printcilinder bij flexografie bestaat uit 3D reliëfafbeeldingen. Het substraat passeert vervolgens tussen de printcilinder en de drukcilinder. De drukcilinder drukt het substraat op de printcilinder en hierdoor wordt de afbeelding aangebracht op het substraat. Tijdens het printen komt enkel de 3D reliëfafbeelding in contact met het substraat (PNEAC, 2006a).

2.4.4 Rotogravure printen

De opstelling van een rotogravure printproces bestaat uit vijf componenten: een gegraveerde cilinder, een inkt fontein, een scheermes, een drukwals en een droger. Eerst wordt de gegraveerde cilinder gedeeltelijk in de inktfontein ondergedompeld om het gegraveerde beeld op deze cilinder met inkt te vullen. Het scheermes dient om de overtollige inkt op de cilinder te verwijderen. Vervolgens duwt de drukcilinder het substraat krachtig op de gegraveerde

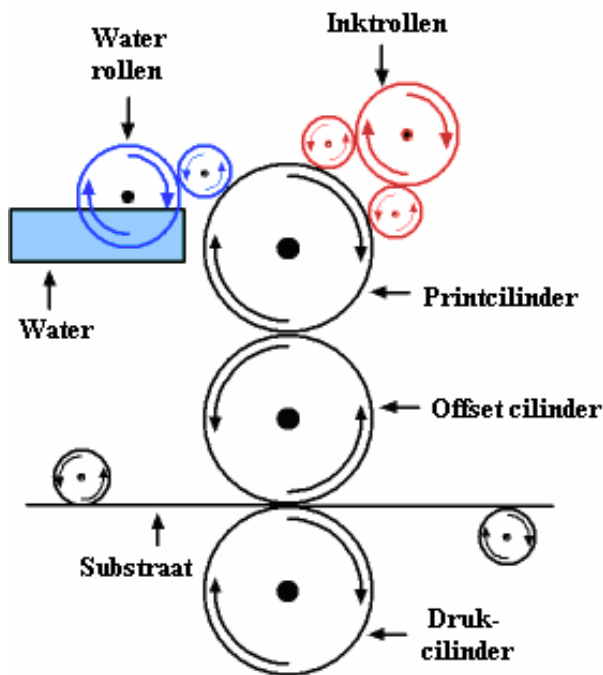


Figuur 4: Rotogravure printen (PNEAC, 2006b)

cilinder om de inkt over te dragen op het substraat. Als laatste passeert het geprinte substraat langs de droger om de inkt te drogen (PNEAC, 2006b).

2.4.5 Offset lithografie

Lithografie is een “offset” printtechniek die de inkt niet rechtstreeks van de printcilinder op



Figuur 5: Offset lithografie (PNEAC, 2006c)

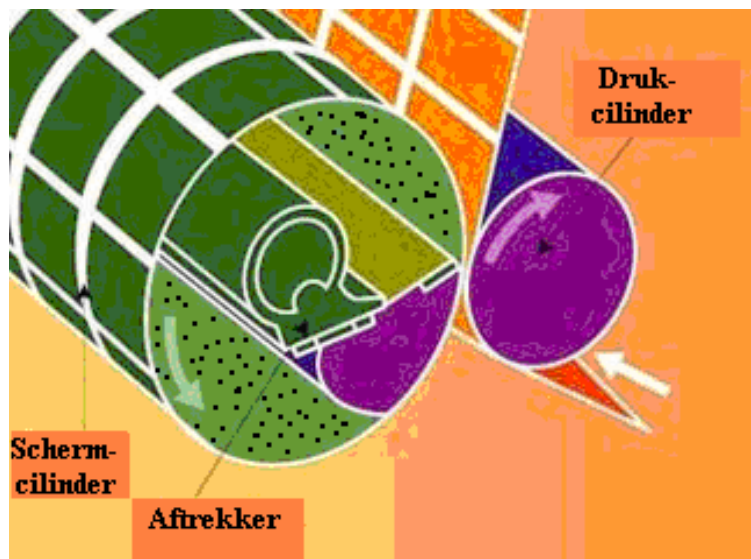
het substraat overbrengt, zoals dit wel het geval is bij onder andere rotogravure en flexografie. Bij lithografie brengen inkt- en waterrollen de inkt eerst in het juiste patroon op de printcilinder aan. Vervolgens draagt de printcilinder de inkt over – of “offset” – op een met rubber beklede cilinder, die op zijn beurt de afbeelding drukt op het substraat. Lithografie maakt gebruik van een type printcilinder waarop de afbeelding noch is uitgehaald noch in 3D reliëfvorm wordt aangebracht. Deze printmethode steunt echter op het lithografische proces, dat

zich baseert op de afstoting van water en olie. Rollen brengen oliegebaseerde inkt en water aan op de printcilinder in het gewenste patroon: inkt op de printplaatsen en water op de niet-print plaatsen. Vermits olie en water niet met elkaar vermengen, zal het gecreëerde patroon behouden blijven (PNEAC, 2006c).

2.4.6 Rotatie scherm printen

De rotatie scherm printer is speciaal ontworpen voor continu printen tegen hoge snelheden. Deze methode maakt gebruik van een dunne metalen cilinder voorzien van minuscule gaatjes,

die samen het printpatroon vormen. Tijdens het printen wordt inkt in de cilinder gepompt om een constante inkttoevoer te voorzien. Binnenin de cilinder bevindt zich een vrij zwevende stalen staaf, die dienst doet als aftrekker. Deze aftrekker duwt de inkt, onder een constante druk, doorheen de gaatjes van de cilinder. Zo komt de inkt terecht op het substraat, dat door een drukcilinder op de voornoemde cilinder wordt geduwd (PNEAC, 2006e).

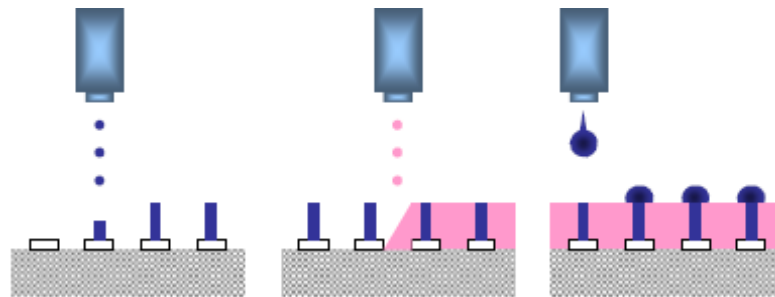


Figuur 6: Rotary screen printing (Screenweb, 2006)

2.4.7 Inkt jet printen

Inkt jet printers printen door kleine druppeltjes vloeibare inkt op het substraat te spuiten. Op basis van de gebruikte technologie, bestaan er drie soorten inkt jet printers. Dit zijn de thermische, de piëzo-elektrische en de continue inkt jet printer. De thermische en de piëzo-elektrisch variant worden ook wel drop-on-demand printers genoemd. Deze spuiten, in tegenstelling tot de continue variant, enkel een druppel wanneer deze nodig is. Tevens spuiten ze deze druppel rechtstreeks op de gewenste plaats. Bij thermische inkt jet printers bestaat het printpatroon uit een reeks kleine, elektrisch verwarmde kamers. Door een stroomstoot doorheen bepaalde verwarmingselementen te jagen, zorgt een stoomexplosie in de kamers ervoor dat deze een druppel op het substraat spuiten. De piëzo-elektrische variant maakt gebruik van een piëzo-elektrisch kristal⁷ in zijn spuitkamers. Wanneer een spanning wordt aangelegd, verandert het kristal van vorm en dwingt het zo een inktdruppel de spuitkamer te

verlaten. Continu inkt jet printers genereren een continue stroom van inktdruppels, die door een elektrostatisch veld worden geladen. Vervolgens passeren de geladen inktdruppels langs elektrostatische afstootplaten, die de druppels in het juiste patroon op het substraat doen belanden of afvoeren naar een inktreservoir (PNEAC, 2006d).



Figuur 7: Inkt jet printen (VTT, 2005)

2.4.8 De voordelen van printen

Printprocessen zijn goedkope en continue productieprocessen, wat het mogelijk maakt elektronica-circuits in hoge volumes en met korte productietijden te printen. Dit draagt bij tot de vereiste lage eenheidskosten. Tevens zal het printen op flexibele en dunne substraten, net zoals het snel aanpassen van de printsystemen aan de gestelde eisen, geen probleem vormen. Zo zullen producenten in de toekomst in staat zijn een grote productvariëteit aan te bieden. Een geprint elektronica-circuit is opgebouwd uit meerdere lagen, net zoals een traditioneel geïntegreerd circuit. Daar de lagen bij siliciumelektronica tot stand komen door de herhaaldelijke afwisseling van verschillende processen, zijn printers in staat deze lagen in één keer te printen.

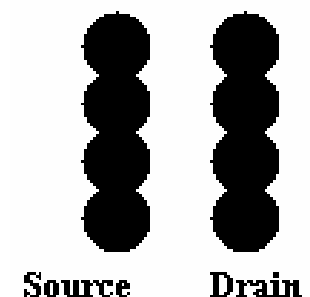
⁷ Piëzo-elektriciteit is het vermogen van kristallen om een elektrische spanning te genereren als reactie op een mechanische spanning of druk. Het piëzo-elektrisch effect is omkeerbaar wat wil zeggen dat piëzo-elektrische kristallen van vorm kunnen veranderen wanneer ze blootgesteld worden aan een elektrische spanning.

2.4.9 Het probleem bij printen

Het gebruik van printmethodes, om bijvoorbeeld organische circuits te produceren, kent niet alleen voordelen, aldus Jan Genoe. Oorspronkelijk zijn printprocessen ontworpen om beelden te printen en een goede visuele precisie te bekomen. Ontwerpers hebben nooit de focus gelegd op de precisiegraad die nodig is voor het printen van elektronische circuits. Deze precisiegraad verschilt aanzienlijk met het visuele precisievermogen van de mens en bedraagt ongeveer $10\mu\text{m}$. Dit is de afstand van de kanaallengte zodat een transistor op een voldoende hoge frequentie kan fungeren.

Naast deze eerste uitdaging, het bereiken van deze $10\mu\text{m}$, staan de ontwikkelaars van geprinte elektronica ook nog voor een tweede. Deze uitdaging is het 'recht' printen van de source en drain. De kanaallengte van een transistor mag immers niet variabel zijn, vermits dit de prestaties aanzienlijk aantast. Een oplossing voor dit probleem is bijvoorbeeld het substraat eerst met een lazer bewerken alvorens de source en drain aan te brengen. Een andere oplossing, die sommige bedrijven toepassen, is het aanbrengen van de source en drain met de standaardprocessen om vervolgens al de rest te printen.

Volgend voorbeeld verduidelijkt wat met dit recht printen van source en drain wordt bedoeld. Voor het printen van de source en drain spuit een inkt jet printer verscheidene druppeltjes op elkaar. Deze druppeltjes zullen wel voor een deel met elkaar vervloeien, maar een werkelijke rechte lijn komt niet tot stand, met dus een variabele kanaallengte tot gevolg.



Figuur 8: source-drain bij inkt jet printen

2.4.10 Besluit

Als besluit mag gezegd worden dat het gebruik van printmethodes voor het produceren van elektronische circuits zeker zijn voordelen heeft. Ontwikkelaars zullen echter wel nog moeten

werken aan het optimaliseren van de precisie tot 10µm en het recht krijgen van de source en de drain. Vermits dit een hele opdracht is, zullen waarschijnlijk vele elektronica circuits op de markt komen waarvan de source en de drain aangebracht zijn via standaard processen en al de rest geprint is. Zowel Jan Genoe als Wolfgang Mildner verwachten deze trend.

2.5 Huidige prestaties en betrouwbaarheid

In november 2003 startte PolyIC als een joint venture tussen Siemens en Kurz, met als doel het ontwikkelen en produceren van geprinte polymeer elektronica. Vanaf zijn bestaan doet PolyIC intensief onderzoek naar enerzijds polymeer elektronica en anderzijds de mogelijkheid deze circuits te printen. Na één jaar worp dit reeds zijn vruchten af. Eind 2004 demonstreerde PolyIC 's werelds snelste organische elektronica-circuit en een werkende RF-tag, gebaseerd op organische polymeer halfgeleiders. Deze tag functioneerde op een frequentie van 125 kHz (PolyIC, 2004).

Nog een jaar later, eind 2005, stelde PolyIC de eerste organische RF-tag, die fungeerde op de gestandaardiseerde frequentie van 13.56 MHz, voor. Deze tag beschikte over een geheugen van slechts één bit (PolyIC, 2005). In maart 2006 demonstreerde PolyIC op enkele conferenties vervolgens organische RF-tags, die fungeerden op de 13.56 MHz HF en die beschikten over een geheugen van 8 bits. Deze RF-tags, net zoals alle voorgaande, waren vervaardigd door gebruik te maken van de standaard clean room processen (PolyIC, 2006c).

Hoewel PolyIC reeds vanaf zijn bestaan onderzoek deed naar de mogelijkheid de organische polymeer elektronica-circuits te printen, plukte het daar pas in september 2006 de vruchten van. PolyIC bekroonde een periode van drie jaar intensief onderzoek met het tonen van de eerste geprinte RF-tag, die werkte op de gestandaardiseerde 13.56 MHz frequentie en 1 bit geheugen bevatte (PolyIC, 2006f). Deze tags blijken stabiel en betrouwbaar te zijn. Zo blijven de tags bijvoorbeeld werken bij een temperatuur van 60°C, in een 95% vochtige omgeving, na veelvuldig plooien, na contact met zuurstof en na andere mechanische invloeden, zoals druk en schokken (iNEMI, 2007).

Op de eerste commerciële geprinte RF-tags is het echter nog wachten tot eind 2007. Zo maakte PolyIC in de loop van 2006 bekend dat het tegen dan geprinte RF-tags, die zullen functioneren op de 13.56 MHz frequentie en enkele bits informatie zullen bevatten, op de markt zal brengen. Deze RF-tags zijn bestemd voor eenvoudige toepassingen zoals, productauthenticiteit en merkbescherming (PolyIC, 2006d). Deze tags zullen echter over een beperkt leesbereik, ongeveer tien centimeter, beschikken. Tevens zal het gelijktijdig lezen van meerdere tags nog niet mogelijk zijn.

Het uiteindelijke doel van PolyIC is, volgens Wolfgang Mildner, het produceren van RF-tags die voldoen aan al de standaarden. Zo hopen ze in 2012-2015 RF-tags te kunnen printen die werken op de 13.56 MHz frequentie en die bovendien minstens 96 bits informatie kunnen opslaan. Deze 96 bits zijn nodig om de standaard Electronic Product Code (de EPC en waarover verder meer) te kunnen bevatten. Tevens zullen deze RF-tag moeten beschikken over een leesbereik dat minstens tien keren groter is dan de huidige tien centimeter en zal het gelijktijdig lezen van meerdere tags vereist zijn. Het spreekt voor zich dat PolyIC in tussentijd geprinte RF-tags, die zullen voldoen aan de eerste standaarden en gebruikt zullen worden voor eenvoudige track & trace systemen, op de markt zal brengen.

Sinds september 2005 werkt PolyIC ook mee aan het project 'Printed Smart RFID Labels', kortweg PRISMA genoemd. Het Duitse Federaal Ministerie van Onderzoek en Ontwikkeling financiert dit project gedurende drie jaar. Het doel van het project is het uitproberen van het, door PolyIC opgezette, RFID-systeem onder reële omstandigheden. De systemen worden in drie testomgevingen uitgevoerd (PolyIC, 2006e):

- het taggen van vliegbagage bij Lufthansa Systems;
- event ticketing bij Bartsch;
- het gebruik van tags in veiligheidsdocumenten, waardevolle papieren en veiligheidstoepassingen bij Bundesdruckerei.

PolyIC geeft echter geen resultaten, wat betreft het verloop en de evaluatie van deze pilot, mee. Tevens is het onduidelijk of er nu organische tags of geprinte organische tags gebruikt worden.

2.6 Toepassingsgebieden van geprinte elektronica

De doelmarkt voor geprinte elektronica is oplossingen bieden waar prestaties minder belangrijk zijn, maar waar de nadruk ligt op de mogelijkheden die het gebruik van printmethodes bieden: lage kosten, grote productievolumes en flexibele circuits. Een andere belangrijke factor is het vermogen geprinte elektronica circuits rechtstreeks in verpakkingen te integreren, wat geprinte elektronica bijzonder interessant zal maken voor de logistiek (PolyIC, 2006a). Denk maar aan het printen van RF-tags op verpakkingen. Deze RF-tags zullen het mogelijk maken individuele producten elektronisch te identificeren en te lokaliseren. Dit laat toe de logistieke keten te beheren op een efficiëntere manier, tegen lagere kosten en met een beschikbaarheid van meer accurate informatie. Door de tag verder uit te breiden met allerlei sensoren zal het zelfs mogelijk worden de toestand van individuele producten op te volgen en informatie te verstrekken over ondermeer de kwaliteit en de veiligheid gedurende het transport en de overslag. Er wordt dan gesproken over intelligente verpakkingen (VIL, 2006). RF-tags kunnen ook aangewend worden om merken te beschermen en productauthenticiteit te controleren.

Voor een uitgebreide beschrijving van de mogelijkheden die geprinte RF-tags en intelligente verpakkingen aan de logistiek zouden kunnen bieden, zie hoofdstuk 3.

Naast het printen van RF-tags voor automatisch identificatie, intelligente verpakkingen en productauthenticiteit, bestaan er nog enkele interessante toepassingen.

2.6.1 Displays

Niet enkel elektronische circuits kunnen gerealiseerd worden door geprinte elektronica, tevens zijn dunne en flexibele displays of eenvoudige optische elementen mogelijk. Ontwikkelaars zijn in staat verscheidene technologieën te combineren met geprinte elektronica. Displays op basis van geprinte elektronica zullen toepasbaar zijn op gebieden waar dat voorheen, met traditionele displaytechnologieën, onmogelijk was (PolyIC, 2007a). Voorbeelden zijn interactieve en dynamische productinformatie voor de consument, een display voor een sensor, een advertentiescherm, een display voor merkbescherming of voor productauthenticiteit, displays in wenskaarten of horloges, elektronische kranten, oprolbare displays... . Een bijkomende potentiële optie is zelfs het eventueel vervangen van conventionele lichtbronnen. De meeste belangrijke displays zijn:

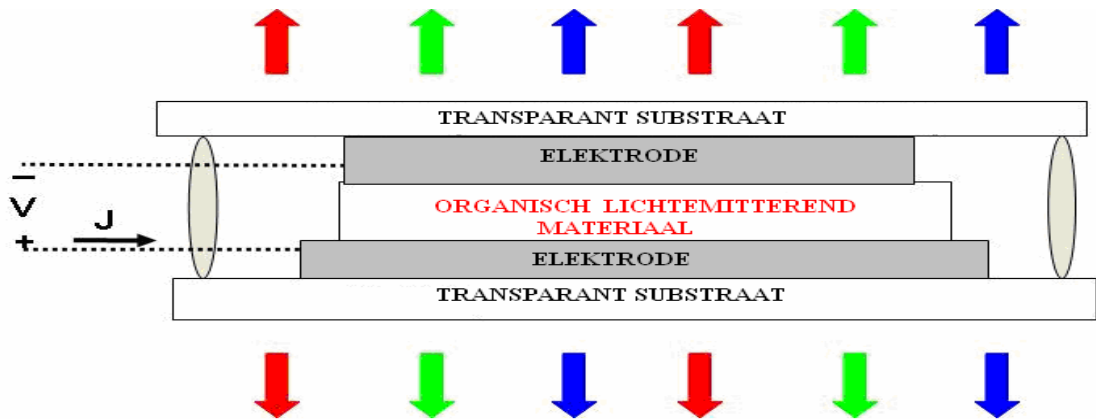
- *OLEDs (organic light-emitting diodes)*: van de waaier beschikbare geprinte displays bieden Organic Light Emitting Diodes (OLEDs) het volle spectrum van kleuren aan een beeldkwaliteit die we als standaard reeds gewoon zijn van de LCD (Liquid Crystal Display) schermen.



Figuur 9: Geprinte OLED (Add-Vision Inc., 2007)

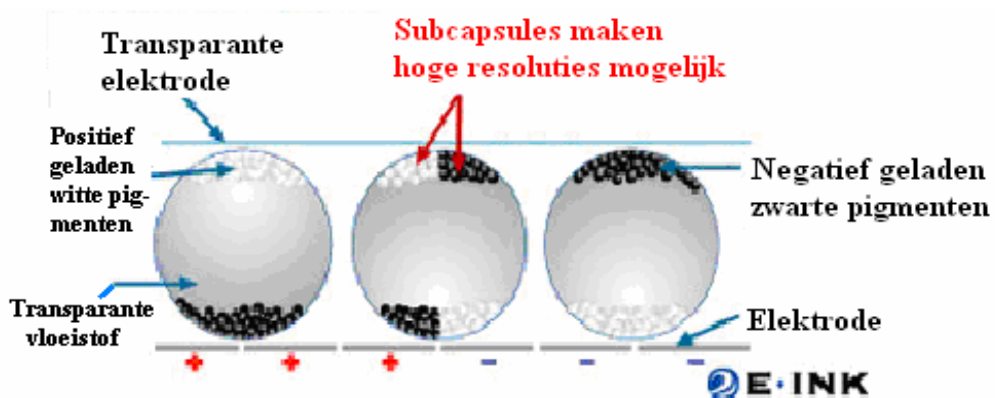
OLEDs stralen licht (rood, groen, blauw of wit) uit wanneer een spanning het organische materiaal stimuleert. OLEDs maken geen gebruik van andere belichtingsbronnen. Dit maakt de OLEDS helder en zorgt voor een brede kijkhoek.

OLEDs verbruiken tevens een beperkte hoeveelheid energie vermits kleine delen van het scherm “aan” en “uit” gezet kunnen worden. Het grote voordeel van OLEDs is dat ze op flexibele substraten kunnen geprint worden en daardoor sterker zijn. Een OLED zal niet in stukken vliegen wanneer deze op de grond valt (IDTechEx, 2004f).



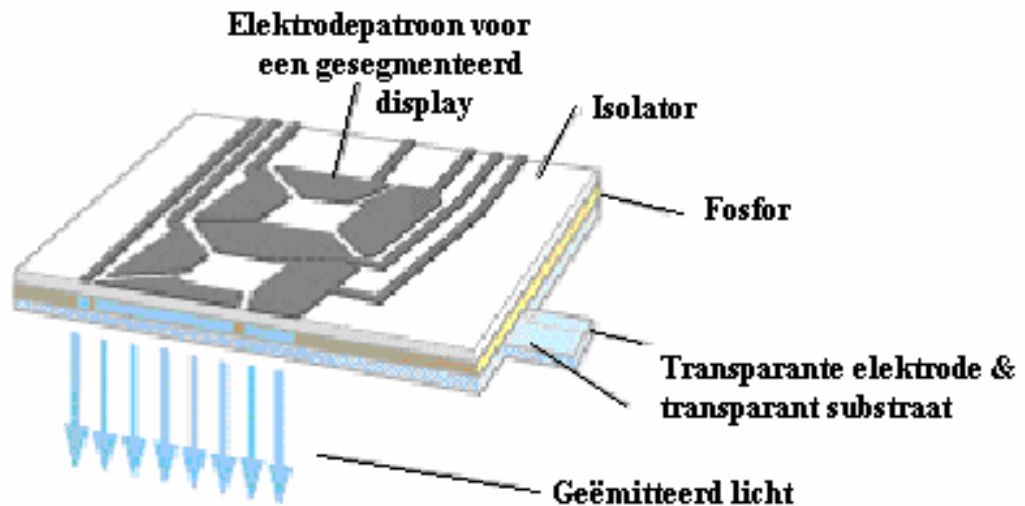
Figuur 10: De werking van een OLED (Universal Display, 2006)

- *Elektroforetische displays*: elektroforetische displays zijn flexibele elektronische circuits waarop elektronische inkt, die miljoenen microcapsules bevat, wordt geprint. Afhankelijk van het aangelegde elektrisch veld bewegen de witte of zwarte deeltjes, die zich in de miljoenen microcapsules bevinden, naar de top of de bodem van de microcapsules. De configuratie van de deeltjes aan de top bepalen het beeld (IDTechEx, 2004b). Elektroforetische displays beschikken in alle omstandigheden, dus ook bij sterke lichtingval, over een goede leesbaarheid en een brede kijkhoek (E-Ink, 2006a).



Figuur 11: De werking van een elektroforetisch display (E-Ink, 2006b)

- *Elektroluminescent (EL) displays*: Elektroluminescentie (EL) is de emissie van licht onder de opwekking van een elektrisch veld. Een typische EL display bestaat uit vele licht uitstralende fosfor-keramiek elementen. Door de spanning en de frequentie te laten variëren, kan de helderheid en tot op bepaalde hoogte zelfs de kleur van het EL lichtuitstralend element beheerst worden (IDTechEx, 2004a; Pelikon, 2006).



Figuur 12: Elektroluminescent display (Pelikon, 2006)

2.6.2 Printbare batterijen

Power Paper is erin geslaagd een doorbraak te forceren wat betreft de massaproductie van laag kostende printbare energiecellen. Power Paper is in staat dunne, flexibele, omhulselloze en milieuvriendelijke energiecellen op dunne film substraten te printen door middel van eenvoudige printtechnologie en geleidende inkten. De



Figuur 13: Een geprinte batterij (IDTechEx, 2004)

Power Paper batterijen zijn opgebouwd uit twee niet-giftige, niet bijtende en overal verkrijgbare stoffen: zink en mangaan dioxide. De batterijen bevatten geen zware metalen zoals kwik, lood of cadmium, zoals de meeste conventionele batterijen. Ze zijn bijgevolg

volgens de internationale standaarden veilig voor het milieu en hoeven niet van een omhulsel voorzien te worden. Tevens kunnen ze niet oververhit geraken, exploderen, elektrische schokken of brand veroorzaken. Een Power Paper batterij produceert een spanning van anderhalve volt en heeft een houdbaarheid van drie jaar, zoals de meeste conventionele batterijen (Power Paper, 2007).

2.6.3 Printbare organische zonnecellen

Nanosolar, Miasolé en Konarka zijn drie organisaties die intensief onderzoek doen naar het ontwikkelen van printbare organische zonnecellen en dat werpt zijn vruchten af. Over enkele jaren zullen geprinte organische zonnecellen hun opwachting maken. Het ene bedrijf focust zich op het ontwikkelen van geprinte “plastic energie” om kleine draagbare toestellen van zonne-energie te voorzien en batterijen te ondersteunen. Zo focust een ander zich dan weer op het ontwikkelen van geprinte “large area” organische zonnecellen die consumenten op hun daken kunnen plaatsen om zo groene energie te verkrijgen voor dagdagelijkse huishoudactiviteiten (Glasner, 2006).



Figuur 14: Geprinte “plastic energie” (Konarka, 2007) & Geprinte zonnecellen op dak (Miasolé, 2007)

Wat al deze geprinte zonnecellen gemeen hebben is dat ze geen gebruik maken van silicium, maar van halfgeleidende polymeren. Deze zijn in staat zonne-energie rechtstreeks om te

zetten in elektrische energie. Tevens zullen deze printbare zonnecellen slechts een fractie kosten van de huidige siliciumgebaseerde zonnecellen (Glasner, 2006).

Ook IMEC doet onderzoek naar organische zonnecellen en heeft als uiteindelijk doel deze zonnecellen te printen, aldus Jan Genoe. De organische zonnecel van IMEC werkt momenteel aan een efficiëntie van vijf procent op labschaal, dat wil zeggen ontwikkelt door middel van standaard processen. Dure siliciumgebaseerde zonnecellen bezitten een efficiëntie van boven de twintig procent. De beperkte efficiëntie van de organische zonnecel kan echter gecompenseerd worden door grotere zonnecellen te maken en dus een groter oppervlak te gebruiken. Naast het voordeel dat organische zonnecellen grote oppervlaktes kunnen bedekken tegen lage prijs, zijn ze tevens flexibel en dun. De consument kan ze dus gemakkelijk op flexibele omgevingen aanbrengen, zoals een jas. Hoewel het grotere oppervlak een deel van de beperkte efficiëntie kan compenseren, zouden de organische zonnecellen volgens Jan Genoe een efficiëntie van tien procent moeten bekomen alvorens commercieel aantrekkelijk te zijn en voldoende concurrentiekracht te bieden aan de siliciumgebaseerde zonnecel. Een datum voor marktintroductie heeft IMEC nog niet voor ogen.

Hoofdstuk 3: Geprinte elektronica in de logistiek

3.1 Drijfveren voor het beheer van de logistieke keten

3.1.1 Het beheer van de cross supply chain activiteiten

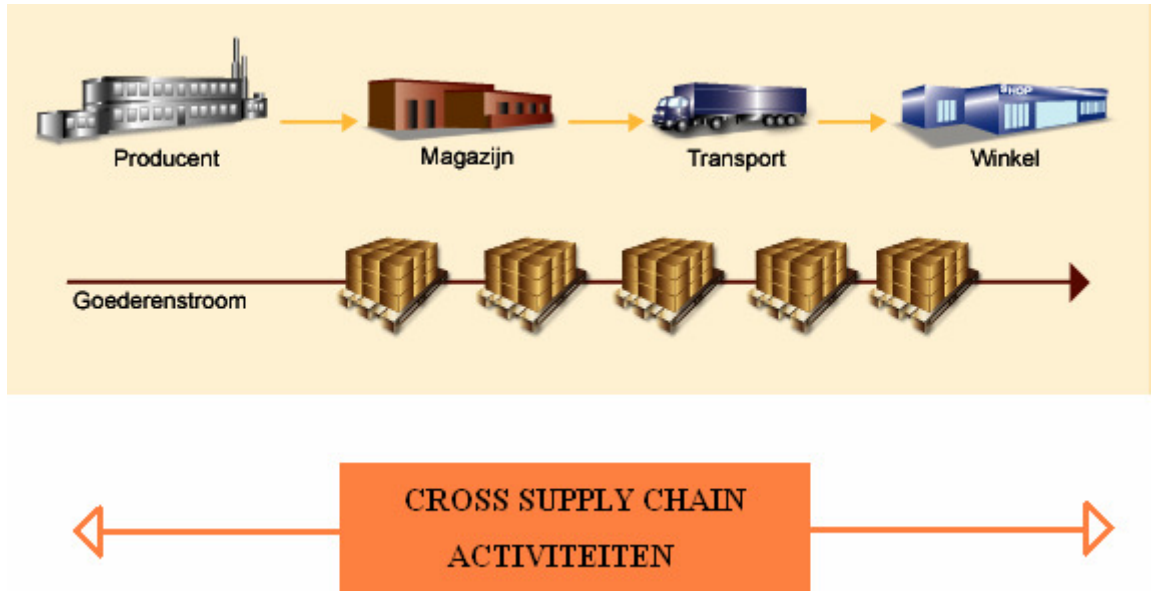
Een studie, uitgevoerd in de periode 1995 - 2000 door Accenture INSEAD en Stanford University, wijst op een sterke directe relatie tussen het beheer van de logistieke keten en financiële prestaties. Goed beheer wordt beloond door de aandelenmarkt met een aanzienlijk grotere groei in aandelenwaarde in vergelijking met bedrijven die minder goed presteren wat het management van hun logistieke keten betreft (Chase, Jacobs & Aquilano, 2006). De voordelen van een goed beheer van de logistieke keten zijn onder andere:

- minder voorraden;
- minder uitputting van de voorraden;
- snellere doorloop- en antwoorttijden;
- efficiënter gebruik van de machines;
- verhoogde arbeidsproductiviteit;
- betere klantenservice.

Deze voordelen leiden tot minder kosten en betere financiële resultaten, die op hun beurt zorgen voor de stijgende aandelenwaardering.

Het vereist precies te weten wat te doen en hoe het te doen om een goede beheerder van de logistieke keten te worden. Het beheren van de logistieke keten is een veelbesproken onderwerp de dag van vandaag. Het idee hierachter is het toepassen van een systeembenadering waarbij de gehele stroom van informatie, materialen, diensten en geld, van leveranciers via producenten en distributeurs tot de eindklant wordt beheerd (Chase, Jacobs &

Aquilano, 2006). Het behelst activiteiten die de bedrijfsgrenzen overstijgen, of zogenaamde “cross supply chain activiteiten”.



Figuur 15: De logistieke keten (VIL, 2004)

Traditioneel werd de logistieke keten gestuurd vanuit de aanbodzijde van de onderneming. Dit zogenaamde “pushsysteem” vertrekt van twee basisgedachten:

- het aanbod, gebaseerd op lange termijn voorspellingen, creëert de vraag;
- het aanvoerproces moet zo efficiënt mogelijk worden georganiseerd.

Er heeft zich echter de voorbije decennia een verschuiving in de logistieke keten voorgedaan, waar de nadruk in toenemende mate ligt op het vervullen van de wensen van de consumenten aan het einde van de keten. Er is dus steeds meer sprake van een vraaggestuurde keten, waar het belangrijk is:

- producten op order te produceren in plaats van voorraden te dragen en lange termijn voorspellingen te doen;
- de voorraadvereisten nauwgezet in overeenstemming te brengen met de trends in de werkelijke klantenverkopen;

- over korte doorlooptijden te beschikken en de schappen snel te herbevoorraden;
- de hoeveelheid einde seizoensgoederen te minimaliseren.

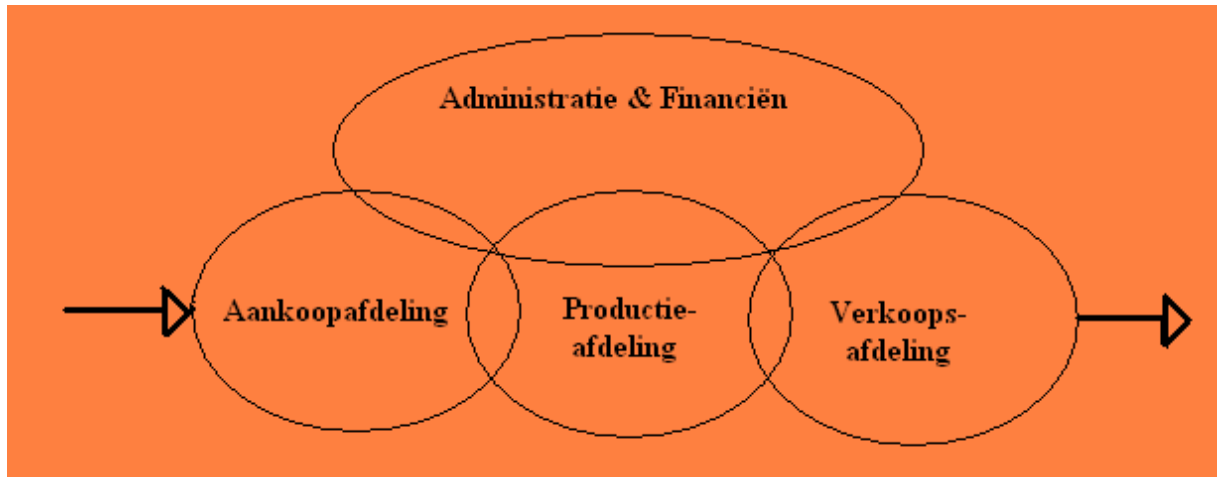
Met andere woorden, de fabrikant zal zo weinig mogelijk voorraden houden. De nadelen van voorraden zijn immers gekend, namelijk hoge kosten en veroudering van de producten. Begrippen zoals doorstromingsnelheid, flexibiliteit en betrouwbaarheid van de leveringen nemen toe in aanzien in een vraaggestuurde keten (Chase, Jacobs & Aquilano, 2006; VIL, 2004).

3.1.2 Het beheer van de individuele organisatie

Het goede beheer van de logistieke keten begint bij elke individuele organisatie en diens interne processen. Een link tussen de verschillende afdelingen van het bedrijf, die zorgt voor geïntegreerde informatie, is essentieel. Een goede interne integratie zorgt er immers voor dat de verschillende afdelingen optimaal kunnen samenwerken en dat al de vereiste informatie, die nodig is voor het nemen van beslissingen, voor handen is. De potentiële voordelen van een interne integratie zijn enorm en algemeen worden overbodige jobs, tijd en kosten uitgespaard door het overal aanwezig zijn van vereiste informatie. Een goede interne integratie uit zich als volgt (Chase, Jacobs & Aquilano, 2006):

- De productieafdeling die op de hoogte is van de orders en de voorspelde verkopen op korte termijn. Zo kan de productieplanner de schema's wat betreft het machine- en arbeidsgebruik voortdurend bijwerken.
- De verkoopsafdeling die de exacte status van het klantenorder kan nagaan en zo de klant op de hoogte kan houden van de orderstatus.
- De aankoopafdeling die op de minuut af weet wat de productieafdeling nodig heeft en nodig zal hebben aan grondstoffen en materialen. De afdeling kan deze hoeveelheden vervolgens vergelijken met de voorraden en al het nodige tijd bestellen.
- Het boekhoudsysteem dat wordt bijgewerkt als er zich relevante transacties voordoen.

- De financiële afdeling die de financiële toestand van het bedrijf op de voet volgt en tijdig liquide middelen vrijmaakt voor het betalen van de leveranciers, het uitkeren van de lonen en het voeren van publiciteitscampagnes.



Figuur 16: De individuele organisatie

3.1.3 Zichtbaarheid of visibiliteit

The six senses of visibility

Unisys heeft een unieke benadering van visibiliteit, met name “the six senses of visibility”. Tiesamen zorgen deze “six senses of visibility” voor al de data die nodig is om op elk punt in de logistieke keten tijdig te weten wat er gebeurt. Dit betekent op elk punt weten wat waar is, waar het is geweest en in welke staat het verkeert. De “six senses” zijn (Unisys, 2005):

1. Locatie: Waar bevindt het product zich precies te allen tijde? Dit laat toe de ontvangst van de goederen te plannen en voorraad- en leveringsschema's op tijd aan te passen.
2. Specificatie: Welk product is het precies? Wat is de kleur, de maat, de vervaldatum,...? Door middel van snelle, eenvoudige toegang tot dit niveau van gedetailleerde informatie, kunnen veranderingen aan de vraagzijde dynamisch worden opgevangen.

3. Staat: Zijn de omgevingsfactoren, noodzakelijk voor de kwaliteitsverzekering van het product, steeds gerespecteerd? Dit is belangrijk voor bedrijven wiens producten gevoelig zijn voor externe omstandigheden, zoals bederfelijke producten (die koel moeten blijven) en industriële chemicaliën (die onder zekere druk dienen gehouden te worden).
4. Naleving: Zijn aan alle relevante regelingen, handels- en documentatievereisten voldaan?
5. Integriteit: Is het product nog ongeschonden of zijn er onregelmatigheden? De integriteitinformatie geeft een beeld over de veiligheid van verzending en laat toe diefstal en afwijking in de keten terug te brengen en te lokaliseren. Dit leidt tot een vermindering van de verzekeringskosten en kortere doorlooptijden aan de grenzen.
6. Authenticiteit: Is dit werkelijk het product dat het verondersteld wordt te zijn? Het namaken van producten is een opmerkelijke en groeiende bedreiging voor consumptiegoederen, voedingsmiddelen, geneesmiddelen en andere sectoren. De controle op de authenticiteit laat toe de blootstelling aan vervalsing, welke de merken en de klanten bedreigt, aanzienlijk te verminderen door middel van geavanceerde opsporingsmogelijkheden en elektronische identiteiten.

Waarom is visibiliteit belangrijk?

Het bekomen van een betere visibiliteit via enkele of alle “senses” laat, volgens Unisys, bedrijven toe data globaal te analyseren en sneller te reageren op kwesties die direct en indirect de goederenstroom beïnvloeden. Dit leidt tot aanzienlijke verbeteringen in efficiëntie, productiviteit en flexibiliteit, met toegevoegde waarde als gevolg. Een goede visibiliteit is belangrijk omdat:

- deze het voor de verschillende partijen in de logistieke keten mogelijk maakt de cross supply chain activiteiten op elkaar af te stemmen, te optimaliseren en efficiënt te beheren en zo een vraaggestuurde keten te ondersteunen;

- deze de interne integratie, nodig voor een optimaal beheer van de individuele organisatie, ondersteunt;
- ook op het vlak van voedselveiligheid zichtbaarheid en traceerbaarheid van eetwaren aan belang heeft gewonnen. De wet- en regelgeving is aanzienlijk uitgebreid wat betreft de milieu- en kwaliteitseisen en dit heeft geleid tot een toename van de productinformatie. Zo bepaalt de EU-wetgeving dat vanaf januari 2005 de herkomst van producten voor elke aanbieder gekend moet zijn, en dit voor elke achtereenvolgende schakel in de keten.

Het bekomen van de gewenste visibiliteit

Dat visibiliteit belangrijk is, is ondertussen duidelijk geworden. Afhankelijk van de mate waarin de organisatie visibiliteit wenst te bekomen en op welke “senses” de organisatie zijn focus wil leggen, zal het opteren voor één of een combinatie van meerdere technologieoplossing(en). Technologie is een essentiële component in visibiliteitsoplossingen omdat deze de data, die nodig is om de beoogde visibiliteit te bekomen, moet verzamelen (Unisys, 2005).

De technologie heeft stap voor stap zijn intrede gedaan in de logistiek:

- het manueel verifiëren van de voorraad, het opstellen van voorraadfiches en het manueel invoeren in de computer;
- de invoering van de barcode met bijhorende scanners in de jaren zeventig;
- het gebruik van spraakherkenning als identificatiemethode;
- de opkomst van de RFID-technologie;
- het gebruik van Real Time Locating Systemen (RTLS)⁸.

⁸ Real Time Locating Systemen (RTLS) zijn een bijzondere variant van de actieve RFID-technologie. Wat RTLS uniek maakt, is dat naast de identificatie van de tag (en daarmee het product) ook lokalisatie mogelijk is. Het RF-sigitaal van de RFID-tag wordt gebruikt voor het berekenen van de locatie van de tag.

Steeds gaat de technologie een stap verder en verhoogt de bedrijfsefficiëntie. Er zijn vandaag vele zichtbaarheidstechnologieën op de markt. Unisys onderscheid communicatie-, identificatie- en traceertechnologieën, welke onmisbaar zijn geworden in de dagelijkse bedrijfsvoering (Unisys, 2005).

Geprinte elektronica heeft het potentieel om in de toekomst ingezet te worden als visibiliteitstechnologie en in het bijzonder in volgende toepassingen:

- geprinte RF-tags voor het automatisch identificeren van items, zodat informatie wat betreft de “specificaties” van het product bekomen wordt;
- geprinte Intelligente Verpakkingen, die in staat zijn informatie omtrent de “staat” van het product te genereren;
- geprinte RF-tags voor het beschermen van de merken en het controleren van de productauthenticiteit.

Deze potenties van geprinte elektronica worden in de volgende delen besproken.

3.2 Automatische identificatie en radiofrequentie identificatie

3.2.1 Wat is automatische identificatie?

Automatische identificatie is het herkennen van onder meer mensen, dieren en producten door middel van een speciaal technisch hulpmiddel, zoals een barcode of een RF-tag. Een identificatiesysteem bestaat uit de volgende onderdelen (VIL, 2004):

- het te identificeren object (product, pallet, doos,...);
- de drager van het kenmerk (siliciumgebaseerde RF-tag, geprinte RF-tag, barcode,...);
- de leesapparatuur, die de gegevens kan inlezen;

- een gegevensverwerkend systeem dat classificeert en eventueel verdere acties onderneemt met de gegevens, zoals opslaan en verwerken.

Automatische identificatie is in wezen niets anders dan een vorm van automatische invoer van data in informaticasystemen. Op die manier kan het instaan voor het correct verzamelen van noodzakelijke gegevens om de processen in onder meer productie, aankoop, distributie en voorraadbeheer efficiënt aan te sturen (VIL, 2004).

3.2.2 Wat is radiofrequentie identificatie (RFID)?

Radiofrequentie identificatie (RFID) biedt, net zoals de andere automatische identificatietechnologieën, het voordeel dat data niet langer verzameld hoeft te worden via omslachtige middelen, zoals pen en papier. Automatische data verwerving verhoogt de waarde van informatie in een systeem door deze informatie sneller beschikbaar te maken. RFID is een identificatietechnologie waarbij een elektronische gegevensdrager – de RF-tag – van op afstand en draadloos informatie via radiogolven uitzendt (VIL, 2004).

Het verschil tussen siliciumgebaseerde RFID en geprinte elektronica RFID ligt in het gebruik van het type tag en waarover verder meer. Onafhankelijk van de gebruikte tag heeft een RFID-systeem altijd dezelfde basisopstelling.

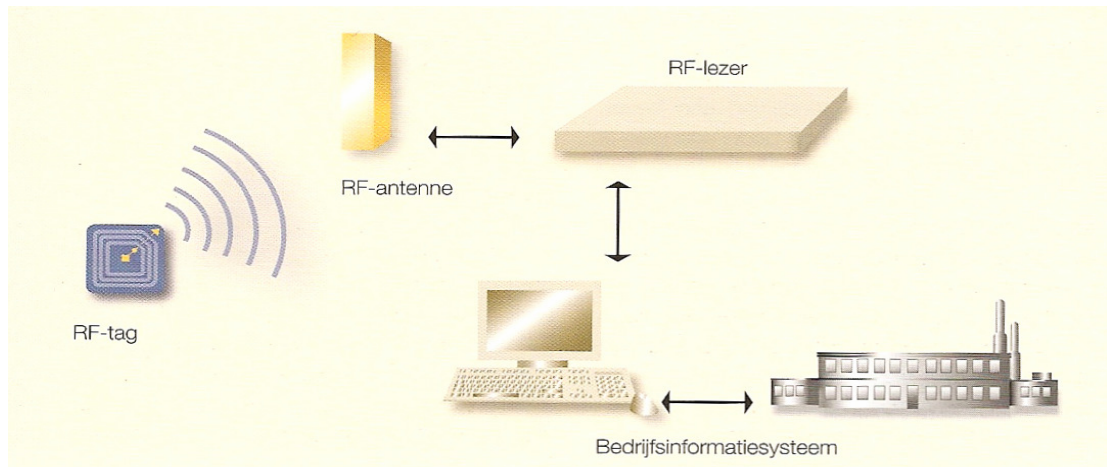
Het RFID-systeem

Een RFID-systeem, hetzij op basis van geprinte elektronica hetzij op basis van siliciumelektronica, bestaat uit enkele belangrijke componenten (VIL, 2004):

- de RF-lezer;
- de RF-tag;
- de RF-antenne;

- het bedrijfsinformatiesysteem.

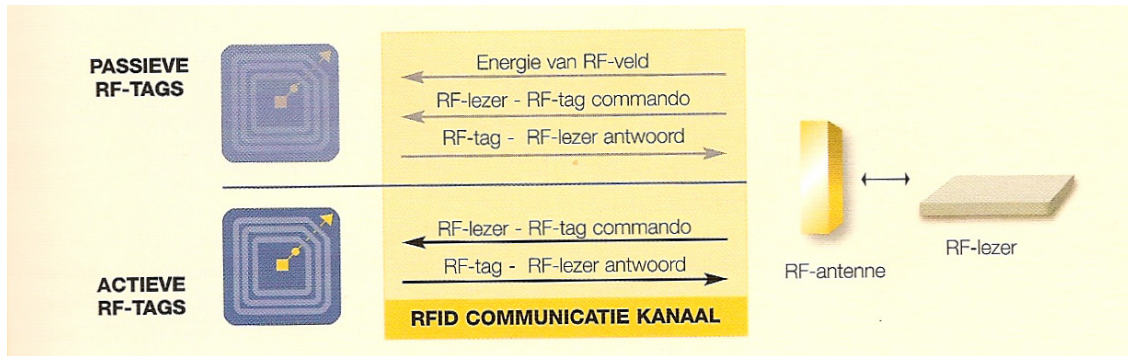
Deze werken samen om de eindgebruiker een niet-fysisch contact en draadloze oplossing te bieden om mensen, dieren en producten te identificeren.



Figuur 17: Het basisschema van een RFID-systeem (VIL, 2004)

De RF-lezer voert meerdere functies uit. Eén daarvan is het produceren van radiogolven (via een elektromagnetisch veld). Het magnetische veld dient als energiedrager van de RF-lezer naar de RF-tag.

Traditioneel bevat de RF-tag een antenne en een chip. De chip heeft een kleine hoeveelheid elektrische energie nodig om te kunnen functioneren. Bij passieve RF-tags doet de antenne in de RF-tag dienst als koppelingselement. Zij voorziet een manier om de energie, aanwezig in het magnetische veld geproduceerd door de RF-lezer, te verzamelen en om te zetten in elektrische energie die nodig is voor het functioneren van de chip. Eenmaal de vereiste energie aanwezig is, zal de chip zijn geheugeninhoud via diezelfde antenne in de RF-tag in de vorm van een elektromagnetisch signaal of radiogolf naar de lezer zenden. Deze informatie wordt ontvangen door de antenne in de RF-lezer en zal terug worden omgezet in elektronische vorm (VIL, 2004).



Figuur 18: De communicatie bij RFID (VIL, 2004)

De lezer bevat een gevoelig ontvangstsysteem dat is ontworpen om het RF-tag signaal te detecteren en te behandelen. Eenmaal de data van de RF-tag is verwerkt, zal een microcomputer in de RF-lezer de echtheid/geldigheid/juistheid van het ontvangen signaal verifiëren. Als de data is geverifieerd en goedgekeurd, wordt de data gedecodeerd en geherstructureerd om doorgezonden te worden naar de bestaande computersystemen van het bedrijf. Voor deze integratie communiceert de RF-lezer met de bedrijfsapplicatie in de meeste gevallen via een software programma, de zogenaamde ‘middleware’. Vermits de essentiële verschillen tussen geprinte elektronica en RFID zich niet situeren in de communicatie tussen computersysteem en lezer, zal hier niet verder op worden ingegaan (OrganicID 2006b; VIL, 2004).

RF-tags kunnen verder onderverdeeld worden op basis van een aantal technische kenmerken:

- actieve, semi-actieve en passieve RF-tags;
- RF-tags met of zonder siliciumchip.

De actieve RF-tag

Een actieve RF-tag ontvangt zijn elektrische energie van een batterij, die aangesloten is aan of ingebouwd is in de RF-tag. De RF-tag is bijgevolg onafhankelijk van de RF-lezer voor het versturen van een signaal naar de RF-lezer en beschikt gewoonlijk over een groot leesbereik (tot 300 meter). Deze actieve RF-tag is duurder dan de passieve of semi-passieve variant,

heeft een beperkte levensduur (overeenstemmend met de levensduur van de batterij), maar beschikt over een grote datacapaciteit en vereist geen speciale lezers (VIL, 2004).

De passieve RF-tag

Een passieve RF-tag heeft geen eigen stroombron, maar gebruikt de energie uit de elektromagnetische golf van de RF-lezer. De RF-tag kan bijgevolg enkel een signaal uitzenden na activering door de RF-lezer en nadat de antenne in de RF-tag de energie in het magnetische veld heeft omgezet in elektrische energie. De passieve RF-tag is veel kleiner, lichter en goedkoper dan de actieve tag en heeft een virtuele onbeperkte levensduur. Deze RF-tag heeft een beperkt leesbereik (afhankelijk van de frequentie) en beschikt over een kleinere datacapaciteit dan de actieve tag. Bovendien vereist een passieve RF-tag een RF-lezer, die een hogere energie uitzendt (VIL, 2004).

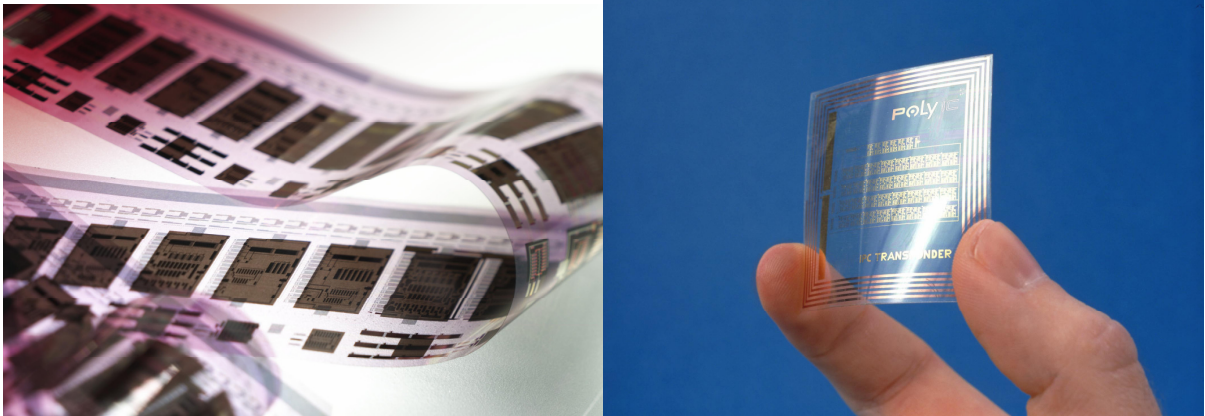
De semi-actieve of semi-passieve RF-tag

Semi-actieve of semi-passieve RF-tags bevatten, net zoals de actieve RF-tag, een ingebouwde batterij, die energie levert aan de chip. In tegenstelling tot de actieve RF-tag, moet de RF-lezer de semi-actieve tag eerst activeren alvorens de RF-tag een signaal kan versturen. De voordelen van deze RF-tags zijn dat ze bij een lager vermogen kunnen werken en bijgevolg dus minder energie verbruiken. Ze zijn goedkoper dan de actieve variant (VIL, 2004).

RF-tags met of zonder siliciumchip

Oorspronkelijk bevatten alle RF-tags een klassieke siliciummicrochip, maar nu worden steeds meer technologieën voor siliciumchiploze RF-tags ontwikkeld. Één daarvan is geprinte elektronica. Het verschil tussen geprinte elektronica RFID en traditionele RFID ligt dus in het al dan niet gebruik van een siliciumchip. Voorts is de geprinte RF-tag passief. Zoals

aangehaald in de inleiding biedt geprinte elektronica heel wat perspectieven door hun lage kostprijs, flexibele en compacte bouwvorm en hoge temperatuurbereik. Langs de andere kant zijn vandaag een beperkte dataopslag, een klein leesbereik, duurder uitleesapparatuur en het niet gelijktijdig kunnen lezen van meerdere tags te overwinnen knelpunten (VIL, 2004).



Figuur 19: Geprinte RF-tags (PolyIC, 2007b)

3.2.3 Barcode versus RFID

Sinds de jaren zeventig behoren de barcodes ongetwijfeld tot de meest gebruikte en beste gekende identificatietechnologieën. Het is vandaag echter interessant de barcode door een RFID-technologie (gebaseerd op hetzij silicium, hetzij geprinte elektronica) te vervangen of aan te vullen omdat dit tal van voordelen biedt (Auto-ID Labs, 2005b; VIL, 2004):

- unieke identificatie van producten door middel van EPC nummering: unieke identificatie van producttype en unieke identificatie van item;
- geen gezichtslijnvereiste;
- ook ingesloten tags kunnen gelezen worden;
- continue dataverzameling;
- geen menselijke interventies;
- tegelijkertijd lezen van meerdere tags.

De invoering van de siliciumgebaseerde RFID is, omwille van de kost van de tags, veeleer gericht op het aanvullen van het barcodesysteem dan op de vervanging ervan. Pallets en dozen worden uitgerust met RF-tags, terwijl op artikelniveau de barcode blijft bestaan. Uitzondering op deze regel zijn waardevolle artikelen, zoals auto's en merkkledij, waar taggen op itemniveau wel financieel haalbaar is.

Vermits de geprinte tag van lage kost is, mikken de ontwikkelaars van geprinte elektronica erop de barcode op artikelniveau te vervangen in de toekomst. Het blijft echter de vraag of geprinte elektronica de barcode volledig zal vervangen of slechts zal aanvullen. Geprinte elektronica zal er alleszins hoofdzakelijk op gericht zijn gebieden te betreden die voor de siliciumgebaseerde RF-tags niet mogelijk zijn omwille van hun kost.

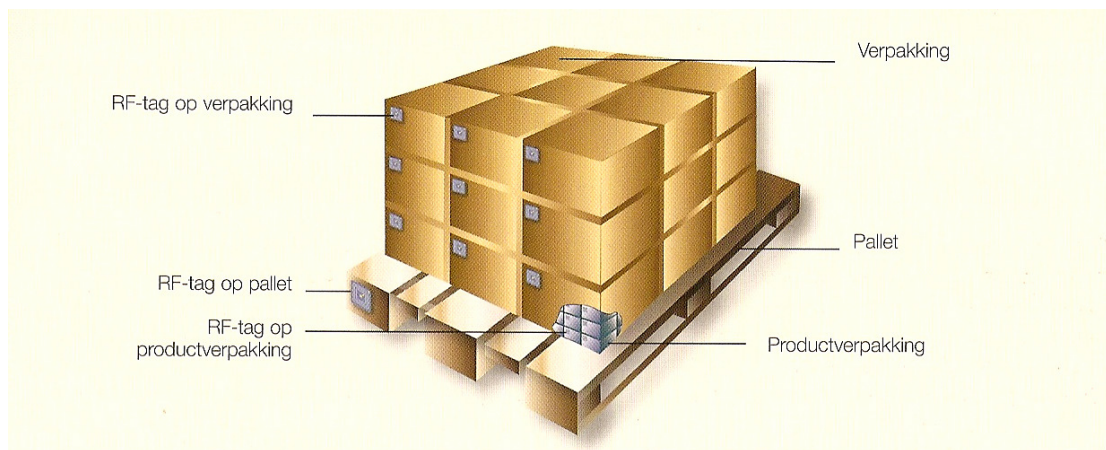
BARCODE	RFID
Om beurt lezen: tijdrovender	Simultaan lezen mogelijk: sneller
Moet zichtbaar zijn om te worden gelezen	Moet niet zichtbaar zijn om te worden gelezen of om data weg te schrijven. Kan doorheen een niet-metalen omhulsel nog gelezen worden
Manuele interventie vaak noodzakelijk om barcode zichtbaar te maken	Geen manuele interventie vereist
Informatie kan niet worden gewijzigd doorheen het proces	Informatie kan gewijzigd worden tijdens het proces, afhankelijk van het type RF-tag
Niet-continue dataverzameling	Continue dataverzameling
Leesafstand bedraagt tussen 10 cm en 10 m	Actieve tags kunnen tot honderden meters gelezen worden, passieve tot op enkele meters
Beperkte informatie voor traditionele barcode (15 à 50 karakters)	Grote datacapaciteit (van enkele tot duizenden karakters)
Unieke identificatie niet mogelijk	Unieke identificatie mogelijk
Fragiel	Robuuste verpakking mogelijk ter bescherming van krassen en mechanische impact
Minder gegevensveiligheid	Meer gegevensveiligheid
Goedkope labels en uitleesapparatuur	Duurdere RF-tags en uitleesapparatuur
Globale standaarden beschikbaar	Het standaardisatieproces is aan het afsluiten

Tabel 2: Barcode versus RFID (VIL, 2004)

3.2.4 Automatische identificatie op itemniveau

De voordelen van identificatie op itemniveau

De logistieke ketens van fabrikanten, distributeurs en retailers leiden onder een gebrek aan zichtbaarheid in hun voorraadniveaus, productlocaties en authenticiteit. Als gevolg hiervan komen jaarlijks enkele honderden miljarden verliezen voor ten gevolge van verlies en diefstal, voorraaduitputtingen, hoge voorraadniveaus en arbeidsinefficiënties (Vue Technology, 2007b).



Figuur 20: RF-tags op verschillende niveaus (VIL, 2004)

In een poging deze problemen te bestrijden, zijn bedrijven in toenemende mate de voordelen van RFID-technologieën gaan erkennen. RF-tags kunnen op verschillende niveaus worden ingezet: de pallet, de doos en het individuele item. De voordelen van RFID nemen toe naarmate de graad van nauwkeurigheid stijgt en meer opeenvolgende spelers in de logistieke keten het toepassen. Wanneer een individueel product van een RF-tag voorzien is, biedt dit immers veel meer mogelijkheden dan wanneer enkel de pallet of doos opgevolgd wordt. Vermits elke tag een unieke identificatie bevat, zal elk artikel afzonderlijk geïdentificeerd kunnen worden.

Dit brengt enkele potentiële voordelen met zich mee (Auto-ID Center, 2002a; VIL, 2004):

- automatische kassa;
- automatische ordercontrole op itemniveau;
- traceerbaarheid van individueel product;
- voorkomen van diefstal;
- nieuwe vormen van kwaliteitsbewaking;
- automatische voorraadcontrole in de rekken;
- hogere productbeschikbaarheid in de rekken;
- productauthenticiteit;
- toestandcontrole van individueel product.

De meeste van deze mogelijkheden zijn retail-gerelateerd, vandaar ook dat er vanuit de retailsector, de sector van de verpakte en snelbewegende consumentengoederen en de farmacie een stijgende interesse is naar RFID op itemniveau. Denk maar aan bedrijven zoals Metro, Walmart, Tesco, Marks & Spencer, Philip Morris en Pfizer. Zij erkennen de voordelen van RFID-toepassingen op itemniveau, zoals een betere voorraadvisibiliteit, een vermindering van de voorraauditputtingen, een hogere productbeschikbaarheid, betere verkoops cijfers, minder arbeid en authenticiteitgarantie.

Walmart is zelfs in die mate met RFID vertrouwd dat 's werelds grootste retailer in juni 2003 aan zijn honderd belangrijkste leveranciers vroeg RFID te implementeren op pallet- en doosniveau voor januari 2005. Walmart is er zich immers van bewust dat de voordelen van RFID sterker tot uiting komen indien meerdere opeenvolgende spelers in de logistieke keten de technologie implementeren (Auto-ID Labs, 2006).

RFID-pilots op itemniveau

Verder bestaan er reeds enkele pilots op itemniveau, waarbij gebruikt gemaakt wordt van traditionele siliciumgebaseerde RF-tags. Zo zijn er in de FMCG (Fast Moving Consumer

Goods) of CPG (Consumer Packaged Goods) industrie retailers, zoals Metro en Tesco, die testen uitvoeren op itemniveau. Zo brengt Metro, in samenwerking met de fabrikant Proctor & Gamble, in zijn Extra Future Store RF-tags aan op artikelen zoals scheermesjes en shampoos en verder op DVD's, CD's en videospelletjes (Auto-ID Labs, 2006).

Tesco en Best Buy voorzien DVD's, CD's en videospelletjes in hun winkels van een RF-tag met als doel een hogere productbeschikbaarheid in de rekken te bekomen. Tesco en Metro rapporteren zelfs een stijging in hun verkopen van 5 tot 20%. Voorlopig zijn de tags echter nog te duur en moeten de tags nog handmatig op alle items in de winkels zelf aangebracht worden. Dit zorgt ervoor dat dit project nog niet winstgevend is (Auto-ID Labs, 2006; IDTechEx, 2007).

Ook in de retail van kleding voeren enkele bedrijven, zoals Marks & Spencer en Kaulhof/Gerry Weber, pilots op itemniveau uit. Kaulhof/Gerry Weber gebruikt RFID in hun project hoofdzakelijk om manuele tellingen in de logistieke keten te elimineren, een meer accurate voorraadinformatie te bekomen en het uitcheck proces te bevorderen. Marks & Spencer test reeds vanaf 2003 RF-tags op kleding in sommige winkels. Ze gebruiken mobiele lezers om de voorraadniveaus nauwgezet bij te houden en periodieke tellingen te versnellen. Dit helpt Marks & Spencer de productbeschikbaarheid te verhogen van bijvoorbeeld bh's, waarvan vele groottecombinaties bestaan. De pilot van Marks & Spencer is echter wel winstgevend. De reden hiervoor is dat zij enkel hun eigen merken verkopen en de kledingsstukken reeds van een tag voorzien zijn als ze de winkels bereiken (Auto-ID Labs, 2006; IDTechEx, 2007).

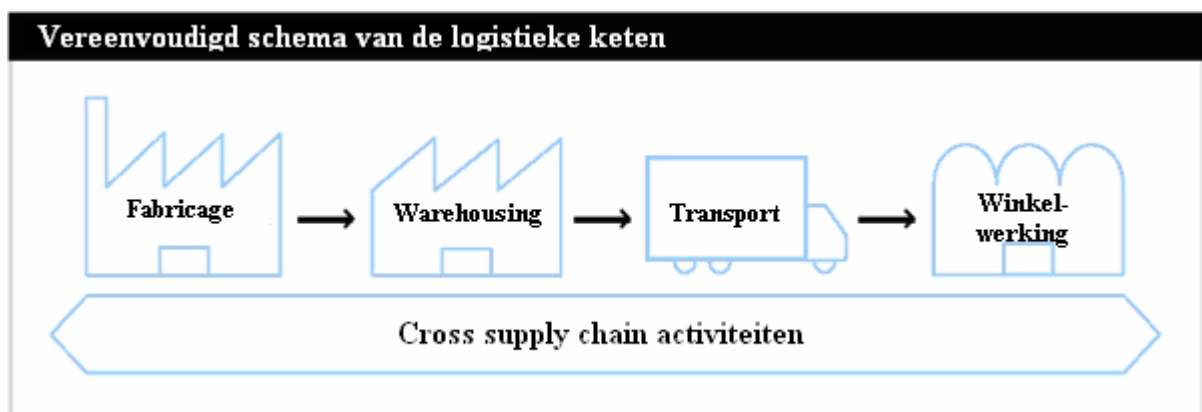
Het is niet toevallig dat bovenaangehaalde bedrijven RFID op deze producten testen. Deze producten zijn immers van hogere waarde in vergelijking met het doorsnee product en worden vaak gestolen. De tagprijs van 30 tot 50 cent is echter te duur om verpakte en snelbewegende consumentengoederen, zoals flesjes frisdrank, pakjes koeken en zakjes diepvriesfrietten, van een tag te voorzien en de barcode te vervangen of aan te vullen. Voor een echte doorbraak van RFID op itemniveau dient de prijs van een tag onder de drempel van vijf eurocent te dalen (VIL, 2006). Retailers, zoals Walmart en Metro, zeggen zelfs dat de prijs van de tags eerst zal

moeten dalen tot enkele cents alvorens RFID op itemniveau succesvol op grote schaal te kunnen toepassen. Daniel Naegels van Deister bevestigt deze stelling. Ook sigarettenfabrikant Philip Morris zit op zo een prijsdaling te wachten alvorens zijn pakjes sigaretten van een tag te voorzien.

De ontwikkelaars van geprinte elektronica beseffen dat de interesse naar identificatie op itemniveau groot is en er nood is aan een laagkostende RF-tag. Zij spelen bijgevolg in op deze behoefte en hun einddoel is het ontwikkelen van een geprinte RF-tag die zowel aan de technische vereiste als aan de kostenvereiste zal voldoen.

3.3 RFID-toepassingen in de logistieke keten en hun toegevoegde waarde

Een vereenvoudigd schema van de logistieke keten ligt aan de basis van de identificatie van de verschillende potentiële RFID-toepassingen bij fabrikanten, logistieke dienstverleners, distributie- en retailketens.



Figuur 21: Vereenvoudigd schema van de logistieke keten (Auto-ID Center, 2002a)

De verschillende partijen in de keten hebben belang bij een aantal gemeenschappelijke activiteiten (cross supply chain activiteiten) om een product te traceren doorheen de logistieke keten of om elkaar te informeren over voorspellingen ervan. Elke partij legt daarbij zijn eigen

klemtoon, daar de focus en de activiteiten van iedere partij verschillen. Daarom zijn de vereisten inzake niveau van identificatie en de toepassingsdomeinen van RFID anders doorheen de logistieke keten (VIL, 2004). In de volgende paragrafen worden de voordelen en waarde, die RFID kan bieden aan de verschillende partijen, en welk niveau van identificatie gewenst is, besproken. Deze bespreking steunt op de veronderstelling dat er een uitgebreid RFID-netwerk aanwezig is:

- waaraan alle partners in de logistieke keten deelnemen;
- dat voldoet aan alle standaarden;
- dat gebruik maakt van laagkostende RF-tags, die de EPC bevatten;
- waar het gelijktijdig lezen van meerdere tags mogelijk is;
- waarbij alle items van een tag zijn voorzien;
- waar, naast het taggen van items, ook pallets en dozen getagged worden.

Het taggen van items heeft immers niet tot gevolg dat RF-tags op pallet- en/of doosniveau overbodig worden. Zolang de pallet niet gesplitst wordt, is het zinvol RF-tags op palletniveau uit te lezen. Eenmaal de pallet gesplitst en de items de interne operaties van het bedrijf doorlopen, maken RF-tags op itemniveau het mogelijk elk afzonderlijk item op te volgen.

3.3.1 RFID voor cross supply chain activiteiten

Verkoop één, vul één aan, verkoop één, vul één aan..., of zelfs beter verkoop één, maak één. Dit is het ideaal van de logistieke keten: het synchroniseren van de activiteiten doorheen de gehele logistieke keten van het verkooppunt helemaal terug tot de levering van de grondstoffen en zo een geheel vraaggestuurde keten creëren. Een eerste stap richting dit ideaal is (Auto-ID Center, 2002d):

- het synchroniseren van de activiteiten van de handelspartners onderling;
- het op één lijn plaatsen van de doelen en de vraagsignalen;

- het creëren van een werkelijk intelligente logistieke keten waar informatievisibiliteit aanwezig is in de vorm van standaarden.

Planning van de vraag

RFID-systemen kunnen zowel aan de vraag- als aanbodzijde voordelen bieden. Een precieze kennis hebben van wat op elk punt in de logistieke keten werkelijk in voorraad is, zal aan de aanbodzijde een betere, meer accurate basis vormen om te herbevoorraden. Voorraauditputtingen zullen, net zoals de hoeveelheid veiligheidsvoorraden, in heel de logistieke keten verminderen. Door alle data omtrent verkopen, diefstallen en schade te verzamelen, kunnen bedrijven de vraag exact projecteren. Het gebruik van RFID-systemen biedt accurate en real-time informatie, waardoor bedrijven in staat zijn sneller in te spelen op de situatie en het aanbod beter af te stemmen op de vraag. Zo kunnen ze de productie bijvoorbeeld automatisch plannen op basis van de verkoops cijfers in de winkel. Pallet- en doosniveau tags voorzien het meeste nut van de fabrikant tot de voorraadkamer van de winkel. Het meest geschikt om vraagsignalen op te pikken, zijn echter tags op itemniveau op de winkelvloer. Deze zullen retailers een hogere productbeschikbaarheid en betere verkoopresultaten laten ervaren, wat aan de fabrikanten ook de mogelijkheid biedt de totale vraag te beantwoorden. Er zullen noch voor de retailer noch voor de fabrikant verkopen verloren gaan (Auto-ID Center, 2002a).

Opvolgen, traceren en veiligheid

Het volgen van items doorheen de logistieke keten laat toe een bestand van herkomst van de items te genereren. Verkopers kunnen nagemaakte items eenvoudig identificeren doordat hun EPC's ontbreken, onwettig of gekopieerd zijn. Fabrikanten zijn in staat op ordergemaakte producten op te volgen om te verzekeren dat de distributeurs ze niet verwisselen en ze uiteindelijk bij de juiste klant leveren. Tevens kunnen ze problemen met individuele items natrekken tot het punt in de logistieke keten waar ze veroorzaakt zijn om ze vervolgens op te

lossen. Dit zorgt op termijn voor een verbeterde productkwaliteit. Het spreekt voor zich dat taggen op itemniveau vereist is voor het identificeren van nagemaakte producten, het opvolgen van op ordergemaakte producten en het natrekken van problemen met individuele items (Auto-ID Center, 2002a).

Elke producent hoopt nooit een terugroeping te moeten doen. Maar indien nodig, wil een bedrijf in staat zijn deze terugroeping zo snel en precies mogelijk uit te voeren. De voedingsindustrie in het bijzonder is onderhevig aan terugroepingen, maar terugroepingen komen ook voor in de niet-voedingssector. De nood aan goede terugroeppublicaties en de stijging van de strengheid (inzake kwaliteitsreglementeringen en voedselveiligheid) drijven voedings-, drank- en andere consumptiegoederenfabrikanten tot het beter beheren van productterugroepingen doorheen hun netwerken. Dit vereist een grotere visibiliteit van de logistieke keten en een betere productopvolging. Een bedrijf dient de bron en de ingrediënten van zijn grondstoffen en de bestemming van zijn producten te kennen. De fabrikant is immers voor deze verantwoordelijk, zelfs als ze de productiefaciliteit verlaten hebben. Het opvolgen van al deze materialen kan evenwel moeilijk zijn indien een bedrijf grote volumes van een product produceert. Aanzienlijke inspanningen kunnen dan nodig zijn om de stamboom van een gewenst product na te gaan of een terugroeping uit te voeren (Auto-ID Center, 2003b).

Taggen op itemniveau en de unieke EPC identificatiecode laat toe de stamboom van een individueel product op te volgen. De technologie maakt tevens het opsporen van specifieke grondstofcomponenten en activiteiten tijdens elke productiestap mogelijk. Nadat een item geproduceerd is en het bijvoorbeeld in de winkel ligt, kan door middel van RFID op itemniveau de geschiedenis van het product of het materiaal tot een zeer gedetailleerd niveau opgevraagd worden in volgende gebieden: waar het product of materiaal vandaan komt, wie er wat aan deed, waar het is en waar het is geweest. Het voordeel van itemidentificatie is dat het item traceerbaar blijft waar ook in de logistieke keten, zelfs wanneer pallets of dozen in distributiecentra gesplitst worden voor groepage van nieuwe zendingen (Auto-ID Center, 2003b).

3.3.2 Fabricage

Elke dag worden fabrikanten geconfronteerd met nieuwe uitdagingen. Vandaar dat ze blijven investeren in continue verbeteringen om (Auto-ID Center, 2003b):

- efficiënt en optimaal gebruik te maken van de machines, materialen en arbeid;
- een goede proces- en productkwaliteit te realiseren;
- te kunnen blijven voldoen aan de steeds strenger wordende gezondheids-, veiligheids-, milieu-, arbeid- en traceervereisten en reglementeringen;
- het bestaande competitieve voordeel te behouden in een markt waar productdifferentiatie steeds moeilijker wordt.

Voor een bedrijf is innovatie de enige manier om competitief te blijven en eventueel te groeien. Dit wil zeggen innovatieve producten op de markt brengen en zorgen voor continue vernieuwing in de gehele logistieke keten. Daar groei moeilijk te realiseren is, handelspartners voortdurend scherpe prijzen verwachten en de aandeelhouders hoge returns eisen, is een vermindering van de kosten tegelijkertijd cruciaal (Auto-ID Center, 2003b).

Het beheer van de productie richt zich op vele dingen zoals het toewijzen van hulpbronnen, het plannen van de operaties, de productie-uitvoering, de documentcontrole, de dataverwerving, het kwaliteitsbeheer, de prestatieanalyse, de productopvolging, de producttracering.... Al deze processen vereisen gedetailleerde, accurate en tijdige informatie om effectief en efficiënt te kunnen produceren. RFID-systemen bieden verscheidene voordelen die eigen zijn voor fabrikanten. Identificatie op itemniveau draagt ook hier zijn steentje bij (Auto-ID Center, 2003b).

Aankoop en opslag van grondstoffen

Fabrikanten kunnen aanzienlijke efficiëntie verwerven door de relatie met de leveranciers van de grondstoffen te verbeteren. Bij identificatie van de grondstoffen op itemniveau kan de

aankoper automatisch verifiëren hoeveel eenheden de leveranciers leveren en hoeveel eenheden de productie verbruikt. Deze zichtbaarheid maakt het automatisch genereren van grondstofbestellingen mogelijk en zorgt ervoor dat er geen uitputting van de voorraad grondstoffen voorkomt. Zo kan de fabrikant bijgevolg continu produceren (Auto-ID Center, 2002a).

Productie en kwaliteitscontrole

RFID-systemen bezitten de potentie om de kwaliteit te verbeteren en het productieproces vlotter te doen verlopen. Bijvoorbeeld kunnen RF-tags op de binnenkomende materialen en op de goederen in bewerking zorgen voor gedetailleerde informatie die een hoog niveau van procescontrole mogelijk maakt. Eén mogelijkheid is RF-tags op de containers of carriers van de grondstoffen en de goederen in bewerking aan te brengen. Indien arbeiders carriers of containers met de verkeerde grondstoffen of goederen in bewerking dreigen toe te voegen aan het proces, kan een alarm de machinebediener waarschuwen om het toevoegen van verkeerde materialen te voorkomen. Het taggen op het niveau van de containers of carriers, geeft echter niet de zekerheid dat alle items in de container of carrier de juiste zijn en/of de carrier wel volledig vol is. Er kan zich reeds in een vorige processtap een fout hebben voorgedaan. Zo kan een item in de verkeerde carrier beland zijn of is de carrier weggehaald alvorens volledig vol te zijn. Tevens wordt er geen automatisch signaal gegenereerd als de container of carrier leeg is (Auto-ID, 2003b).

Hier kunnen RF-tags op item niveau de oplossing bieden. Zij kunnen lijn- of productverwisseling voorkomen, de hoeveelheid afval verminderen en de opbrengsten verhogen. De tags zijn namelijk in staat een automatisch signaal te genereren indien de verkeerde componenten in de volgende fabricagestap worden toegevoegd of indien de verkeerde productieactiviteit wordt ondernomen.

Fabrikanten streven steeds vaker praktijken zoals lean en just in time productie⁹ na om het grote voordeel – verminderde voorraden doorheen de gehele faciliteit – te bekomen. RFID op itemniveau kan het pullkarakter van lean en just in time productie ondersteunen en bijdragen tot het synchroniseren van de processen. Door automatisch de buffers en de voorraden te verifiëren kunnen deze optimaal (zo klein mogelijk) gehouden worden opdat elke machine continu kan produceren, zonder te grote buffers aan te houden. Dit zal de antwoordtijden en het voorraadbeheer verscherpen (Auto-ID Center, 2003b; Chase, Jacobs & Aquilano, 2006).

Vaak wordt Kaizen in één adem genoemd met lean en just in time productie. Kaizen, net zoals Six Sigma, is een kwaliteitscontrole methode die continue verbeteringen nastreeft. Beide methodes vereisen de beschikbaarheid van real-time data om betrouwbare statistische analyses te maken. Het spreekt voor zich dat, alvorens te kunnen verbeteren, product- en procesontwikkelaars precies moeten weten waar problemen zich voordoen. RF-tags op itemniveau kunnen deze real-time data verschaffen (Auto-ID Center, 2003b; Chase, Jacobs & Aquilano, 2006).

Arbeidsproductiviteit

Nog steeds bestaan er binnen de productieonderneming vele manuele dataverzamelingsactiviteiten en vandaag overheerst de barcodetechnologie de productieprocessen. Leveranciers bieden grondstoffen aan met barcodes en goederen in bewerking bevatten barcodes of zijn vergezeld van documenten die barcodes bevatten. De arbeider moet vervolgens het juiste label scannen en elk label, dat niet zichtbaar is, moet hij zoeken. Zulke activiteiten zijn arbeidsintensief en onderhevig aan fouten, met inaccuraatheid tot gevolg. RFID op itemniveau biedt in deze situatie vele voordelen, welke zijn aangehaald

⁹ Lean of just in time productie is de integratie van een reeks activiteiten om grote volumes te produceren door gebruik te maken van een minimum aan voorraden (grondstoffen, goederen in bewerking en afgewerkte producten). Elk onderdeel arriveert net op tijd (“just in time”) aan het volgende werkstation, wordt vervolgens bewerkt en verlaat het werkstation onmiddellijk.

in 3.2.3, met een verhoogde accuraatheid en minder arbeidsverbruik als resultaat (Auto-ID Center, 2003b).

Voor vele fabrikanten is de arbeid, naast grondstof- en machinekosten, een belangrijke kostencomponent. Indien arbeidersuniformen of identiteitsbadges getagged zouden zijn, kunnen productiviteitsvoordelen bekomen worden in gebieden zoals (Auto-ID Center, 2003b):

- het vermogen om gebruiker, taak en machine aan elkaar te linken om na te gaan dat enkel gekwalificeerde en juiste uitgeruste mensen de apparatuur onderhouden en gebruiken;
- het vermogen om te weten welke arbeider welke taak verricht heeft in geval van kwaliteits- of veiligheidskwesties;
- het vermogen te weten waar alle arbeiders zijn in het bedrijf, het meten van hun productiviteit en behoud van veiligheid.

Het concept van het taggen van een individu komt echter in opspraak in verband met privacy en arbeidskwesties.

Conclusie: de impact van RFID in de fabricage

De integratie van RFID-technologie in de fabricage kan de productieprocessen stroomlijnen ten gevolge van een verbeterde informatie en automatisering. Samengevat biedt RFID de volgende voordelen en waarde aan de fabrikant (Auto-ID Center, 2003b):

- verhoogde opbrengsten ten gevolge van een vermindering van de voorraauditputtingen en een verbetering van de kwaliteit en de klantenservice;
- daling van de kosten van de verkochte goederen (KVG) en van de vaste kosten ten gevolge van verhoogde arbeidsproductiviteit, minder uitval, en optimaal en efficiënt gebruik van de machines en andere assets;

- vermindering van het werkkapitaal afkomstig van de vermindering van voorraad grondstoffen, goederen in bewerking en afgewerkte producten.

3.3.3 Opslag en distributie

Uitdagingen voor het opslag- en distributiecentrum

Consumenten eisen steeds hogere serviceniveaus tegen meer competitieve prijzen. Deze eisen zijn voelbaar in de gehele logistieke keten en vaak krijgt het distributiecentrum een grote verantwoordelijkheid toegeschoven. Het succes van een opslag- of distributiecentrum in de logistieke keten steunt daarom op de topprioriteiten operationele efficiëntie en klantenserviceniveau (Auto-ID Center, 2002b, 2002d).

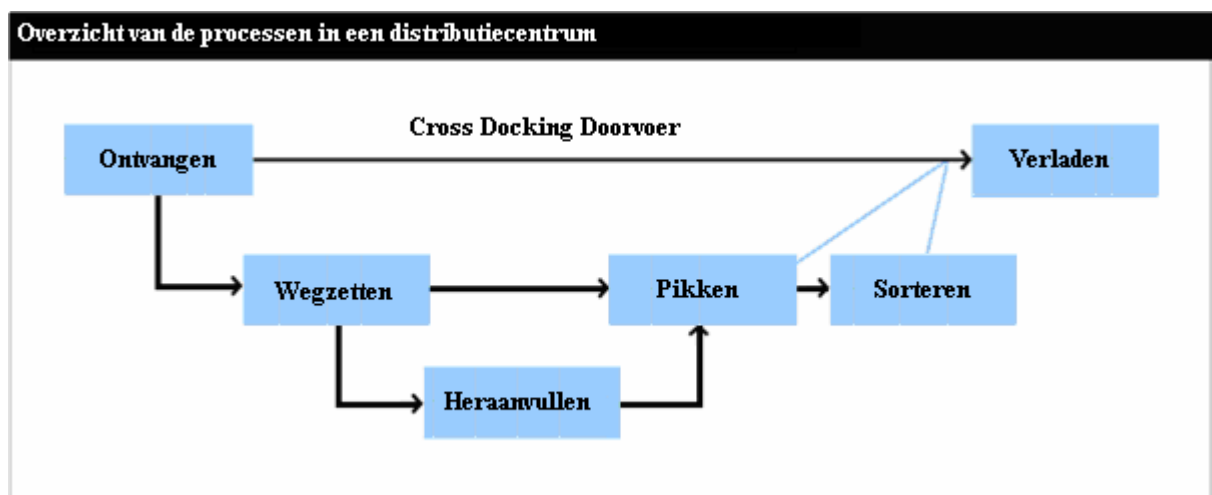
Operationele efficiëntie is noodzakelijk om producten tegen de laagst mogelijke kost aan de winkels te leveren. Zo dient de distributeur arbeidsinefficiëntie, voorraaduitputting, diefstal en verlies te vermijden om de kosten te drukken. Belangrijk om een goede klantenservice te bieden en klanten tevreden te houden, is het vermogen om snel te reageren op de wensen van de klant en orders correct en volledig te vervullen. De distributeur moet bijgevolg trachten de doorvoer te versnellen en de doorlooptijden te verkorten. Tevens is accurate informatie betreffende de voorraadniveaus noodzakelijk vermits inaccurate voorraadniveaus leiden tot een lager ordervervullingsratio (Auto-ID Center, 2002b, 2002d).

Het gebruik RFID-systemen in de distributie operaties zijn vandaag vaak beperkt tot pallet- of doosniveau, met uitzondering van hoogwaardige items, zoals auto's. Vue Technology en Auto-ID Center beweren dat implementatie van RFID op itemniveau kan bijdragen tot een betere operationele efficiëntie, klantenservice en winstgevendheid (Auto-ID, 2002a, 2002b; Vue Technology, 2007a).

RFID op itemniveau biedt real-time productzichtbaarheid en laat traceren en opvolgen van individuele items toe. Tevens ondersteunt RFID op itemniveau de verschuiving naar kleinere, meer frequente leveringen. Pallets, volledig gevuld met hetzelfde product, ruimen plaats voor samengestelde pallets, waarvoor het pikken van items en dozen noodzakelijk is. Denk bijvoorbeeld aan de retailsector (Auto-ID, 2002d; Vue Technology, 2007a)

De processen in een distributiecentrum

Onderstaande figuur toont een overzicht van de verschillende processen die voorkomen in een distributiecentrum. In een distributiecentrum, waar een RFID-netwerk van toepassing is, zien deze processen eruit zoals besproken in volgende alinea's.



Figuur 22: Overzicht van de processen in een distributiecentrum (Auto-ID Center, 2002d)

Ontvangst en incheck

Wanneer pallets, voorzien van een RF-tag en items (tevens van een RF-tag voorzien) bevattende, aankomen in het distributiecentrum, zullen lezers de tags uitgelezen en zo het voorraadstelsel automatisch updaten. Het stelsel vergelijkt de werkelijk ontvangen goederen automatisch met de verwachte hoeveelheden en soorten. Tevens identificeert en

registreert het onmiddellijk elke discrepantie. Op deze manier elimineren RFID-systemen het arbeidsintensieve ontvangst- en incheckproces en de bijhorende menselijke fouten. Fouten in het ontvangst- en incheckproces zorgen immers voor problemen doorheen het gehele distributiecentrum. Tevens zorgt het geautomatiseerd ontvangen ervoor dat de goederen sneller beschikbaar zijn om verder te worden verscheept (Auto-ID Center, 2002b, 2002d).

Wegzetten

Bij het wegzetproces zullen RFID-systemen toelaten dat heftruckchauffeurs de goederen slechts nog moeten pikken en wegzetten, zonder te moeten stoppen en de heftruck te moeten verlaten om een barcode te scannen. Het systeem stuurt de chauffeurs naar de voorbestemde locatie. Wanneer de chauffeur de goederen op een bepaalde locatie dropt, zal het systeem het voorraadbestand op deze nieuwe locatie automatisch updaten zonder dat de chauffeur een barcode moet scannen. Wanneer de chauffeur een item op de verkeerde locatie plaatst, wordt er een signaal gegenereerd (Auto-ID Center, 2002b, 2002d).

Pikken en verladen

Het systeem verbindt dus elk product aan een bepaalde locatie. Zo zullen heftruckchauffeurs, die instaan voor het laden van de vrachtwagens, nooit op een locatie aankomen om te zoeken naar een item dat er niet is. Voor het vervullen van een order, wordt de heftruckchauffeur rechtstreeks naar de juiste locatie gestuurd. Daar kan hij het gewenste item pikken. Het systeem zal vervolgens automatisch verifiëren of de chauffeur het juiste artikel en de juiste hoeveelheid heeft afgenomen en de voorraadgegevens automatisch bijwerken. De pikker wordt gewaarschuwd indien hij een verkeerd aantal of soort pikt. Opnieuw is bij dit pikproces het scannen van een barcode niet meer vereist (Auto-ID Center, 2002b, 2002d).

Het perfecte order afleveren aan de klant is het doel van elk distributiecentrum. Imperfecte orders leiden immers tot stijgende klantenclaims, inaccurate voorraadniveaus, verhoogde

terugzendingen en klanttevredenheid. Om de kans op een perfect order te verhogen, moeten distributeurs de ladingen verifiëren alvorens ze te verschepen. Het RFID-systeem is in staat deze verificatie automatisch uit te voeren, zelfs bij pallets die verschillende producten bevatten. (Auto-ID Center, 2002b, 2002d).

De voordelen van RFID op itemniveau in een distributiecentrum

De voordelen, die RFID-systemen bieden aan opslag- en distributieoperaties, zijn (Auto-ID, 2002b, 2002d; Vue Technology, 2007a):

- *Daling van de arbeidskosten:* RFID-systemen hebben een enorme impact op alle tijdsverbruikende distributiecentrumprocessen, die gepaard gaan met het scannen van artikel- en/of locatiebarcodes. Deze impact verhoogt de arbeidsefficiëntie en verlaagt, volgens Auto-ID Center, de arbeidskosten met 5 tot 40%. Tevens kan 95% van de arbeid bij cyclustellingen geëlimineerd worden.
- *Verhoogde accuraatheid en zichtbaarheid van de voorraad:* Het vermogen te weten op welke locatie elk item zich bevindt, menselijke fouten aanzienlijk te verminderen (door het niet meer moeten scannen van barcodes en manueel tellen van voorraden) en de voorraadgegevens automatisch en in real-time bij te werken wanneer productbewegingen zich voordoen, leidt tot een hoge accuraatheid en zichtbaarheid van de voorraad. Deze voorraadzichtbaarheid laat toe tijdig een automatisch signaal te genereren wanneer onverwachte vraag de voorraad tot een kritisch niveau brengt. Dit stelt het distributiecentrum in staat hun voorraden bij te vullen en aan de vraag van de klanten te voldoen, zonder een al te grote voorraad te moeten aanhouden. RFID-systemen op itemniveau zullen dus bijdragen aan een betere productbeschikbaarheid, een vermindering van voorraaduitputtingen en kleinere veiligheidsvoorraden.
- *Hoog ordervervullingsratio:* Deze hoge accuraatheid en zichtbaarheid van de voorraad vormt tevens de basis voor een hoog ordervervullingsratio. Het gebruik van RF-tags

op itemniveau bezit het potentieel de orderaccuraatheid te verhogen tot op het punt waar het aantal fouten zelfs verwaarloosbaar is.

- *Snellere doorvoer en kortere doorlooptijden:* Ten gevolge van de verhoogde arbeidsefficiëntie en het sneller beschikbaar zijn van goederen in de voorraad, verhogen RFID-systemen de doorvoer en verkorten ze de doorlooptijden. De distributeur is bijgevolg in staat orders sneller te vervullen.

3.3.4 De retail

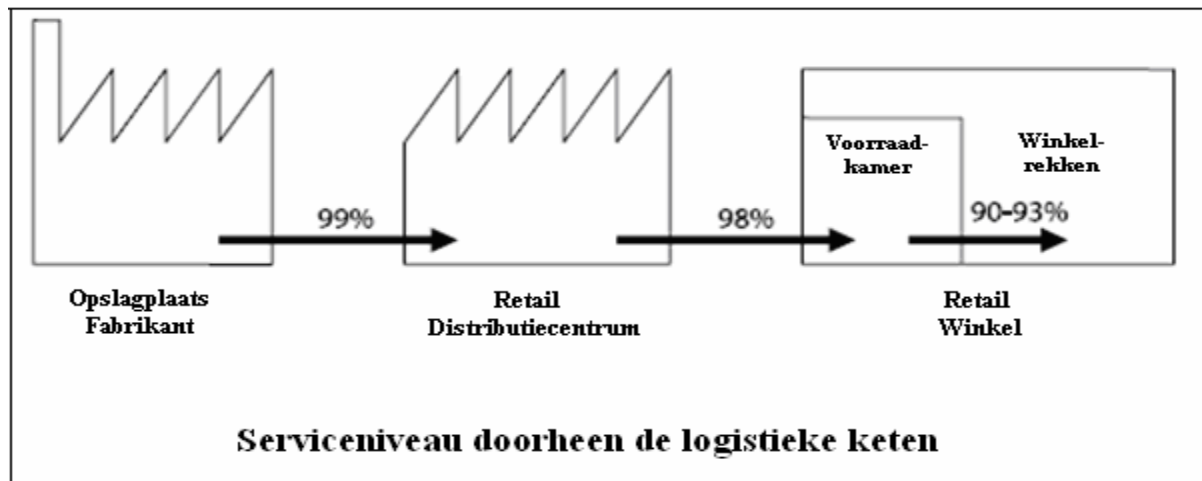
De retailwinkel in de logistieke keten

Auto-ID Center merkt op dat er weinig consistentie in de definities, betreffende het beheer van de logistieke keten, bestaat. Zulke inconsistentie beïnvloedt de mate waarin de processen in de kleinhandelwinkel als deel van de totale logistieke keten worden beschouwd. De meeste auteurs nemen alle processen, die waarde toevoegen voor de uiteindelijke klant, in hun definities op. De retailer is meestal het enige raakvlak tussen de finale consument en de totale logistieke keten. Daarom zal elke inefficiëntie of fout zijn uitwerking hebben in de gehele logistieke keten. Om die reden beschouwt Auto-ID Center de integratie van processen en activiteiten in de retailwinkel als een deel van de logistieke keten (Auto-ID Labs, 2005b).

De laatste enkele meters van een retail logistieke keten kunnen de meest cruciale zijn. Hoe efficiënt de logistieke keten ook is in de aanlevering naar de retailer toe, inefficiënt bijvullen van de rekken vanuit de voorraadkamer zal de prestatie van de totale logistieke keten doen dalen. In omgekeerde richting geldt hetzelfde. Efficiënte retailoperaties zullen inefficiënties in de aanlevering niet wegwerken. Het is dus van belang dat elke partner in de logistieke keten zijn bijdrage levert.

Een studie van ECR Europe in 2003 stelt dat de beschikbaarheid van de producten daalt naarmate men vordert van fabrikant tot retailer, zoals getoond in figuur 22. Het serviceniveau

in de retailwinkel is aanzienlijk lager dan in de rest van de logistieke keten. Een andere studie, in 2003 uitgevoerd door Accenture, beweert dat één derde van al de niet-verkopen zich bij de retailer zelf bevinden, hetzij in de voorraadkamer, hetzij op een verkeerde locatie in de winkel (Auto-ID Labs, 2005b).



Figuur 23: Serviceniveau doorheen de logistieke keten (Auto-ID Labs, 2005b)

Enkele begrippen

Om een beter inzicht, betreffende de problematiek, te verwerven, worden enkele begrippen verklaard (Auto-ID Labs, 2005b):

- De retailwinkel is het geheel van voorraadkamer en winkelrekken.
- Definieer rek bijvulling als het proces van het opnieuw bevoorraden van de winkelrekken door producten uit de voorraadkamer van de retailwinkel te halen en ze in de rekken te plaatsen.
- Winkelbevoorrading wordt gedefinieerd als het aanvullen van de voorraden in de voorraadkamer vanuit het magazijn van de fabrikant of leverancier of vanuit het opslag- en distributiecentrum.
- Bijgevolg is een voorraaduitputting het tijdelijk niet beschikbaar zijn van producten in de retailwinkel (dus noch in de rekken, noch in de voorraadkamer).

- Niet-verkopen daarentegen zijn het tijdelijk niet beschikbaar zijn van producten in de rekken van de winkel.

In de academische literatuur over voorraadbeheer, onderzoeken auteurs vaak de retail logistieke keten onder de assumptie dat: eenmaal de retailwinkels bevoorraad zijn vanuit de distributiecentra, al de producten ook automatisch uitgestald zijn in de rekken. Met andere woorden, de interne operaties van de retailer beschouwen ze als een zwarte doos. Ze maken het onderscheid tussen niet-verkopen (niet in de rekken, maar wel in de voorraadkamer) en voorraaduitputting (helemaal niet in de winkel, dus noch in de rekken noch in de voorraadkamer) niet (Auto-ID Labs, 2005b).

Nood aan efficiënte interne operaties

De interne operaties van de retailer zijn van even groot belang dan om het even welk ander proces in de logistieke keten. De retailomgeving kampt met enkele pijnpunten die allen een gebrek aan accurate en tijdige visibiliteit, wat betreft productbewegingen, gemeen hebben. Inefficiënte interne operaties leiden tot niet-verkopen en voorraaduitputtingen. Deze kunnen retailers best vermijden. Productbeschikbaarheid is volgens het Shopper Report van maart 2002 immers één van de drie belangrijkste criteria voor klantentevredenheid. Deze drie criteria zijn (Auto-ID Center, 2003a):

- productbeschikbaarheid (en in het bijzonder van speciale promoties);
- een juiste prijsweergave;
- een efficiënt uitcheck proces.

In wat volgt een overzicht wat identificatie op itemniveau te bieden heeft aan retailoperaties.

Productontvangst

Wanneer een retailer producten ontvangt van zijn distributiecentrum, kan hij twee dingen doen. Hij kan enerzijds, door middel van een tijdsverbruikend en arbeidsintensief proces, verifiëren of de producten overeenkomen met de vrachtbrief, alvorens de producten te accepteren. Dit draagt bij tot een accurate voorraad en brengt verkeerde verzendingen onmiddellijk aan het licht. Anderzijds kan de retailer dit tijdsverbruikende en arbeidsintensieve verificatieproces overslaan en de producten accepteren zoals de distributeur ze heeft aangeboden. Nadeel hier is dat de retailer instemt met een bepaald foutenpercentage wat leidt tot inaccurate voorraad. De retailers van vandaag moeten dus een afweging maken tussen kosten en accuraatheid. De meeste kiezen ervoor de accuraatheid op te offeren om zo de kosten aanzienlijk te verminderen (Auto-ID Center, 2002c; Auto-ID Center, 2003c).

Het gebruik van RF-tags op itemniveau elimineert deze afweging tussen kosten en accuraatheid. Het maakt namelijk automatische productontvangst mogelijk wat het tijds- en arbeidsverbruik aanzienlijk doet verminderen en de accuraatheid van de voorraad in de voorraadkamer doet stijgen. Deze accuraatheid zorgt voor de basis van een efficiënte bijvulling van de rekken (Auto-ID Center, 2002c).

Visibiliteit van de voorraad in de voorraadkamer

Eenmaal het product ontvangen in de voorraadkamer is de volgende uitdaging het onderhouden van de visibiliteit van de voorraad in de voorraadkamer. Zo kan het herbevoorraden van de rekken snel en efficiënt verlopen. Wanneer een product in de rekken bijgevuld moet worden, moeten er twee dingen geweten zijn: is het product nog in voorraad in de voorraadkamer en waar is het opgeslagen in de voorraadkamer (Auto-ID Center, 2002c).

Door items te identificeren in zowel de rekken van de voorraadkamer als aan de doorgang tussen voorraadkamer en winkel, kunnen RFID-systemen de nodige zichtbaarheid van de voorraad in de voorraadkamer bieden. Ze zijn in staat onmiddellijk te verifiëren of het product zich in de voorraadkamer bevindt en waar het is opgeslagen. Deze onmiddellijke

beschikbaarheid van informatie spaart een aanzienlijke hoeveelheid arbeid uit (Auto-ID Center, 2002c, 2003a).

Onderhouden van de voorraden in de rekken en efficiënte rekbijvulling

Beschikken over complete, accurate en real-time informatie wat betreft de voorraden in de voorraadkamer, vermindert daarom nog niet het aantal lege rekken. De garantie bieden dat klanten de items, die ze zoeken en willen, kunnen terugvinden, is een grote uitdaging voor de retailer. Zoals reeds aangehaald, is in een studie van Accenture geschat dat 33% van de niet-verkopen wel degelijk aanwezig is bij de retailer. Maar deze niet-verkopen bevinden zich gewoonweg nog in de voorraadkamer of op een verkeerde locatie in de winkel (Auto-ID Center, 2002c, 2003a).

De retailer weet in de eerste plaats meestal gewoonweg niet welke items hij dient bij te vullen in de rekken. De grootste oorzaak van lege rekken is het onvermogen van de retailer te identificeren wanneer voor een bepaald item de voorraad in de rekken helemaal uitgeput is of de uitputting nadert. Vaak worden (bijna) lege rekken pas opgemerkt tijdens de periodieke visuele controles van de rekken. Erger nog is wanneer ontevreden klanten medewerkers op de hoogte brengen dat bepaalde producten niet meer beschikbaar zijn. Gebrek aan tijdige informatie, omtrent de voorraadposities van de rekken, is dus een eerste oorzaak van lege rekken en dus niet-verkopen (Auto-ID Center, 2002c).

Daarnaast bestaan er nog enkele andere oorzaken voor een beperkte voorraadzichtbaarheid in de rekken en niet-verkopen. Zo nemen klanten producten uit de rekken om vervolgens zich te bedenken over de aankoop ervan. Ze leggen de producten dan elders in de winkel terug. Bijgevolg zijn deze items verloren totdat winkelbediendes ze opmerken. Tevens komt het voor dat winkelbediendes rekken vergeten heraan te vullen of items op de verkeerde locatie in de rekken plaatsen (Auto-ID Center, 2003a).

Door elk individueel item van een RF-tag te voorzien, kan het systeem elk, uit de rekken genomen item registreren. Eenmaal de voorraad in de rek een vooraf bepaald niveau heeft bereikt, kan het systeem een automatisch signaal genereren dat aan de winkelbediendes de opdracht geeft de rekken bij te vullen. Naast een aanzienlijke vermindering van (bijna) lege rekken, een hogere productbeschikbaarheid en bijgevolg een verhoging van de klanttevredenheid, spaart dit tevens een hele hoop arbeid uit. De winkelbediendes hoeven niet meer langs de rekken te lopen om een visuele controle van de voorraadposities uit te oefenen en hoeven geen lijst van de heraan te vullen producten in de rekken op te stellen. Indien ze producten op de verkeerde locatie plaatsen, wordt een automatisch signaal gegenereerd (Auto-ID Center, 2002c, 2003a).

Winkelplanning en planogram

Een planogram is een schematische voorstelling van de winkelopstand en de producten, die illustreert hoe en waar de retailer zijn producten moet uitstallen met als doel de klantenverkoop te verhogen. Het onderhouden van deze planogrammen is een permanente bezigheid, zeker vermits er een verschuiving is naar een breder productaanbod en winkelspecifieke assortimenten. Zo verloopt de overgang van productverkoop, die wordt stopgezet, naar het lanceren van nieuwe producten vaak stroef. Het komt regelmatig voor dat nieuwe producten niet tijdig in de rekken belanden of de retailer bijvoorbeeld blijft zitten met een aanzienlijke hoeveelheid van het stopgezette product (Auto-ID Center, 2002c).

RFID-systemen op itemniveau kunnen locatie-informatie, die kan onthullen welke plaatsen in de winkel de hoogste verkoopcijfers voor een bepaald product opleveren, bieden. Gewapend met deze informatie, kunnen winkelplanners beter bepalen waar ze welke producten moeten plaatsen met als doel de totale verkoop te maximaliseren. Tevens zal RFID op itemniveau visibiliteit, omtrent de hoeveelheid voorraad van de stopgezette producten, bieden. Dit zal de retailer en de fabrikant in staat stellen te bepalen welke de meest effectieve strategie (tijdelijk blijven verkopen of verwijderen uit de rekken) is (Auto-ID Center, 2002a, 2002c).

Het uitchecken aan de kassa

Het uitcheck proces aan de kassa is een bron van frustraties voor klanten, dat volgt uit het “Shopper report” van maart 2002. Uit dit rapport is gebleken dat 72% van de ondervraagden een efficiënte en snelle uitcheck belangrijk vinden. Een andere studie, uitgevoerd door Time Distribution Studies en Envirosell in 1999, toont aan dat de gemiddelde tijd dat de klant verliest aan het uitcheck proces in een supermarkt 5 minuten en 34 seconden is. Hiervan zijn drie minuten wachttijd (Auto-ID Center, 2003a).

Bovendien is het uitcheck proces zeer arbeidsintensief en gaat het vaak gepaard met problemen. Hoewel het gebruik van barcodes een automatische identificatietechnologie is, kent zij nog enkele nadelen (zoals eerder aangehaald in paragraaf 3.2.3). Het scannen van alle afzonderlijke items vergt veel tijd, is vatbaar voor scanfouten en soms onmogelijk. Zo moet de winkelbediende de barcode eerst zoeken om deze vervolgens voor de lezer te houden. Wanneer hij meerdere items van eenzelfde product moeten scannen, scant de winkelbediende meestal slechts één item en telt de overige om vervolgens een vermenigvuldigingstoets in te duwen. Dat deze handeling vatbaar is voor fouten, spreekt voor zich. Het voorkomen van beschadigde barcodes is ook niet vreemd en vertraagt het hele proces (Auto-ID Center, 2002c).

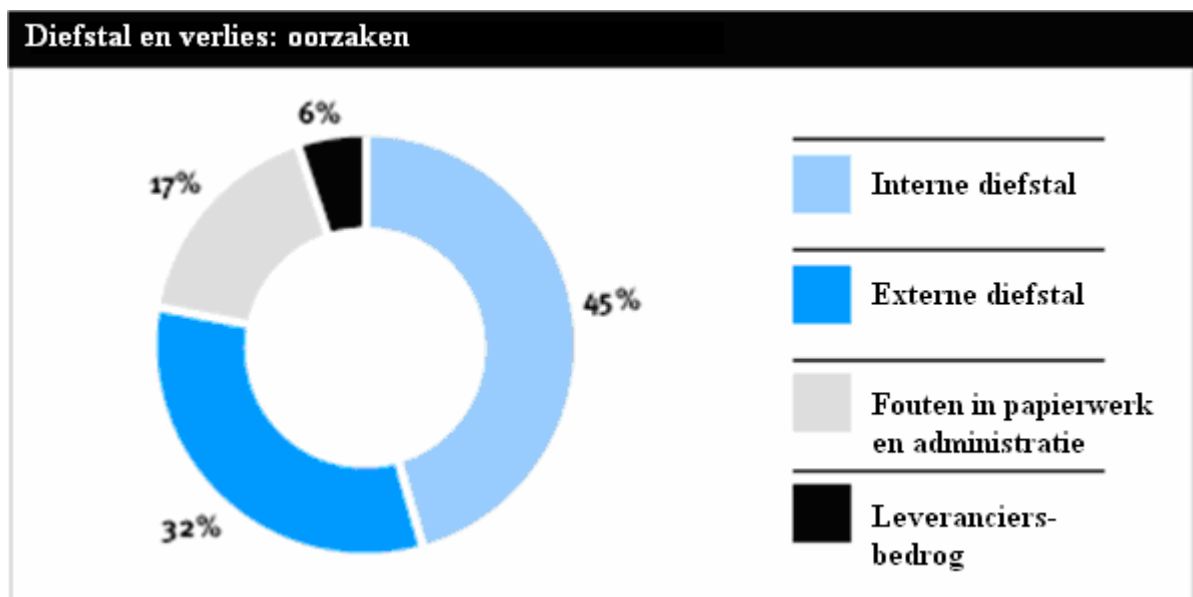
Het gebruik van RFID op itemniveau biedt enkele voordelen. Vooreerst kan de retailer zich van een quasi 100% accuraatheid verzekeren, omdat deze accuraatheid niet meer afhankelijk is van menselijke handelingen zoals manueel scannen, tellen en vermenigvuldigingstoetsen indrukken. Daarnaast kunnen wachttijden en de hoeveelheid arbeid aanzienlijk verminderd worden. Het enige wat de klant moet doen is de producten op de rolband leggen. De winkelbediende hoeft elk individueel item niet meer te behandelen om het te scannen met als gevolg dat de betalingsafhandeling zijn meest intensieve taak wordt. Tevens zou het gebruik van RFID op itemniveau een zelf-uitcheck systeem mogelijk kunnen maken (Auto-ID Center, 2002a, 2002c, 2003a).

Diefstal en verlies

Diefstal en verlies, ook wel “shrink” genoemd, kent verschillende oorzaken. In een retailomgeving kunnen deze oorzaken in vier categorieën worden ondergebracht:

- interne diefstal door werknemers;
- externe diefstal door klanten;
- fouten in administratie en papierwerk (bijvoorbeeld fouten bij het scannen aan de kassa);
- verkoop- of leveranciersbedrog (bijvoorbeeld een factuur die niet overeenkomt met de geleverde hoeveelheden).

Het aandeel van elke categorie ten opzichte van het totaal aan diefstal en verlies is weergegeven in onderstaande grafiek.



Grafiek 2: De oorzaken van diefstal en verlies (Auto-ID Center, 2002b)

In een retailomgeving bedraagt de hoeveelheid diefstal en verlies ongeveer 1.75% van de opbrengsten. Dat blijkt uit het ‘Retail Survey Report’ van de Universiteit van Florida van 2000. Auto-ID Center is van mening dat, indien elk item van een tag voorzien is, het verlies ten gevolge van fouten in papierwerk en administratie met 80% en dat diefstal (zowel intern

als extern) met 50% verminderd kan worden. Het automatische identificatiesysteem kan elk getagged item, dat de winkel verlaat en niet als verkocht geregistreerd is, detecteren. Het systeem genereert bijgevolg automatisch een signaal, rest er enkel de kwestie snel te reageren. Het cumulatieve effect zou een daling van de totale diefstal en verliezen met zich meebrengen van 1.75 naar 0.85% (Auto-ID Center, 2002b).

Terugroepingen

Wanneer productterugroepingen zich voordoen, kunnen ze duur en moeilijk uit te voeren zijn. Elk item van een bepaalde levering uit de rekken halen, is vandaag de enige garantie dat alle teruggeroepen producten ook werkelijk uit de rekken verdwijnen. Het resultaat is extra arbeid en het verwijderen van producten die wel voldoen, en dus ook verlies van verkopen (Auto-ID Center, 2003a).

Indien elk item van een tag is voorzien, kan de retailer de afgelegde weg van elk item opvragen. Zo kan hij precies weten welk item hij wel en welk item hij niet uit de rekken moet verwijderen en dit op een zo snel mogelijke manier (Auto-ID Center, 2003a).

Teruggave en garantie

Door gebruik te maken van tags op itemniveau, kan de retailer exact weten wanneer, waar en tegen welke prijs een item verkocht werd (of als het in de eerste plaats verkocht werd of niet). Dit stelt retailers in staat hun teruggave- en garantiebeleid voor bijvoorbeeld kortingsverkopen, laattijdige teruggaven, items gekocht bij andere retailers of gestolen items, extra kracht bij te zetten. Zo zal een vermindering in het aantal ongeldige teruggave- en garantieafhandelingen waargenomen worden, net zoals een betere afhandelingsnelheid en dit zonder vervelende vragen aan de klanten te moeten stellen. Kortom biedt identificatie op itemniveau een betere klantenservice en zal het klantenfrustraties verminderen. Tevens kan

het systeem informatie aan de fabrikanten bieden die kan leiden tot kwaliteitsverbeteringen (Auto-ID Center, 2002a, 2003a).

3.4 Intelligente verpakkingen

3.4.1 Inleiding

De belangstelling voor intelligente verpakkingen of zogenaamde ‘smart packages’ bestaat reeds enkele jaren. Bedrijven beschouwen intelligente verpakkingen als een ideaal middel om een grote klantgerichtheid en klantenbinding te realiseren. Intelligente verpakkingen bieden, naast een reductie van de logistieke kosten van producten, ook de mogelijkheid om minderwaardige, vervallen of defecte producten te detecteren en tijdig uit de keten te verwijderen. Zo kunnen bedrijven aan de strenger wordende reglementering, wat betreft de voedselveiligheid, voldoen (VIL, 2006).

Het VIL (2006) omschrijft intelligente verpakkingen als die verpakkingen die in staat zijn om de toestand van verpakte goederen op te volgen en informatie te verstrekken over ondermeer de kwaliteit, de veiligheid en de locatie van de goederen gedurende transport en overslag. Net zoals bij RFID, zullen de miniaturisering en de dalende prijzen van de technologie de doorbraak vormen. Deze doorbraak van intelligente verpakkingen is tevens sterk gerelateerd met deze van RFID zelf. Het meten van variabele en relevante informatie zoals temperatuur, druk, vochtigheid, trillingen, gassen enz. is één zaak. Deze informatie op een efficiënte manier met de omgeving communiceren een andere. Intelligente verpakkingen zijn bijgevolg RF-tags waarin sensors geïntegreerd zijn.

3.4.2 Intelligente verpakkingen en geprinte elektronica

Polymeren reageren zeer sterk op hun omgeving en hun eigenschappen kunnen aangepast worden aan de omstandigheden waarin de polymeren moeten functioneren. Dit is de reden waarom autobestuurders bijvoorbeeld speciaal winterbanden onder hun wagens leggen als het koud is of waarom bijvoorbeeld polymeren – die van kleur veranderen met de temperatuur – zichzelf gevestigd hebben in een waaier van producten, denk maar aan bijvoorbeeld eetlepels voor baby's. In een uitgebreide studie naar de reactie van polymeer transistors op veranderingen in de omgevingstoestanden, werd een duidelijke relatie tussen de elektronische prestaties en temperatuur, vochtigheid en lichtstraling vastgesteld. Bovendien hebben mechanische spanningen zoals buigen, trekspanning en druk een unieke invloed op de elektronische eigenschappen van de polymeer transistors. Hoewel de invloed van deze parameters op de eigenschappen van polymeren reeds alledaagse kennis is, kwam het als verrassing dat deze parameters een goed te identificeren invloed uitoefenen op één enkele transistor zonder de andere parameters te beïnvloeden. Dit laat toe veranderingen in de omgevingstoestanden eenvoudig te controleren (PolyApply, 2006).

Een sensortoepassing werkt niet wanneer er alleen een elektronische parameter is die reageert op veranderingen in de omgeving, er dient ook geschikte sensorelektronica aanwezig te zijn. Bij de geprinte elektronica zal gekozen worden voor eenvoud en goedkope materialen vermits lage kost sensoren het mikpunt zijn. Zo voorziet organische polymeer elektronica eenvoudige manieren om veranderingen in de eigenschappen van polymeren, ingevolge van de verschillende omgevingstoestanden, te meten. Eenvoudige elektronica componenten, zoals polymeer transistors, kunnen dienst doen als sensorelementen voor bepaalde parameters. Geprinte elektronica zal dus trachten deze polymeer elektronica te printen. Het grote potentiële voordeel van geprinte elektronica is dat de elektronische parameter (gevoelig voor veranderingen in de omgeving) en het sensorelement samen geïntegreerd kunnen worden op één enkel substraat. Tevens zal het printen op flexibele substraten toelaten dat de sensor zich kan aanpassen aan eender welke geometrie en dit zal rechtstreekse integratie in de verpakking mogelijk maken (PolyApply, 2006).

Wat betreft geprinte elektronica wordt onderzoek gedaan naar volgende indicatoren (VIL, 2006; VTT, 2007):

- *Tijd-temperatuur-indicatoren (TTI)*: deze indicatoren geven aan wanneer een product een bepaalde tijd boven of onder een vooraf bepaalde temperatuur is geweest. Hierbij is van belang dat de indicator makkelijk en op het juiste moment wordt geactiveerd en minstens dezelfde levensduur heeft als de houdbaarheid van het product. Eenmaal de temperatuur de vooraf bepaalde limiet heeft overschreden, dient de indicator dit definitief aan te geven, ook wanneer achteraf de gewenste temperatuur terug bereikt wordt.
- *Zuurstof- en kooldioxide-indicatoren*: chemische of enzymatische reacties bepalen de signalen die deze indicatoren uitzenden. Het opsporen van een lek in verpakkingen, het controleren van het juiste kooldioxideniveau en/of een werkingscontrole van de zuurstofabsorber (om de restanten zuurstof uit de verpakking te halen) behoren allemaal tot de mogelijkheden.
- *Versheidindicatoren*: op basis van stofwisselingsproducten bij de micro-organismen in voedsel zenden deze indicatoren informatie uit betreffende de mate van bederf, het verlies aan versheid of de aanwezigheid van ziekteverwekkende kiemen.
- *Schok- of drukindicatoren*: deze indicatoren geven weer of goederen tijdens het transport onderhevig geweest zijn aan schokken en/of er een bepaalde hoeveelheid druk op de verpakking is uitgeoefend. Op voorhand wordt een drempelwaarde vastgelegd. Indien deze drempelwaarde is overschreden, kan dit achteraf vastgesteld worden.
- *Vochtigheidsindicatoren*: deze indicatoren zijn zeer gevoelig voor veranderingen in de (lucht)vochtigheid.

3.4.3 De vraag naar intelligente verpakkingen

Voor verschillende sectoren, waaronder de voeding, farmacie, chemie, transport en logistieke dienstverlening, kunnen intelligente verpakkingen bijzonder interessant zijn. In deze sectoren

bestaat er immers een behoefte aan kwaliteitsbewaking. Kwaliteitsproblemen zijn meestal het gevolg van een variabele omgevingsparameter die tijdens de opslag of het transport de tolerantiegrens heeft overschreden. Zo zijn voedingsmiddelen, fijnchemicaliën en farmaceutische producten bijvoorbeeld typische goederen waarvan de kwaliteit afhankelijk is van de omgevingsparameter temperatuur. De temperatuur is eveneens de meest voorkomende cruciale parameter. Wettelijke bepalingen, zoals opgelegd door het Federaal Agentschap voor de Veiligheid van de Voedsel keten, worden steeds strikter en streven ernaar om verse producten van bij de oorsprong tot bij de consument te kunnen natrekken. Het spreekt voor zich dat behoefte aan kwaliteitsbewaking groot is voor zowel de producenten als de consumenten (VIL, 2006).

Naast het bewaken van de kwaliteit, is de waardedensiteit een andere belangrijke drijfveer voor het gebruik van intelligente verpakkingen. Deze waardedensiteit zal bepalend zijn voor het niveau waarop de intelligentie wordt aangebracht. Noodzakelijk is hier een afweging te maken tussen het eventuele verlies, dat de intelligente verpakkingen kunnen vermijden, en de hiervoor noodzakelijke investering. Vermits geprinte elektronica lage kost oplossingen zal bieden, zal er zich hoogstwaarschijnlijk een verschuiving van het breakeven punt voordoen in de richting van een lagere waardedensiteit (VIL, 2006).

Met bovenstaande in het achterhoofd, zal de kans op een positieve business case voor de introductie van intelligente verpakkingen groter zijn indien de waardedensiteit hoger en de kwaliteitsproblemen in de keten frequenter zijn.

3.4.4 Toepassingsgebied

Intelligente verpakkingen hebben heel wat toegevoegde waarde te bieden in de logistieke keten van gekoelde en bederfelijke producten. Denk hier vooral aan de voedingssector (verse producten, gekoelde producten, diepvriesproducten, enz) en farmaceutische sector (vaccins, bloed, hormonen, transplantatiehuiden, enz). Intelligente verpakkingen laten toe de inhoud voortdurend te monitoren, zodat beslissers rekening kunnen houden met verscheidene

parameters (zoals temperatuur, druk, versheid,...) en bijgevolg in staat zijn betere logistieke beslissingen te nemen (VIL, 2006).

Voedingssector

Voor voedingsproducten is de juiste koeling, gedurende gekoeld en diepvriestransport, vaak van cruciaal belang om de kwaliteit tot in de winkel te waarborgen. Hoe beter de verschillende partijen in de logistieke keten de producten bewaren, hoe langer de winkels ze nog kunnen verkopen. Het probleem bij gekoeld of diepvriestransport vandaag is de wijze waarop transporteurs de temperatuur registreren. Bij de meeste gekoelde transporten meten ze de luchttemperatuur in de vrachtwagen via dataloggers. Deze manier biedt echter geen informatie over de temperatuur van de goederen zelf of wat er mee gebeurde buiten de vrachtwagen. Zo is 70% van de ladingen bijvoorbeeld omwikkeld met verpakkingen die de koude luchtstroom van de koeling tegenhoudt zodat de kern bijgevolg niet de gewenste temperatuur bereikt. Ook kunnen goederen een tijd lang op de laadkaaien hebben gestaan zonder temperatuursregistratie en daardoor te veel opgewarmd zijn om vervolgens, afgekoeld op de gewenste temperatuur, opnieuw in de keten te brengen (VIL, 2006).

Een controle op itemniveau van het temperatuursverloop door middel van tijd-temperatuur-indicatoren zou voor een aantal producten, afhankelijk hun waardedensiteit, een meerwaarde kunnen bieden. Een tijd-temperatuur-indicator registreert het temperatuursverloop, zowel gedurende het transport als de overslag, van elk afzonderlijk item. Indien er iets misloopt en voedingswaren de kritische temperatuur overschrijden, is dikwijls heel moeilijk te achterhalen welk deel van de lading (al dan niet volledig) als verloren dient beschouwd te worden. Een meer gedetailleerde temperatuursmeting door middel van intelligente verpakkingen kan in dergelijke gevallen voor uitsluitel zorgen. Dit laat toe de nog goede producten snel te recupereren (VIL, 2006).

Betere controle en een betere kennis van de (bijna) vervallen producten doorheen de keten geeft aanleiding tot minder afval, lagere stockniveaus en een hogere beschikbaarheid van de

producten. Wat eveneens een kostenbesparing oplevert, is dat minder (verse) producten hun houdbaarheid overschrijden. Vandaag bereikt immers tot 25% van de verse producten de consument niet omdat de goederen niet tijdig verkocht of gedistribueerd worden. Kennis van het temperatuursverloop in combinatie met het gebruik van kwaliteitsverloopmodellen, die voor heel wat producten (zoals groenten en fruit) bestaan, laat toe op elk moment in de keten te voorspellen hoe lang bepaalde producten nog vers of verkoopbaar zullen zijn. Dit maakt het voor beslissers zelfs mogelijk het afzetgebied in laatste instantie aan te passen, en dit in functie van de verwachte houdbaarheid van de producten (VIL, 2006).

Naast de producent heeft ook de consument een behoefte aan kwaliteitsbewaking. Consumenten hebben zeker de interesse om te weten of de te koop aangeboden producten in de juiste omstandigheden aankomen bij het verkooppunt. De enige informatie die producenten vandaag aan de klanten bieden, is de afgedrukte houdbaarheidsdatum. Deze houdbaarheidsdatum op de verpakking van verse of gekoelde producten houdt evenwel geen garantie in voor de correcte behandeling of bewaring van de producten in de logistieke keten. Deze extra garantie zouden intelligente verpakkingen wel kunnen bieden. Er is vanuit de retailsector echter nog geen vraag naar zulke intelligente verpakkingen vermits zij intelligente verpakkingen vooral zien als de meerkost die ze aan de klant moeten doorrekenen. Een laatste remmende factor voor zowel de producenten als de retailers is de vrees dat intelligente verpakkingen zullen leiden tot een verhoogd volume van afgekeurde en dus niet verkochte goederen (VIL, 2006).

Farmaceutische en medische sector

In de farmaceutische en medische wereld dienen een aantal producten, denk bijvoorbeeld aan vaccins, koel te blijven om hun doeltreffendheid te behouden. De sector beschikt over een stevige reputatie als het aankomt op gekoelde transporten. Bijgevolg hebben de farmaceutische bedrijven het gedeelte van de keten dat ze zelf beheren, van fabrikant tot groothandelaar, goed onder controle. Van deze controle is echter geen sprake meer eenmaal de producten zijn afgeleverd aan de groothandelaars, die op hun beurt de apotheken en

ziekenhuizen bevoorraden. De apotheken en ziekenhuizen staan vervolgens in voor de fijnmazige distributie naar de eindgebruiker (de patiënt). Toch hebben de producerende bedrijven alle baat bij een continue kwaliteitsbewaking tot op het einde van de keten. De producent kan immers uiteindelijk aansprakelijk gesteld worden wanneer de kwaliteit van het product niet voldoet (VIL, 2006).

Het beperkte gebruik van intelligente verpakkingen in de farmaceutische en medische sector is vooral te wijten aan een onvoldoende kennis van de mogelijkheden van intelligente verpakkingen en RFID-technologie. De meeste farmaceutische producten hebben immers een waardedensiteit die het gebruik van intelligente verpakkingen economisch verantwoord maakt (VIL, 2006).

De fijnchemische sector

Bedrijven in de fijnchemie werken vooral met producten van een hoge waardedensiteit, met hoge kwaliteitseisen, die meestal ook temperatuur- en vochtgevoelig zijn en niet in bulk vervoerd worden. Gezien deze eigenschappen, biedt de fijnchemische sector heel wat potentieel voor intelligente verpakkingen. Kwaliteitsopvolging vanaf de producent tot bij de eindklant is immers wenselijk voor producten die moeten voldoen aan strenge kwaliteitseisen en nauwe tolerantiegrenzen hebben, zoals de fijnchemische producten. Gebrek aan zulke opvolging, leidt tot kwaliteitsproblemen. Op basis van eigen kwaliteitscontroles weigeren klanten vaak producten bij levering. Het gevolg hiervan zijn niet enkel commerciële verliezen, maar ook aanzienlijke, verloren logistieke kosten (VIL, 2006).

Intelligente verpakkingen in de fijnchemische sector zouden een bijdrage kunnen leveren door omgevingsparameters op te volgen, de daarvan afhankelijke kwaliteitsproblemen vroegtijdig te detecteren en de infrastructuur eventueel dynamisch aan te sturen. Net zoals in de farmaceutische en medische sector, is het gebruik van intelligente verpakkingen in de fijnchemische sector vandaag slechts heel beperkt. Dit is te wijten aan een gebrek aan kennis en een foutieve perceptie van de kostprijs (VIL, 2006).

De logistieke sector in het algemeen

Intelligente verpakkingen bieden als technologie ook potentieel voor de logistieke sector in het bijzonder. De transportsector bevindt zich in een toenemend competitieve markt waar de concurrentie van de ons omringende landen en – in sterkere mate – van de Oost-Europese spelers zich steeds sterker laat voelen. Het is ook daarom dat Belgische transportbedrijven en logistieke dienstverleners voortdurend inspanningen leveren om de rendabiliteit van de logistieke operaties te verbeteren en zich proberen te differentiëren door een kwalitatief betere dienstverlening en een hogere toegevoegde waarde aan te bieden (VIL, 2006).

Het aanbieden van een competitieve en onderscheidende dienstverlening, is een continue uitdaging waarin innovatie belangrijk is. Innovaties geven de sector dikwijls een voorsprong, met vaak hoge marges tot gevolg. Hier zouden intelligente verpakkingen een rol kunnen spelen. Het doorzenden van variabele informatie – zoals temperatuur, vochtigheid, druk, trillingen, enz – over de getransporteerde goederen biedt voor bepaalde goederenstromen een belangrijke toegevoegde waarde. Op basis van de verkregen informatie kunnen logistieke dienstverleners hun stromen beter aansturen en problemen of verliezen in de keten sneller ontdekken en opvangen. Zo kunnen ze bijvoorbeeld problemen, als gevolg van temperatuurschommelingen bij het transport van gekoelde producten, vermijden (VIL, 2006).

3.5 Merkbescherming, productauthenticiteit en het tegengaan van productnamaak

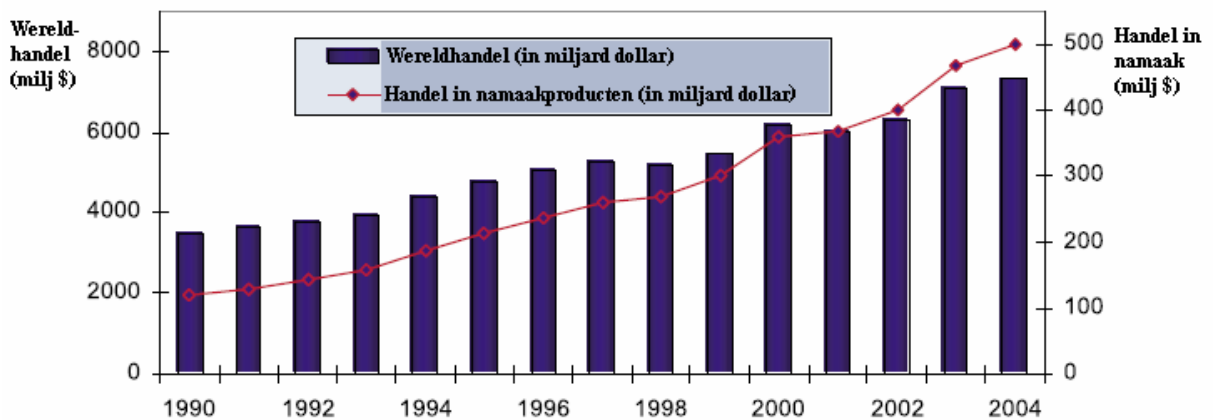
Het namaken van producten vormt een bedreiging voor de wereldwijde economie. Het is een globaal fenomeen dat verscheidene industrieën treft. Namaak, hetzij van kledij, medicijnen of cd's, kost jaarlijks honderden miljarden euro's wereldwijd. Naast verloren inkomsten voor bedrijven, bedreigen sommige van deze misdrijven ook de publieke gezondheid en veiligheid. Bedrijven worden in stijgende mate bewust van deze inbreuken op de intellectuele eigendomsrechten en vele gebruiken reeds antinamaak maatregelen, zoals hologrammen of

fijn afgewerkte verpakkingspatronen, met als doel namaak en productpiraterij te beperken. De huidige technieken zijn echter niet geschikt voor automatische testen of voorzien niet in het gewenste zekerheidsniveau of zijn te duur (Auto-ID Labs, 2005a). Geprinte elektronica biedt hier eventueel een oplossing.

3.5.1 De economische impact van productnamaak

De impact in cijfers

De internationale kamer van koophandel schat dat zeven procent van de wereldwijd verhandelde goederen namaak is. In 2001 was de namaakmarkt ongeveer 350 miljard dollar waard. Het “Counterfeiting Intelligence Bureau” komt met vergelijkbare data op de proppen en stelt dat in 2001 de globale namaak ongeveer 385 miljard dollar waard was. De namaakmarkt overschreed in 2004 zelfs de 500 miljard dollar grens, aldus de internationale kamer van koophandel. Grafiek 3 toont de stijging van namaak in vergelijking met deze van de wereldhandel. De grafiek geeft duidelijk weer dat de hoeveelheid namaakproducten sterker toeneemt in vergelijking met de wereldhandel (Auto-ID Labs, 2005a).



Grafiek 3: Evolutie van namaak in vergelijking met wereldhandel (Auto-ID Labs, 2005a)

Niet elke sector is even gevoelig voor namaak, maar in elk segment is de laatste jaren echter wel een forse stijging te merken. Economieën die vooral lijden onder namaak zijn de Aziatische en de Oost-Europese. Hieronder een kort overzicht (Auto-ID Labs, 2005a):

- In de copyright- of auteursrechtenindustrie zijn bijna de helft van alle DVD's, meer dan veertig procent van alle business software, en één derde van alle muziek cd's in omloop illegaal gekopieerd;
- Ongeveer tien procent van alle kledij, zowel merk- of sportkledij, zijn nagemaakt. De internationale kamer van koophandel schat dat vervalsers jaarlijks voor 25 miljard dollar aan nagemaakte luxekledij verkopen via het internet.
- In de auto-industrie zijn vijf tot tien procent van al de reserveonderdelen namaak.
- De wereldgezondheidsorganisatie W.H.O. (World Health Organisation) schat dat bij vijf à acht procent van de jaarlijks gespendeerde 500 miljard dollar, het om nagemaakte geneesmiddelen gaat. In sommige ontwikkelingslanden is het zelfs zo erg gesteld dat de kans dat je met een onecht geneesmiddel te maken hebt, groter is dan dat het een authentiek geneesmiddel is.

Impact op drie fronten

Namaak heeft impact op drie fronten (Auto-ID Labs, 2005a):

- namaak benadeelt de houder van de rechten;
- namaak benadeelt het land waar de namaak plaatsvindt;
- namaak veroorzaakt sociale implicaties.

De houder van de rechten, degene wiens goederen zijn nagemaakt, lijdt onder verminderde verkopen en inkomsten omdat hij tegen de vervalsers moet concurreren. Bijkomend ontstaan er verborgen kosten. Nagemaakte producten zijn vaak minderwaardig, maar blijven wel met het originele merk geassocieerd. Dit zal een negatieve invloed hebben op de toekomstige verkopen omdat het imago van het bedrijf wordt aangetast en de tevredenheid over het

desbetreffende merkt daalt. Bovendien bestaat de mogelijkheid dat consumenten de houder van de rechten verantwoordelijk achten voor eventuele monetaire verliezen of zelfs lichamelijke letsels, met dure rechtzaken of schadevergoedingen tot gevolg.

Landen, waar veel namaak voorkomt, schrikken producenten van befaamde producten af. Ze investeren niet meer in de nationale economie vermits hun intellectuele eigendom gevaar loopt. Bovendien ontmoedigt het algemeen voorkomen van namaak in een economie de zin voor innovatie en op lange termijn zelfs de zin voor onderzoek en ontwikkeling. De grote winsten, die voortkomen uit nieuwe producten, worden immers teniet gedaan als deze producten snel worden nageemaakt. Een ander gevolg is een verlies aan belastingen vermits het meestal niet-geregistreerde organisaties zijn, die valse producten produceren.

Wat betreft de sociale implicaties zullen consumenten de dupe zijn van de verdraaide competitie. Ze zijn meer op hun hoede en zullen minder snel overgaan tot het kopen van innovatieve producten. Ook hogere belastingen en werkloosheid behoren tot een van de mogelijke gevolgen. Bovendien komt de gezondheid en de veiligheid van de consumenten in gevaar ten gevolge van de minderwaardige kwaliteit van de meeste nagemaakte producten. Zo zijn een aanzienlijk deel van de nagemaakte medicijnen giftig.

3.5.2 De bestaande oplossingen voor het bestrijden van namaak

Bedrijven worden in stijgende mate bewust van de problemen, die het gevolg zijn van namaak. Een goede oplossing om namaak te bestrijden bestaat uit een mix van verscheidene ingrediënten zoals wetgeving, legale uitvoering van de wetgeving, een antinamaak beleid en technologische maatregelen. Legale kwesties en antinamaak beleid zijn zeer belangrijk, maar zijn voor deze studie niet relevant. In wat volgt ligt de focus op de technologische oplossingen (Auto-ID Labs, 2005a).

Bedrijven gebruiken steeds meer technologieën om hun producten en hun merk te beschermen. In het verleden was dit niet het geval, hoofdzakelijk omdat er een beperkt

aanbod aan geschikte technologieën voor handen was. Tevens hadden de meeste bedrijven de perceptie dat zulke technologische maatregelen niet kosteneffectief waren. Deze trend is echter doorbroken en bovendien ondervinden bedrijven in stijgende mate hinder van namaak. Zo zijn bedrijven de potentie en de dalende kosten van antinamaak technologieën beter gaan inzien (Auto-ID Labs, 2005a).

De beschikbare technologieën van vandaag kunnen onderverdeeld worden in optische, biologische en chemische, en elektronische technologieën (Auto-ID Labs, 2005a).

Optische antinamaak technologieën

Optische antinamaak technologieën zijn alomtegenwoordig. Belangrijkste voorbeeld zijn de hologrammen. In het begin was het gebruik van hologrammen als beveiliging succesvol omdat ze een sterke visuele aantrekkingskracht hadden. Tevens was ze namaken enkel mogelijk mits grote investeringen. Vandaag is de uitrusting om hologrammen te maken goedkoop geworden en vormen de investeringskosten geen al te grote barrière meer voor het namaken van hologrammen. Bovendien geven consumenten de dag van vandaag minder aandacht aan hologrammen dan in het verleden vermits ze op grote schaal gebruikt worden. Er bestaat een brede waaier van andere optische antinamaak technologieën, zoals retro-reflectieve materialen en grafische authenticiteittekens (geprint door microprinttechnologieën).

Biologische antinamaak technologieën

Biotechnologie valt steeds meer in de smaak als antinamaak maatregel, hoofdzakelijk ten gevolge van een verbeterde kennis van de unieke eigenschappen van proteïnes, enzymen en DNA. Zo voegen producenten zulke chemicaliën in lage concentraties toe aan producten, zoals medicijnen of drank. Ze kunnen vervolgens door middel van verklikkers, die op deze chemicaliën reageren, nagaan of de producten authentiek zijn.

De gebreken bij de bestaande oplossingen

Het gebrek bij de optische en biologische antinamaak technologieën is de lage graad van automatisering bij het controleren van de productauthenticiteit. Dit maakt controles op grote schaal moeilijk uitvoerbaar. Tevens is belangrijk te weten dat zulke maatregelen nooit gedurende een lange tijd garantie bieden. De eens zo innovatieve en effectieve hologrammen bijvoorbeeld zijn kwetsbaar geworden, omdat er in stijgende mate nagemaakte hologrammen van zeer hoge kwaliteit opduiken. Toch zijn de internationale kamer van koophanden en het “Counterfeiting Intelligence Bureau” ervan overtuigd dat anti-namaak technologieën zowel het risico op als de grootschaligheid van namaak aanzienlijk kan verminderen. Het doel is een technologie te ontwikkelen die (Auto-ID Labs, 2005a):

- voor vervalsers moeilijk is om te reproduceren;
- voor vervalsers financieel onaantrekkelijk is te reproduceren;
- de productauthenticiteit automatisch kan verifiëren;
- kosteneffectief is om op elk product aan te brengen.

3.5.3 Siliciumgebaseerde RF-tags

Traditionele siliciumelektronica en RFID hebben de potentie om dit doel te bereiken, maar hun kostprijs laat momenteel nog niet toe elk product van een antinamaak RF-tag te voorzien.

Oplossingen die vallen onder deze categorie kunnen gaan van zeer eenvoudige automatische identificatietechnologieën, gebaseerd op tags met een simpele unieke code, tot volledige track & trace netwerken met RF-tags die de EPC bevatten. In het eerste geval geeft de code gewoon uitsluitsel of het product al dan niet echt is. In het tweede geval biedt het netwerk additionele informatie over de weg die het product heeft afgelegd alvorens de consument te bereiken. Deze laatste vorm van antinamaak biedt dus meer garantie (Auto-ID Labs, 2005a).

Zowel wat betreft verschijning als functionaliteit zijn RF-tags extreem moeilijk na te maken. Zoals ondertussen geweten kunnen RF-tags, hetzij eenvoudig of meer complex, automatisch uitgelezen worden door middel van radiogolven. Het enige nadeel van de siliciumgebaseerde RF-tags is momenteel hun kostprijs. De meest eenvoudige RF-tags hebben een prijs die schommelt tussen de tien en twintig eurocent. De meer geavanceerde RF-tags hebben een prijs die tussen de dertig en vijftig eurocent ligt (Auto-ID Labs, 2005a).

3.5.4 Geprinte elektronica als antinamaak technologie

Het grootste potentieel voor antinamaak technologie is misschien wel weggelegd voor geprinte elektronica. De verschillende organisaties die geprinte elektronica ontwikkelen, schuiven allemaal productauthenticiteit en merkbescherming naar voren als een van de belangrijkste toepassingsgebieden voor geprinte elektronica. Dit bevestigt ook Wolfgang Mildner van PolyIC.

De directeur van PolyIC, en tevens de voorzitter van Organic Electronics Association VDMA, beseft dat namaak een enorm probleem is in de Westerse wereld en ziet antinamaak dan ook als een zeer interessante markt. De eerste geprinte RF-tags, die PolyIC op de markt zal brengen, zijn daarom ook bestemd voor productauthenticiteit en merkbescherming. Deze eerste geprinte RF-tags zullen niet voldoen aan de eisen van een track & trace systeem en zullen geen EPC bevatten. De tags zullen slechts enkele bits informatie bevatten en op een eenvoudige manier zeggen of het product al dan niet onvervalst is. Zie deze geprinte tags dus als een zeer eenvoudige elektronische beveiliging die automatisch uitgelezen kan worden. Vermits de technologie van geprinte elektronica zelf nog volop in ontwikkeling is, bestaat er de eerstkomende tien jaren zeker nog geen gevaar voor eventueel nagemaakte geprinte tags. Wat betreft de introductieprijzen van deze eerste geprinte tags, wou Wolfgang Mildner helaas niets kwijt. Maar er mag verondersteld worden dat deze beneden de tien eurocent zal liggen.

Hoofdstuk 4: Marktanalyse

4.1 Itemniveau RFID

4.1.1 De markt voor RFID op itemniveau vandaag en morgen

RFID op itemniveau verwijst naar de kleinst mogelijke producteenheden, die van een tag worden voorzien. Het taggen van items komt meer voor dan sommigen denken. In 2006 waren 200 miljoen items van een tag voorzien en vanaf 2007 zullen RFID-systemen op itemniveau de grootste RFID-markt (in waarde) vormen. Vooral de kleding-, boeken-, en geneesmiddelensector voorzien vandaag hun waardevolle items van een tag. Het aantal gebruikte tags op itemniveau zal in 2016 stijgen tot een geschatte 550 miljard, aldus IDTechEx. De waarde van verkochte RF-tags op itemniveau daarentegen zal evolueren van 160 miljoen dollar in 2006 naar een geschatte 11 miljard dollar in 2016. Merk op dat de gemiddelde prijs per tag in 2006 op 80 dollarcent lag, terwijl IDTechEx deze in 2016 op ongeveer 2 dollarcent schat (ElAmin, 2007; IDTechEx, 2006a, 2006b, 2006e).

JAAR	AANTAL ITEMTAGS	TOTALE MARKTWAARDE	GEMID PRIJS/TAG
2006	200 MILJOEN TAGS	160 MILJOEN DOLLAR	80 DOLLARCENT
2016	550 MILJARD TAGS	11 MILJARD DOLLAR	2 DOLLARCENT

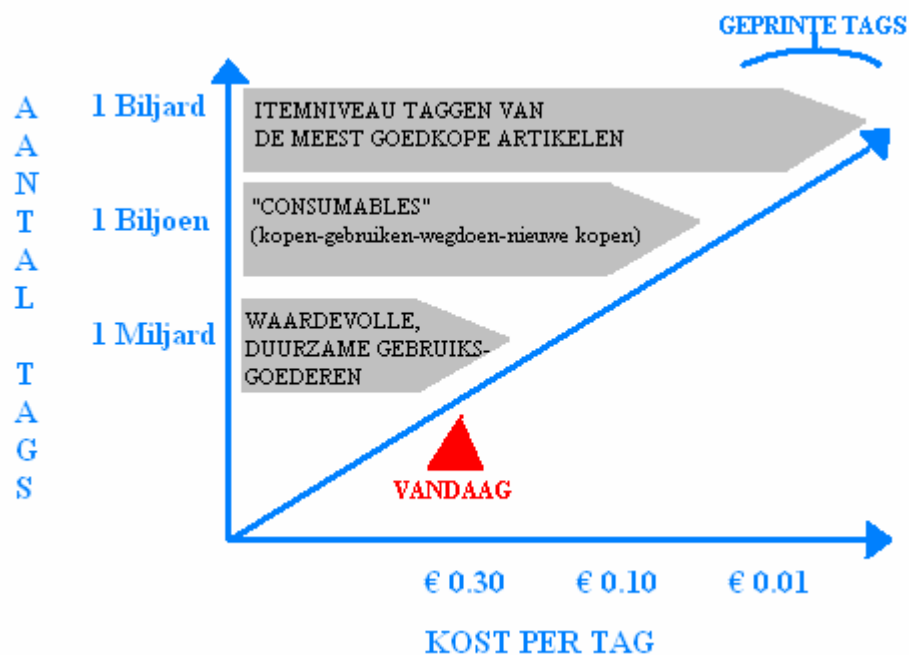
Tabel 3: Marktevolutie van tags op itemniveau

Dit verschil in gemiddelde prijs per tag is afhankelijk van twee factoren, met name:

- *technologische vooruitgang*: deze zal de producenten van RF-tags in staat stellen te produceren tegen lagere eenheidskosten;
- *schaalvoordelen*: naarmate de eenheidskost van de tag daalt ten gevolge van de technologische vooruitgang, komen meer artikelen in aanmerking om te worden

voorzien van een tag. De vraag naar RF-tags, en dus ook de productie, zal stijgen, zodat de eenheidskosten verder dalen ten gevolge van productieschaalvoordelen.

Hoewel er in 2006 reeds 200 miljoen itemtags werden gebruikt, is het marktpotentieel vandaag veel groter. Bij een kost van 30 cent per tag, komen er immers vijf keer zoveel items in aanmerking om van een tag te worden voorzien. Het gaat dan vooral om duurzame gebruiksgoederen. Naarmate de eenheidskost van de tag nog verder daalt, opent dit nieuwe perspectieven en komen steeds meer te taggen artikelen in aanmerking. Het uiteindelijke doel van de producenten en ontwikkelaars is de eenheidskost van de tag te doen dalen tot enkele cents zodat de sector met het grootste potentieel, de retail van verpakte en snel bewegende consumentengoederen, ook zijn items kan voorzien van een tag.



Grafiek 4: Marktpotentieel voor RFID op itemniveau (PolyIC, 2006b)

4.1.2 De rol van de farmacie

De farmaceutische sector bezit een unieke combinatie van kenmerken, die verschilt van elke andere industrie. Dit vertaalt zich in het snel vertegenwoordigd zijn van RFID in de sector.

IDTechEX en RFID-Journal beschouwen de farmacie als de sector waarin RFID op itemniveau het eerst grootschalig zal worden toegepast. Bijgevolg zal de farmaceutische industrie de RFID-specificaties, waarop toekomstige logistieke toepassingen in de andere sectoren een beroep zullen doen, bepalen. Tevens zal, eenmaal de farmacie RFID op itemniveau succesvol op grote schaal heeft toegepast, er zich een domino effect voordoen. De farmaceutische waardeketen is immers sterk gerelateerd aan deze van de verpakte en snel bewegende consumentengoederen en de retail in het algemeen. Uit onderzoek van “VDC’s 2006 RFID Business Planning Service” blijkt zelfs dat de meerderheid (meer dan 65 procent) van deze sectoren wacht op de resultaten van de farmaceutische sector alvorens de technologie zelf te implementeren. Veel van de bedrijven in die sectoren voeren reeds RFID-pilots op itemniveau uit, maar weten dat het te snel toepassen van niet-compatibele RFID-systemen kan leiden tot additionele kapitaalinvesteringen en integratiekwesties. De bovenaangehaalde unieke combinatie bestaat uit de volgende kenmerken (Nathanson, 2006):

- Medicijnen worden nu eenmaal ingenomen door de kwetsbare en kopieën zijn van minderwaardige kwaliteit of zelfs giftig en hebben vaak de dood tot gevolg.
- Slechts kleine hoeveelheden van nagemaakte producten kunnen het farmaceutische merk aanzienlijk aantasten en de morele of politieke debatten hoog doen opblazen.
- Wanneer er iets mis is met bepaalde producten, moet de geneesmiddelenproducent terugroepingen uitvoeren. Deze terugroepingen moeten volgens strikte procedures verlopen omwille van het hoge gezondheidsrisico in geval van minderwaardige producten.
- Met zijn hoogwaardige geneesmiddelen is de farmaceutische sector zeer winstgevend, met als gevolg dat alle partners in de logistieke keten sneller bereid zijn te investeren en het gemakkelijker is deze investeringen te verantwoorden.
- De farmacie is een grootvolume markt zodat de productieschaalvoordelen, die leiden tot lagere eenheidskosten van de tag, tot hun recht kunnen komen.
- De farmaceutische industrie is gedreven door de plicht aan verscheidene regels te voldoen, waardoor bedrijven in deze sector sneller overgaan tot de implementatie van technologieën. Zo heeft de FDA (Food and Drug Administration) aanbevolen alle

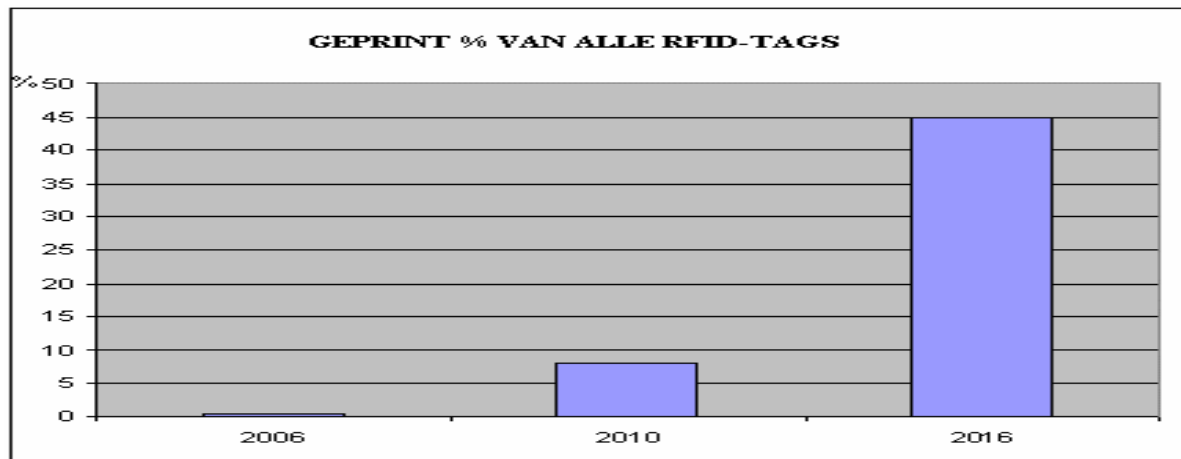
voorgeschreven geneesmiddelen op de Amerikaanse markt te voorzien van een tag op itemniveau.

Hoewel het nog even zal duren vooraleer elk farmaceutisch bedrijf hieraan zal voldoen, hebben sommigen reeds het goede voorbeeld gegeven. 's Werelds grootste geneesmiddelenbedrijf Pfizer heeft bijvoorbeeld als eerste, sinds december 2005, RF-tags aangebracht op alle pakjes Viagra, met als doel hun authenticiteit te kunnen verifiëren (Nathanson, 2006).

4.2 Geprinte elektronica

Vandaag zijn alle, op itemniveau gebruikte, tags op silicium gebaseerd. Op lange termijn zullen deze tags eerder geen siliciumchip bevatten. Er zijn andere technologieën nodig om de lage eenheidskosten, vereist voor het taggen van de meest goedkope artikelen, te bereiken. Zo beweert Dr. Colin Marsh of The Technology Partnership dat de hoofdvraag niet is of geprinte elektronica onze wereld zal veranderen, maar wanneer dat zal gebeuren. Hij is ervan overtuigd dat ontwikkelaars zeker ooit een geprint RFID-label van één eurocent zullen realiseren. IDTechEx gaat zelfs een stap verder en heeft de penetratiegraad van geprinte elektronica in de RFID-markt voorspeld. Zo zegt Raghu Das, Chief Executive van IDTechEx, dat in 2010 acht procent van alle RF-tags geprint zullen zijn. Voor 2016 schat hij dit percentage op 45 procent (IDTechEX, 2006c, 2006e).

Het is bijgevolg niet verwonderlijk dat fabrikanten van grootvolume printmachines, zoals MAN Roland en Kurz, zeer sterk geïnteresseerd zijn in de geprinte elektronica wereld. Er wordt immers steeds minder een beroep gedaan op de traditionele printindustrie door de opkomst van het internet en andere mediatechnologieën (IDTechEX, 2006d).



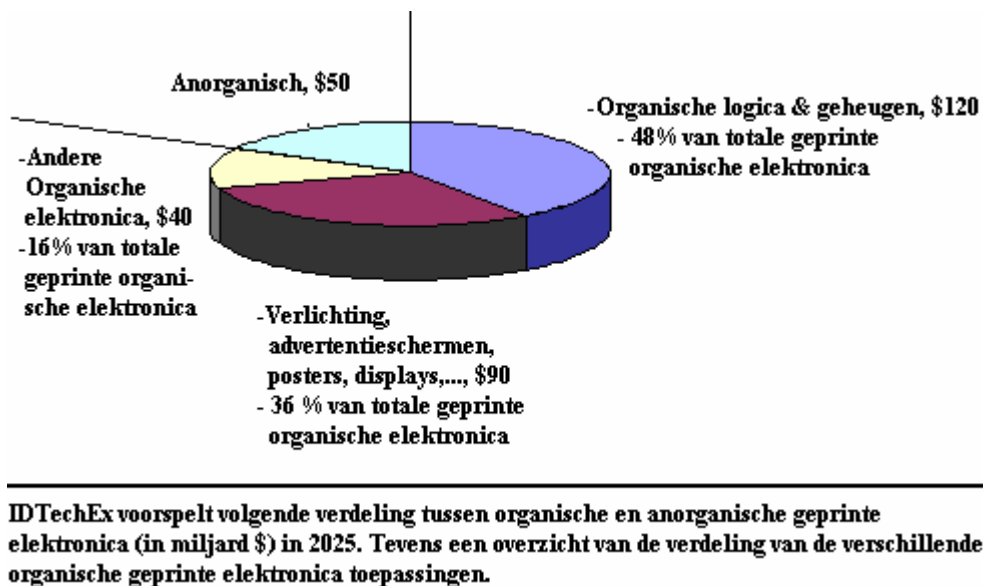
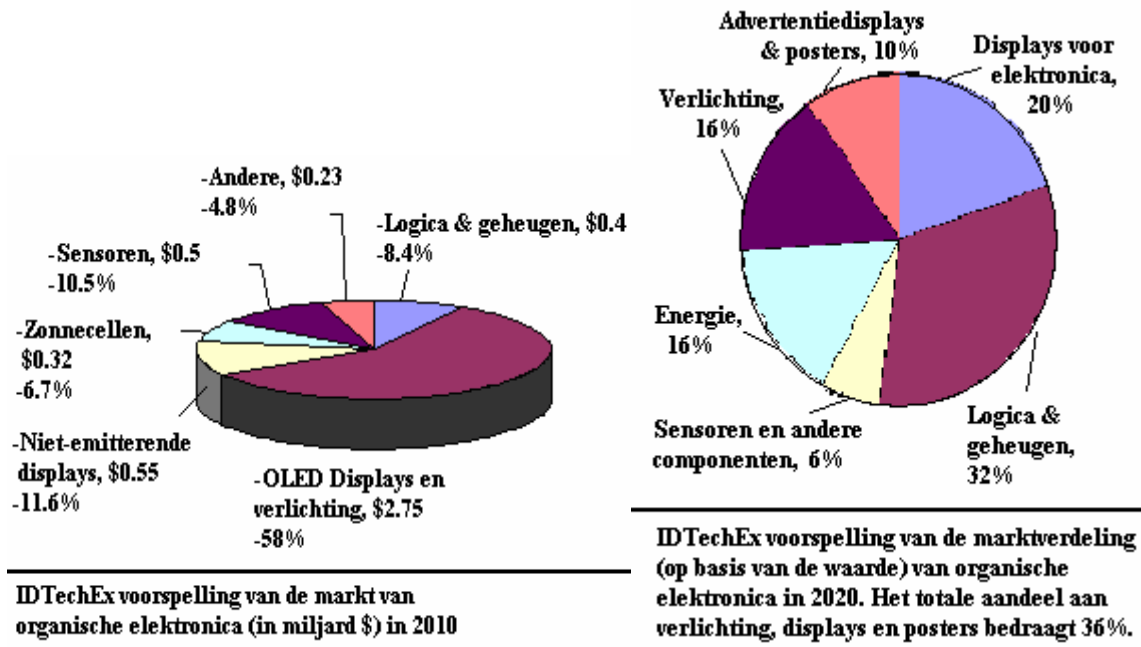
Grafiek 5: Penetratiegraad van geprinte elektronica in de RFID markt (IDTechEx, 2006c)

4.2.1 Organische elektronica

Onderzoek van IDTechEx wijst uit dat de markt voor organische elektronica in 2010 4,75 miljard dollar zal bedragen. In 2015 zal dit 30 miljard dollar zijn. Het rapport geeft ook aan dat deze waarde zou kunnen oplopen tot 250\$ miljard in 2025. Merk op dat deze evolutie niet lineair maar exponentieel is. In 2025 zullen bijna al deze producten geprinte flexibele dunne film constructies zijn, daar de ontwikkelaars van organische elektronica printen als einddoel voor ogen hebben (IDTechEx, 2005b, 2005c). Dit is ook het geval bij IMEC, aldus Jan Genoe. Toch moeten de producenten van de siliciumchip niet vrezen. Organische elektronica zal de verkoop van siliciumchips de komende vijftien jaar niet aantasten. Organische en geprinte elektronica zullen immers nieuwe markten aanboren.

Het overgrote deel van de geprinte elektronica zal organisch zijn, maar toch mag het anorganische aandeel niet uit het oog verloren worden, zoals grafiek 6 aantoont. In 2010 zullen meer dan de helft van de organische elektronica toepassingen voorkomen in de vorm van displays, licht, advertentieschermen en posters. Naarmate de jaren verstrijken, zal het aandeel logica & geheugen groeien om in 2025 48 procent van alle organische elektronica toepassingen voor zijn rekening te nemen. Onder logica & geheugen worden transistors, die bewerkingen kunnen uitvoeren of gegevens kunnen opslaan, verstaan. Een voor de hand

liggend voorbeeld van logica & geheugen zijn RF-tags voor productauthenticiteit en tracking & tracing (IDTechEx, 2005b, 2005c).



Grafiek 6: De voorspelde markt voor organische en geprinte elektronica (IDTechEx, 2005b, 2005c)

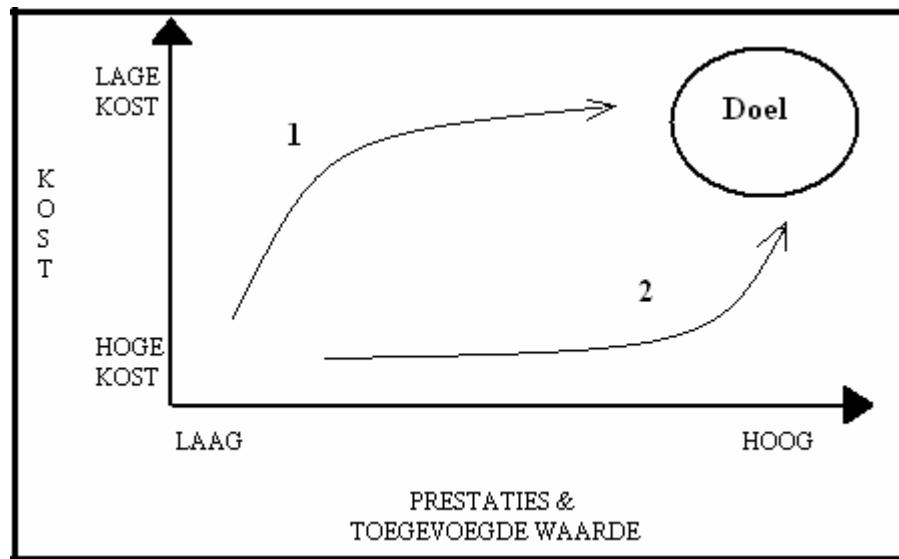
4.3 Roadmap

Voor het ontwikkelen en het op de markt lanceren van geprinte elektronica, kunnen onderzoekers, volgens Jan Genoe van IMEC en Gerwin Gelinck van het Holst Centre, twee paden bewandelen. Zowel het start- als het eindpunt zijn hetzelfde:

- *het startpunt*: kennis van dure standaard productieprocessen en goedkopere alternatieve halfgeleiders, die beperkte prestaties bieden;
- *het eindpunt*: het produceren en op de markt brengen van elektronicacircuits die goede prestaties leveren, een hoge toegevoegde waarde bieden en zo weinig mogelijk kosten.

De twee paden zien er als volgt uit:

- *Pad één*: PolyIC, een joint venture tussen Siemens en Kurz, bewandelt dit pad. Zij proberen in de eerste plaats de kosten zo snel en zo veel mogelijk te verlagen. Vermits Kurz een fabrikant van printmachines is, heeft PolyIC printprocessen geïntroduceerd om dit doel te bereiken en om elektronische circuits, die zo goedkoop mogelijk zijn en waar de prestaties en toegevoegde waarde van ondergeschikt belang zijn, te printen. Eenmaal erin gelaagd elektronische circuits te printen tegen een kost die zij voldoende laag vinden, gaat PolyIC in een tweede stap werken aan het verbeteren van de prestaties en de toegevoegde waarde van hun elektronische circuits. Dit zal de visie van PolyIC echter niet veranderen. PolyIC zal zich blijven profileren als een ontwikkelaar van lage kost technologie.
- *Pad twee*: Bedrijven zoals Philips, IMEC, Holstcentre en Polymer Vision bewandelen dit pad. Hun eerste doel is op basis van alternatieve halfgeleiders hoogwaardige elektronische producten, die goede prestaties leveren en veel toegevoegde waarde bieden, te ontwikkelen. Vervolgens gaan ze op zoek naar productiemogelijkheden om de productiekosten te doen dalen. Het printen van deze producten komt dan naar voor als mogelijke oplossing.



Grafiek 7: De paden voor ontwikkelaars

PolyIC bewandelt zeer bewust pad één. Dit uit zich vooral in de manier waarop ze plannen wanneer ze welke producten zullen lanceren en voor welke markt deze producten bedoeld zijn. Zo zal het eerste product, dat PolyIC plant eind 2007 op de markt te brengen, zeer eenvoudig en beperkt qua prestaties zijn. Het gaat hier om een geprinte RF-tag, die slechts enkele bits informatie bevat. De nadruk zal hoofdzakelijk liggen op de lage eenheidskosten. Met deze geprinte RF-tag beoogt PolyIC de markt van de merkbescherming en productauthenticiteit te betreden. In deze markt kunnen immers zeer eenvoudige tags reeds veel toegevoegde waarde bieden.

In een volgende fase hoopt PolyIC tegen 2010 een RF-tag op de markt te brengen, die betere prestaties voor de dag kan leggen, zal voldoen aan de eerste standaarden en zal gebruikt worden voor eenvoudige track & trace systemen. Het uiteindelijke doel van PolyIC is een geprinte RF-tag te produceren, die de EPC-code bevat, kan ingezet worden in doorgedreven track & trace systemen en slechts enkele cents zal kosten.

Er is echter één groot nadeel verbonden aan het eerste pad. Het uiteindelijke doel van PolyIC is het printen van RF-tags voor tracking & tracing die slechts één of twee cent zullen kosten. Bijgevolg zullen zij enorme grote aantallen moeten produceren alvorens de kosten te kunnen dekken en ook werkelijk een beetje winst te maken.

De bedrijven die pad twee bewandelen, kiezen hier ook zeer bewust voor. Hun eerste doel is nieuwe, op organische elektronica gebaseerde producten, die goede prestaties leveren en een hoge toegevoegde waarde bieden, op de markt brengen. Bijgevolg kunnen de bedrijven ook hogere prijzen vragen zodat ze voldoende winst maken. De eerste producten die via dit pad op de markt zullen komen, zijn de oprolbare displays van Philips. Deze zullen in eerste instantie niet geprint zijn, maar dit is wel het uiteindelijke doel.

Hoofdstuk 5: Frequenties, wetgeving en standaarden

5.1 Frequentiebanden

De RF-tag en de RF-lezer communiceren met elkaar via radiogolven, zoals reeds aangehaald in puntje 3.2.2. Deze radiogolven maken deel uit van het elektromagnetische spectrum. Het elektromagnetische spectrum bestaat uit volgende gebieden: radiogolven, microgolven, infrarode straling, zichtbaar licht, ultraviolet licht, röntgenstraling en gammastraling (Thinkquest, 2007).



Figuur 24: Het elektromagnetische spectrum (Thinkquest, 2007)

Gewoonlijk worden RFID-systemen ingezet in vier hoofdcommunicatie- of hoofdfrequentiebanden. Deze frequentiebanden hebben elk hun voor- en nadelen. De vier frequentiebanden zijn (IDTechEx, 2006f; VIL, 2004):

- lage Frequentie (LF) 125 - 135 KHz;
- hoge Frequentie (HF) 13.56 MHz;
- ultra Hoge Frequentie (UHF) 868-930 MHz;
- microgolf (μ W) 2.45 GHz.

5.1.1 Frequentieafhankelijke factoren

Afhankelijk van de frequentie waarop de tag en de lezer met elkaar communiceren, verschillen de overdrachtssnelheid, het leesbereik en de tolerantie voor omgevingsfactoren (Chorhummel, Jarman & Paglia, 2005; IDTechEx, 2006f; IEEE, 2005; VIL, 2004).

Snelheid van dataoverdracht

In paragraaf 2.2 werd reeds gesteld dat de prestaties van elektronica circuits uitgedrukt worden in functie van de frequentie. De frequentie bepaald de snelheid waarmee het circuit werkt en data overdraagt. Hoe hoger de frequentie hoe sneller de dataoverdracht. De lage frequenties LF en HF beschikken bijgevolg over een trage dataoverdracht. Daarentegen dragen de UHF en de 2.45 GHz microgolf data sneller over.

Leesbereik

Een andere, frequentieafhankelijke factor is het leesbereik. De lage frequenties beschikken over een beperkt leesbereik. Zo hebben de tags, die opereren bij LF, een leesbereik van enkele centimeters tot maximaal één meter. Voor de HF-tags reikt deze afstand van enkele centimeters tot maximaal anderhalve meter. De UHF frequentieband realiseert het grootste leesbereik. Lezers kunnen op deze frequentie actieve tags uitlezen van op driehonderd meter, voor de passieve tags kan dat van op een afstand van twee tot vier meter. Het leesbereik voor μ W-band tenslotte bedraagt ongeveer één meter voor de passieve RF-tags en tien meter voor de actieve.

Tolerantie voor omgevingsfactoren zoals metalen en water

Tags die communiceren op een hoge frequentie, zoals UHF en μW , ondervinden hinder wanneer er vloeistoffen in de buurt zijn. Vloeistoffen, zelfs doorzichtige zoals water, absorberen deze hoge signalen zodat een optimale oriëntatie van de tag ten opzichte van de lezer is vereist opdat de lezer het signaal kan lezen. De lage LF en HF frequenties ondervinden hiervan geen hinder.

Alle frequenties lopen het risico dat metaal hun signalen reflecteren zodat de lezer de gewenste tags niet kan uitlezen. Deze invloed van metaal neemt wel af naarmate de frequentie daalt. De hogere frequenties, zoals de UHF en de μW , zijn dus het gevoeligst voor deze omgevingsfactor.

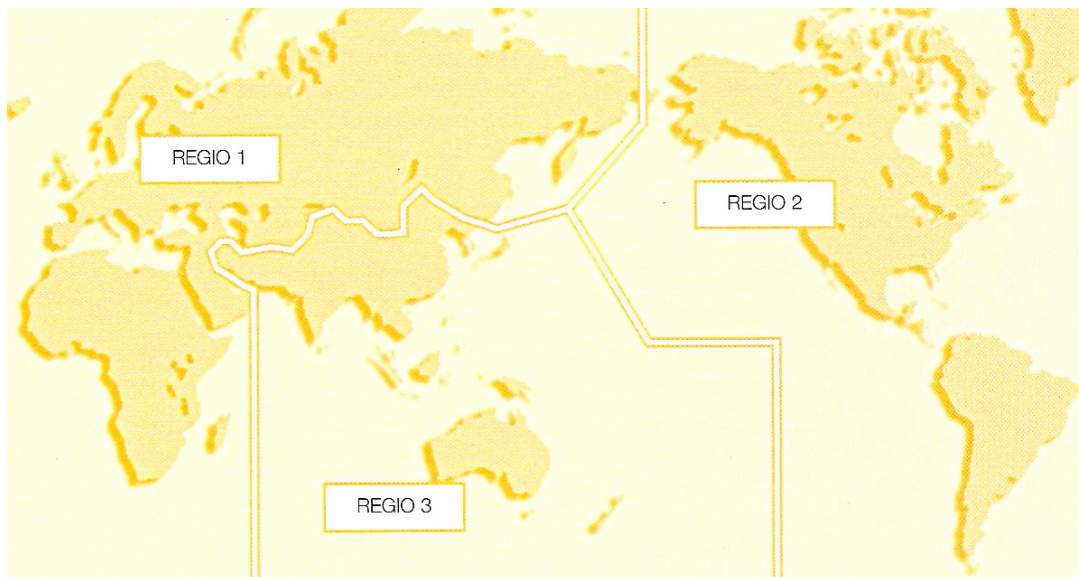
5.1.2 Toepassingen in functie van de frequentieband

Dat de bepaalde factoren verschillen per frequentieband heeft tot gevolg dat elke frequentieband zijn specifieke toepassingen kent. Zo worden LF-tags reeds lang gebruikt bij toegangscontroles en de opvolging en identificatie van dieren. Bibliotheken en luchthavens passen voor het opvolgen van boeken en het opsporen van vliegtuigbagage gewoonlijk HF-tags toe. Het grotere leesbereik van de UHF-tags, maakt ze uitermate geschikt voor toepassingen in de logistieke keten op pallet- en kistniveau. De RF-tags, die opereren bij μW , zijn ideaal voor het lezen van grote en waardevolle voorwerpen met een hoge snelheid, vermits ze beschikken over de snelste dataoverdracht. Voorbeelden zijn auto's, treinen of containers (VIL, 2004).

5.2 Wetgeving en standaarden

5.2.1 Wetgeving

Elke nieuwe technologie dient zich binnen de van kracht zijnde wetgeving te ontwikkelen. Gezien RFID werkt met radiogolven, moet het zich houden aan wetgevende regels zoals de bewaking van het frequentiespectrum en de opsplitsing van de frequentiebanden. Zo is het frequentiespectrum op wereldniveau opgedeeld in drie regio's, die elk hun eigen standaarden hebben en waar andere organisaties instaan voor de bewaking.



Figuur 25: Opsplitsing van het frequentiespectrum op wereldniveau (VIL, 2004)

Tevens ligt de opsplitsing van de verschillende frequentiebanden per regio (Europa, Verenigde Staten en Japan) vast. Uit tabel 4 kan afgeleid worden dat de LF- en HF-frequentieband wereldwijd geaccepteerd zijn. De UHF-band, die eveneens relevant is voor logistieke toepassingen, is voor de drie regio's verschillend (VIL, 2004).

FREQUENTIE	REGIO 1 - EUROPA	REGIO 2 - VS	REGIO 3 - JAPAN
LF	125 - 134 KHz	125 - 134 KHz	125 - 134 KHz
HF	13.56 MHz	13.56 MHz	13.56 MHz
UHF	865 - 868 MHz	902 - 928 MHz	950 - 956 MHz
Microgolf	2.45 GHz	2.45 GHz	2.45 GHz

Tabel 4: De frequentiebanden per regio (VIL, 2004)

5.2.2 Standaarden

Voor de verspreiding van de RFID-technologie is de beschikbaarheid van open en uniforme standaarden cruciaal. De samenwerking tussen partners in de keten verloopt immers veel vlotter indien ieder met dezelfde standaarden werkt. Vandaag zijn de meest voorkomende RFID-implementaties “closed loop” toepassingen, dat wil zeggen toepassingen binnen één enkel bedrijf of tussen een beperkt aantal partners. In dit geval zijn open en uniforme standaarden niet noodzakelijk, is informatie enkel uitwisselbaar tussen bedrijven van dezelfde “closed loop” en bestaat het gevaar dat elke partij voor een eigen RFID-technologie dreigt te kiezen. Vele RFID-systemen zijn immers leveranciersspecifiek en dat levert problemen op. Zo werken bepaalde tag- en lezertypes onderling perfect samen, maar zijn ze niet compatibel met andere. Om deze problemen te vermijden en ten volle van een RFID-systeem te profiteren, is een uniforme manier van communicatie noodzakelijk (VIL, 2006).

Voor de logistieke sector zijn er enkele belangrijke standaarden, die de doorbraak en de verspreiding van RFID bespoedigen. Zo zijn er de EPC (Electronic Product Code), de ISO 18000 en de GEN 2 standaard. De EPC en de ISO 18000 zijn weliswaar los van elkaar ontstaan, maar groeien momenteel naar elkaar toe. Deze standaarden zorgen ervoor dat op een uniforme manier kan worden gecommuniceerd tussen RF-tag en RF-lezer (VIL, 2006).

ISO 18000

De ISO 18000 is een technologiestandaard. Een technologiestandaard bepaalt de technische specificaties waarbinnen een RFID-technologie zich kan en mag ontwikkelen. De ISO 18000 is een belangrijke communicatiestandaard, die voor elke frequentieband de technische voorwaarden vastlegt om informatie van een RF-tag te kunnen lezen en schrijven (VIL, 2004).

GEN 2

De komst van de GEN 2 standaard zorgt ervoor dat RFID-producten van verschillende leveranciers, die GEN 2 gecertificeerd zijn, nu perfect met elkaar kunnen communiceren. Er is dus tussen de GEN 2 gecertificeerde producten dus geen sprake meer van een gebrek aan compatibiliteit. Bijgevolg kan iedere partij zijn eigen leverancier behouden, indien hij dit wenst (VIL, 2004).

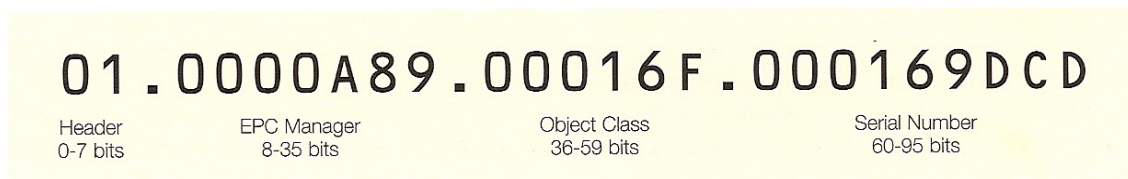
EPC

De EPC is een applicatiestandaard. Een applicatiestandaard beoogt het gebruik van RFID in bepaalde toepassingen eenvormig te maken. De Electronic Product Code of de EPC-standaard gebruikt een unieke identificatie voor elk product als standaard. Deze standaard heeft hoofdzakelijk betrekking op de inhoud van de gegevens die op de tag worden weggeschreven.

Deze EPC (96 bits versie) is opgebouwd uit de volgende delen (VIL, 2004):

- de 'header' of hoofding bevat het versienummer van de EPC (8 bits);
- de 'EPC-manager' geeft de identificatie van de maker van het product weer, zoals 'Alken-Maes' (28 bits);

- de 'object class' bevat het type product. In de meeste gevallen is dit de SKU (Stock Keeping Unit) van het product, zoals 'Cristal 330 ml blik' (24 bits);
- Het 'serial number' of serienummer is uniek voor elk product. Het identificeert bijvoorbeeld precies om welk blikje Cristal het gaat. Dit serienummer maakt het mogelijk om producten snel te kunnen vinden, bijvoorbeeld wanneer de houdbaarheidsdatum overschreden is (36 bits).



Figuur 26: Voorstelling van de EPC-code 96 bits versie (VIL, 2004)

Er bestaan EPC-codes van verscheidene groottes. Zo zijn er naast de 96-bits versie bijvoorbeeld ook varianten van 64, 128 of zelfs 256 bits. Maar toch is het de 96-bits variant die het meest frequent zal voorkomen. Deze variant heeft een identificatiecapaciteit van 268 miljoen bedrijven, 16 miljoen objecten per bedrijf en 68 miljard unieke serienummers per klasse. Deze aantallen zijn ruimschoots voldoende om alle, wereldwijd geproduceerde producten te kunnen identificeren (VIL, 2004).

5.3 De frequentie bij RFID op itemniveau en geprinte elektronica

Zoals aangehaald vormt het taggen op itemniveau vandaag de grootste RFID-markt. Er bestaat echter nog discussie over welke frequentie het meest geschikt is voor deze markt. De twee frequenties die voor taggen op itemniveau in aanmerking komen zijn de HF en de UHF (IEEE 2005; Newmark 2007).

Langs de ene kant zijn er vele bedrijven die alle logistieke toepassingen, op eender welk niveau, graag op eenzelfde frequentie zien werken. Deze frequentie is de UHF, die omwille van zijn grotere leesbereik en snellere dataoverdracht het meest geschikt is voor opvolgen van pallets en kisten en hiervoor ook de onbetwiste keuze is. Op die manier zouden bedrijven, die

nu UHF gebruiken, niet hoeven over te schakelen op een andere frequentie of niet hoeven te werken met twee verschillende systemen indien ze zouden overgaan op het taggen van items. Dit zou immers vele kosten met zich meebrengen. Zo gebruiken Walmart en Tesco de UHF voor het opvolgen van CD's, DVD's en geneesmiddelen (IEEE 2005; Newmark 2007).

Langs de andere kant zorgt de kortere leesafstand van de 13.56MHz HF ervoor dat enkel de items in de rek, waar de lezer geplaatst is, gelezen worden en niet die in de andere rekken. Tevens ondervinden HF-tags minder hinder van omgevingsfactoren, zoals metalen (bijvoorbeeld soepblikken) en vloeistoffen (bijvoorbeeld water, melk, pasta), die alomtegenwoordig zijn in een retailomgeving. Reflectie en absorptie liggen immers aanzienlijk lager bij lagere frequenties. Bovendien is de 13.56 MHz HF op internationaal gebied gestandaardiseerd, aanvaard en het meest gebruikt bij de huidige itemniveau toepassingen. De UHF-technologie is minder matuur en wereldwijd niet gestandaardiseerd. Metro en Marks & Spencer doen in hun pilots beroep op de 13.56 MHz frequentieband (IEEE 2005; Newmark, 2007).

Het netto gevolg van deze discussie leidt ertoe dat het toekomstige leven van RFID op itemniveau zich hoofdzakelijk zal afspelen op de 13.56 MHz HF, hoewel er ook druk uitgeoefend wordt om UHF oplossingen te ontwikkelen. In de farmaceutische industrie bestaan er RFID-pilots die succesvol zijn zowel bij HF als bij UHF (IEEE 2005; Newmark, 2007).

Voor geprinte RF-tags in het bijzonder zal er weinig discussie omtrent de frequentie ontstaan. Het gebruik van printprocessen en organische halfgeleidermaterialen laat immers toe enkel RF-tags te produceren die fungeren op 13.56 MHz HF. Geprinte RF-tags, die werken op een hogere frequentie, zijn tot op heden nog niet aangetoond. Wolfgang Mildner van PolyIC is er wel van overtuigd dat de 13.56 MHz HF de meest geschikte frequentie is voor RFID op itemniveau.

Hoofdstuk 6: Conclusies

6.1 Samenvattende vergelijking tussen siliciumelektronica en geprinte elektronica

Doorheen heel de thesis wordt siliciumelektronica vergeleken met geprinte elektronica op basis van parameters, zoals perceptie, kostprijs, processen, integratie, halfgeleidermateriaal, flexibiliteit en logistieke toepassingen. Onderstaande tabel vat deze globale vergelijking samen.

	SILICIUMELEKTRONICA	GEPRINTE ELEKTRONICA
Perceptie	Alomtegenwoordig, gevestigd, matuur en betrouwbaar	Nieuw, nog volop in ontwikkeling en moet zich nog volledig bewijzen
Kostprijs	Momenteel relatief duur (niet onder de vijf cent), evolutie in de toekomst is niet gekend	Goedkoop
Processen	Opeenvolging van vele verschillende processtappen wat de productie complex en tijdrovend maakt	Eenvoudige printprocessen en korte productietijden
	Productie in batches	Grote productievolumes en continu productieproces
	Circuit bestaat uit meerdere lagen, allen aangebracht door een ander proces	Circuit bestaat uit meerdere lagen, allen in één stap geprint
	Clean rooms vereist	Clean rooms enkel in fase van onderzoek en ontwikkeling
	Gevestigde, mature en goedgekende processen	Oorspronkelijk ontworpen voor het printen met visuele precisie en niet voor het printen van elektronische circuits. Processen moeten nog op punt gesteld worden, maar dus nog progressie mogelijk.
	Processen kunnen makkelijk de gewenste kanaallengte voorzien	Moeilijk de gewenste kanaallengte te voorzien
	Productie van siliciumelektronica is duur	Het printen van elektronica is goedkoop

Integratie	Interne integratie van andere componenten mogelijk maar kostelijk, bijgevolg componenten extern verbinden	Interne integratie van andere componenten eenvoudig en tegen lage kost
	Externe verbinding met andere componenten: fragiel, meer kans op fouten, extra processtappen	Externe verbinding niet nodig
	Rechtstreekse integratie in verpakkingen niet mogelijk	Printen maakt rechtstreekse integratie in verpakking mogelijk
Halfgeleider materiaal	Silicium, beschikt over uitstekende mobiliteit	Hoofdzakelijk gebruik van halfgeleidende polymeren, beschikken over aanzienlijk mindere mobiliteit
Tags	Zowel actieve, passieve als semi-actieve RF-tags mogelijk	Enkel passieve RF-tags
Prestaties	Enorme prestaties, bijna alles is mogelijk	Beperkte prestaties
	Groot geheugen, EPC is mogelijk	Klein geheugen, momenteel slechts enkele bits; EPC momenteel nog niet mogelijk
	Leesbereik passieve RF-tag op HF: 1.5cm tot 1.5m	Leesbereik geprinte RF-tag op HF: momenteel 8cm
	Gelijktijdig lezen van meerdere RF-tags mogelijk	Gelijktijdig lezen van meerdere RF-tags momenteel niet mogelijk
	Alle frequenties mogelijk	Enkel LF en HF mogelijk
Flexibiliteit	Niet flexibel want verbinding siliciumchip en componenten is bros	Flexibel want alles op flexibel substraat geprint
Logistieke toepassingen	RF-tags reeds in vele logistieke toepassingen gebruikt op pallet- en doosniveau	RF-tags nog niet gebruikt in logistieke toepassingen
	In staat de meest uitgebreide track & trace en anti-namaak netwerken te ondersteunen	Eerste RF-tags zullen zeer eenvoudig zijn en bestemd zijn voor zeer eenvoudige anti-namaak netwerken
	Momenteel pilots op itemniveau voor hoogwaardige artikelen	Momenteel confidentiële pilot (PRISMA) door PolyIC
	Doel: RF-tags op itemniveau voor hoogwaardige goederen	Doel: RF-tags op itemniveau voor FMCG of CPG

Tabel 5: Vergelijking silicium en geprinte elektronica

6.2 Conclusies en vragen voor verder onderzoek

Het beheer van de logistieke keten bevat zowel het beheer van de cross supply chain activiteiten als het beheer van de individuele organisatie. Een goed beheer van de logistieke keten leidt tot voordelen (zoals minder voorraden, minder uitputting van de voorraden, snellere antwoord- en doorlooptijden, verhoogde efficiëntie, verhoogde arbeidsproductiviteit en betere klantenservice,...), die op hun beurt leiden tot betere verkopen en een vermindering van de kosten.

Van belang, om een goed beheer van de logistieke keten te ondersteunen, is visibiliteit. Visibiliteit zorgt voor al de data, die nodig is om op elk punt in de logistieke keten tijdig te weten wat er gebeurt. Visibiliteit laat bedrijven tevens toe data globaal te analyseren en sneller te reageren op kwesties die direct en indirect de goederenstroom beïnvloeden. Een essentiële component in visibiliteitsoplossingen is de technologie. Technologie verzamelt immers de data, die nodig is om de gewenste visibiliteit te bekomen en bijgevolg een goed logistiek beheer te ondersteunen, op automatische wijze.

Geprinte elektronica heeft het potentieel om in de toekomst ingezet te worden als visibiliteitstechnologie. Geprinte elektronica gebruikt organische of anorganische halfgeleiders voor het printen van laagsgewijze transistorgebaseerde elektronische circuits op dunne flexibele substraten en dit door middel van conventionele printtechnieken. Geprinte elektroniekcircuits zullen in de toekomst waarschijnlijk in staat zijn de functie van de meest eenvoudige, siliciumgebaseerde chips over te nemen in verscheidene elektronietoepassingen, zoals displays, batterijen, sensors, zonnecellen en RFID-tags. Bij geprinte elektronica ligt de prioriteit op twee kenmerken: lage kosten en flexibele circuits. De ontwikkelaars stellen hun materiaal- en proceskeuzes dan ook volledig in functie van deze kenmerken. Er zijn echter niet alleen voordelen aan deze keuzes verbonden. Zo zijn de prestaties van organische halfgeleiders aanzienlijk minder dan die van silicium en zijn printprocessen oorspronkelijk ontworpen om slechts een goede visuele precisie te bekomen.

Geprinte elektronica bezit de potentie om als visibiliteitstechnologie ingezet te worden in volgende toepassingen:

- geprinte RF-tags voor het automatisch identificeren van items zodat informatie, wat betreft de “specificaties” van het product, bekomen wordt;
- geprinte intelligente verpakkingen (RF-tags uitgebreid met een sensor), die in staat zijn informatie omtrent de “staat” van het product te genereren;
- geprinte RF-tags voor het beschermen van de merken en het controleren van de productauthenticiteit.

De basis van al deze toepassingen is dezelfde, met name RFID. De voordelen van RFID nemen toe naarmate de graad van nauwkeurigheid stijgt en meer opeenvolgende spelers in de logistieke keten het toepassen. Wanneer een individueel product bijvoorbeeld van een RF-tag voorzien is, biedt dit immers veel meer mogelijkheden dan wanneer enkel de pallet of doos opgevolgd wordt. Vermits elke tag een unieke identificatie bevat, zal elk artikel afzonderlijk geïdentificeerd kunnen worden. Dit brengt enkele potentiële voordelen (zoals automatische kassa, automatische ordercontrole op itemniveau, traceerbaarheid van individueel product, voorkomen van diefstal, nieuwe vormen van kwaliteitsbewaking, automatische voorraadcontrole in de rekken, hogere productbeschikbaarheid in de rekken, productauthenticiteit, toestandcontrole van individueel product,...) met zich mee. Omwille van deze voordelen is de interesse in RF-tags (hetzij voor automatische identificatie op itemniveau, voor intelligente verpakkingen of voor productauthenticiteit) enorm gestegen, vooral vanuit de sector van de farmacie en de retail. In deze sectoren komen de voordelen van RFID op itemniveau immers het best tot uiting.

De siliciumgebaseerde chip is vandaag alomtegenwoordig en onmisbaar is in onze samenleving. Deze chips kunnen uitstekende prestaties voorleggen en aan alle technische eisen voldoen voor RF-tags op itemniveau. Er bestaan zelfs pilots waar siliciumgebaseerde RF-tags gebruikt worden voor de identificatie van hoogwaardige items. Ze kennen echter één groot probleem. Siliciumgebaseerde RF-tags zijn vandaag niet in staat onder de drempel van

vijf eurocent per tag te duiken en een echte doorbraak van RFID op itemniveau te realiseren. Hoofdoorzaak hiervan zijn de dure verwerkings- en productieprocessen van de siliciumchip.

In deze doorbraak van RFID op itemniveau speelt de farmaceutische sector ook een belangrijke rol. Deze sector bezit immers een unieke combinatie van kenmerken, zoals hoogwaardige geneesmiddelen, grote volumes, grote winstmarges en strenge reglementeringen. Deze unieke combinatie van deze kenmerken maakt de sector bijzonder interessant voor RFID-toepassingen op itemniveau. Hier zijn de retailsector en de sector van de verpakte en snelbewegende consumentengoederen zich van bewust. Dit uit zich in het feit dat de meerderheid van de organisaties uit deze sectoren beweren te zullen wachten op de implementatie en de resultaten van RFID-systemen in de farmaceutische sector alvorens zelf over te gaan op het toepassen van RFID-systemen op itemniveau.

De ontwikkelaars van geprinte elektronica beseffen dat de interesse in identificatie op itemniveau groot is en er nood is aan een laagkostende RF-tag. Zij spelen bijgevolg in op deze behoefte en hun einddoel is het ontwikkelen van een geprinte RF-tag, die zowel aan de technische vereiste als aan de kostenvereiste zal voldoen. Bovendien zijn de vooraanstaande fabrikanten van grootvolume printmachines zeer sterk geïnteresseerd in geprinte elektronica en ondersteunen ze de ontwikkeling ervan.

De grote vraag is of geprinte elektronica dit einddoel, een geprinte RF-tag die de 96-bits EPC code kan opslaan en slechts enkele cents kost, werkelijk zal bereiken en zo in staat zal zijn uitgebreide RFID-netwerken te ondersteunen. Tot op heden zijn enkel geprinte RF-tags, die op de gestandaardiseerde 13.56 MHz frequentie werken en slechts één bit geheugen bevatten, aangetoond. Eind 2007 zullen de eerste geprinte RF-tags, die op de 13.56 MHz frequentie zullen functioneren en enkele bits geheugen zullen bevatten, op de markt komen. Deze tags zullen slechts over een leesbereik van minder dan tien centimeter beschikken en niet tegelijkertijd uitgelezen kunnen worden. De ontwikkelaars mikken met deze eerste geprinte RF-tags op de markt van de merkbescherming en de productauthenticiteit.

Naast de vraag of de ontwikkelaars van geprinte elektronica hun doel zullen bereiken tegen de beoogde periode van 2012-2015, bestaat er de vraag in welke mate een nieuwe technologie in staat is de concurrentie aan te gaan met de siliciumtechnologie. Siliciumelektronica is alomtegenwoordig, gevestigd, matuur en betrouwbaar. De technologie van geprinte elektronica daarentegen is nog volop in ontwikkeling, moet nog groeien, matuur worden en zich nog volledig bewijzen. Hoe geprinte elektronica zich in de toekomst verder ontwikkelt, zal een verrassing voor iedereen zijn. Bovendien zijn de meningen verdeeld over het feit of de technologische vooruitgang en enorme jaarlijkse productievolumes het ooit mogelijk zullen maken laagkostende (lager dan vijf cent) siliciumgebaseerde RF-tags te produceren. Er kan dus niet met zekerheid gezegd worden dat de siliciumindustrie hierin nooit zal slagen. Één ding is zeker, de siliciumindustrie zal alleszins al het mogelijke doen om dit doel te bereiken. Indien de siliciumindustrie hierin slaagt, zal het in staat zijn de hype rond geprinte elektronica te counteren en zelf laagkostende RF-tags aan te bieden. Tevens zal de siliciumelektronica het voordeel hebben oplossingen op zowel de HF als de UHF te kunnen aanbieden. De prestaties van geprinte elektronica laten immers toe enkel RF-tags, die werken op de 13.56 MHz HF, te printen.

Een laatste belangrijke vraag is de volgende: Hoe groot zijn de slaagkansen van een technologie, die door zijn ontwikkelaars naar voren geschoven wordt als lage kost technologie? De ontwikkelaars willen immers tags op de markt brengen die slechts enkele cents kosten. Alvorens de kosten te kunnen dekken en ook werkelijk een beetje winst te maken, zullen de ontwikkelaars van geprinte elektronica dus enorm grote aantallen moeten produceren.

Lijst van geraadpleegde werken

About Inventors (2006) 'The Invention of the Integrated Circuit or Chip' (online) (geraadpleegd op 13 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://inventors.about.com/library/inventors/blmicrochip.htm>>.

Add-Vision Inc (2007) 'OLED Display Technology' (online) (geraadpleegd op 10 Maart 2007). Beschikbaar op <<http://www.add-vision.com/background.php>>.

Auto-ID Center (2002a) 'Auto-ID Across the Value Chain: From Dramatic Potential to Greater Efficiency & Profit' (online) (geraadpleegd op 19 Februari 2007). Beschikbaar op <<http://www.autoidlabs.org/uploads/media/ACN-AUTOID-BC-001.pdf>>.

Auto-ID Center (2003a) 'Auto-ID in the Box: The Value of Auto-ID Technology in Retail Stores' (online) (geraadpleegd op 19 Februari 2007). Beschikbaar op <<http://www.autoidlabs.org/uploads/media/ACN-AUTOID-BC006.pdf>>.

Auto-ID Center (2002b) 'Auto-ID on Delivery: The Value of Auto-ID Technology in the Retail Supply Chain' (online) (geraadpleegd op 19 Februari 2007). Beschikbaar op <<http://www.autoidlabs.org/uploads/media/ACN-AUTOID-BC-004.pdf>>.

Auto-ID Center (2003b) 'Auto-ID on the Line: The Value of Auto-ID Technology in Manufacturing' (online) (geraadpleegd op 19 Februari 2007). Beschikbaar op <<http://www.autoidlabs.org/uploads/media/ACN-AUTOID-BC005.pdf>>.

Auto-ID Center (2002c) 'Focus on Retail: Applying Auto-ID to Improve Product Availability at the Retail Shelf' (online) (geraadpleegd op 19 Februari 2007). Beschikbaar op <<http://www.autoidlabs.org/uploads/media/IBM-AUTOID-BC-001.pdf>>.

Auto-ID Center (2002d) 'Focus on the Supply Chain: Applying Auto-ID within the Distribution Center' (online) (geraadpleegd op 19 Februari 2007). Beschikbaar op <<http://www.autoidlabs.org/uploads/media/IBM-AUTOID-BC-002.pdf>>.

Auto-ID Labs (2005a) 'Extending the EPC Network: The Potential of RFID in Anti-Counterfeiting' (online) (geraadpleegd op 14 April 2007). Beschikbaar op <<http://www.autoidlabs.org/uploads/media/AUTOIDLABS-WP-BIZAPP-012.pdf>>.

Auto-ID Labs (2005b) 'RFID Data Capture and its Impact on Shelf Replenishment' (online) (geraadpleegd op 6 Februari 2007). Beschikbaar op <<http://www.autoidlabs.org/uploads/media/AUTOIDLABS-WP-BIZAPP-015.pdf>>.

Auto-ID Labs (2006) 'The Impact of Auto-ID Technology on Process Performance – RFID in the FMCG Supply Chain' (online) (geraadpleegd op 8 Februari 2007). Beschikbaar op <http://www.autoidlabs.org/uploads/media/AUTOIDLABS_WP_BIZAPP_025.pdf>.

Chase R.B., Jacobs F.R., and Aquilano N.J. (2006) *Operations Management for Competitive Advantage with Global Cases*, New York, McGraw-Hill/Irwin.

Chorhummel, A., Jarman, M. en Paglia, L. (2005) 'An Analysis of the RFID Industry: Why is Capturing Value in this Industry so Tricky?' *Techrepublic* (online) (geraadpleegd op 25 April 2007). Beschikbaar op <<http://whitepapers.techrepublic.com.com/whitepaper.aspx?docid=164104>>.

D'Olieslaeger, M. (2006) *Industriële Technieken en Materialen: Halfgeleiders*, Hasselt, Universiteit Hasselt.

E Ink (2006a) 'Electronic Paper Displays: Technology' (online) (geraadpleegd op 12 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.eink.com/technology/index.html>>.

E Ink (2006b) 'Our Technology' (online) (geraadpleegd op 12 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.eink.com/technology/howitworks.html>>.

ElAmin, A. (2007) 'RFID analyst forecasts cheap item-level tags by 2016', *Food Production Daily* (online) (geraadpleegd op 16 April 2007). Beschikbaar op <<http://www.foodproductiondaily.com/news/ng.asp?n=73356-wal-mart-rfid-pallet>>.

Encyclopaedia Britannica (2006) 'Integrated Circuit' (online) (geraadpleegd op 13 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.britannica.com/eb/article-9106026/integrated-circuit>>.

Glasner, J. (2006) 'Solar Powers Up, Sans Silicon', *Wired* (online) (geraadpleegd op 10 Maart 2007). Beschikbaar op <<http://www.wired.com/science/discoveries/news/2006/11/72058>>.

IDTechEx (2006a) 'Printed Electronics Review: Defining RFID - A Review of RFID Forecasts' (online) (geraadpleegd op 16 April 2007). Beschikbaar op <<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000428.asp>>.

IDTechEx (2004a) 'Printed Electronics Review: Electroluminescent Display Technology and Markets' (online) (geraadpleegd op 12 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000082.asp>>.

IDTechEx (2004b) 'Printed Electronics Review: Electrophoretic Displays' (online) (geraadpleegd op 12 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000053.asp>>.

IDTechEx (2006b) 'Printed Electronics Review: Item level RFID - the prosperous market 2006-2016' (online) (geraadpleegd op 16 April 2007). Beschikbaar op <<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000485.asp>>.

IDTechEx (2005a) 'Printed Electronics Review: New Developments in Printed Electronics' (online) (geraadpleegd op 6 Oktober 2006). Beschikbaar op
<<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000179.asp>>

IDTechEx (2005b) 'Printed Electronics Review: Organic and Printable Electronics' (online) (geraadpleegd op 16 April 2007). Beschikbaar op
<<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000261.asp>>.

IDTechEx (2005c) 'Printed Electronics Review: Organic Electronics' (online) (geraadpleegd op 16 April 2007). Beschikbaar op
<<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000223.asp>>.

IDTechEx (2004c) 'Printed Electronics Review: Printed Batteries' (online) (geraadpleegd op 10 Maart 2007). Beschikbaar op
<<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000139.asp>>.

IDTechEx (2006c) 'Printed Electronics Review: Printed Electronics Will Change the World' (online) (geraadpleegd op 16 April 2007). Beschikbaar op
<<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000460.asp>>.

IDTechEx (2006d) 'Printed Electronics Review: Printing the Electronic Future' (online) (Geraadpleegd op 6 Oktober 2006). Beschikbaar op
<<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000449.asp>>.

IDTechEx (2004d) 'Printed Electronics Review: Problems with Silicon Chips' (online) (geraadpleegd op 6 Oktober 2006). Beschikbaar op
<<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000052.asp>>.

IDTechEx (2006e) 'Printed Electronics Review: Progress in the Largest RFID Market of all' (online) (geraadpleegd op 16 April 2007). Beschikbaar op
<<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000483.asp>>.

IDTechEx (2004e) 'Printed Electronics Review: Where Silicon is a non Starter and TFTs are Needed' (online) (geraadpleegd 6 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000071.asp>>.

IDTechEx (2004f) 'Printed Electronics Review: Why all the fuss about OLED displays' (online) (geraadpleegd op 10 Maart 2007). Beschikbaar op <<http://www.idtechex.com/printelecreview/en/articles/00000060.asp>>.

IDTechEx (2005d) 'Printed Electronics White Paper: Technology Overview and Applications' (online) (geraadpleegd op 6 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.idtechex.com/pdfs/en/D8036H2420.pdf>>.

IDTechEx (2007) 'RFID Analyst: RFID Forecasts 2007-2017' (online) (geraadpleegd op 21 Mei 2007). Beschikbaar op <<http://www.idtechex.com/pdfs/en/D9455T3922.pdf>>.

IDTechEx (2006f) 'RFID Frequency Bands' (online) (geraadpleegd op 4 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.idtechex.com/products/en/articles/00000040.asp>>.

IEEE (2005) 'Progress Toward Development of All-Printed RFID Tags' (online) (geraadpleegd op 25 April 2007). Beschikbaar op <<http://ieeexplore.ieee.org/search/wrapper.jsp?arnumber=1461590>>.

IMEC (2006a) 'Community: Educatief' (online) (geraadpleegd op 23 December 2006). Beschikbaar op <<http://www.microelectronics.be/wwwinter/community/nl/vanzandtot.shtml>>.

IMEC (2006b) 'Thuis in technologie: Wet van Moore' (online) (geraadpleegd op 2 November 2006). Beschikbaar op <<http://imec.be/wwwinter/community/nl/ThuisInTechnologie/WetvanMoore.shtml>>.

iNEMI (2007) 'Organic and printed electronics' (online) (geraadpleegd op 8 Mei 2007). Beschikbaar op <http://thor.inemi.org/webdownload/newsroom/Presentations/APEX_2007/2007_RM/_printed_elect.pdf>.

Intel (2006) 'Technology & Research at Intel: Moore's Law – the future' (online) (geraadpleegd op 2 November 2006). Beschikbaar op <<http://www.intel.com/technology/mooreslaw/index.htm>>.

Kalpakjian, S. and Schmid S.R. (2006) *Manufacturing, Engineering and Technology*, Upper Saddle River, Pearson Prentice Hall.

Konarka (2007) 'Konarka develops photovoltaic products' (online) (geraadpleegd op 10 Maart 2007). Beschikbaar op <<http://www.konarka.com/products/#>>.

Miasolé (2007) 'Miasolé's Solar Cells' (online) (geraadpleegd op 10 Maart 2007). Beschikbaar op <<http://www.miasole.com/>>.

Nathanson, D. (2006) 'Pharma to Pioneer Item-level Tracking', *RFID Journal* (online) (geraadpleegd op 16 April 2007). Beschikbaar op <<http://www.rfidjournal.com/article/articleview/2671/1/82/>>.

Newmark, E. (2007) 'Item-level Tagging: Moving Beyond the Frequency Dilemma', *Tagsys RFID* (online) (geraadpleegd op 15 April 2007). Beschikbaar op <http://www.tagsysrfid.com/html/medias/news/03-30-07_Health_Industry_Insights_Report.pdf>.

OrganicID (2006a) 'Printable Plastic RFID-Tags' (online) (geraadpleegd op 11 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.organicid.com>>.

OrganicID (2006b) 'RFID' (online) (geraadpleegd op 11 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.organicid.com/rfid.html>>.

OrganicID (2007) 'RFID Market' (online) (geraadpleegd op 15 April 2007). Beschikbaar op <<http://www.organicid.com/market.html>>.

Pelikon (2006) 'How pSEL Works' (online) (geraadpleegd op 12 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.pelikon.com/technology/what-is-el/how-psel-works>>.

PNEAC (2006a) 'Printing Process Descriptions: Flexography' (online) (geraadpleegd op 2 December 2006). Beschikbaar op <<http://www.pneac.org/printprocesses/flexography/>>.

PNEAC (2006b) 'Printing Process Descriptions: Gravure' (online) (geraadpleegd op 2 December 2006). Beschikbaar op <<http://www.pneac.org/printprocesses/gravure/>>.

PNEAC (2006c) 'Printing Process Descriptions: Lithography' (online) (geraadpleegd op 2 December 2006). Beschikbaar op <<http://www.pneac.org/printprocesses/lithography/>>.

PNEAC (2006d) 'Printing Process Descriptions: Plateless Processes' (online) (geraadpleegd op 2 December 2006). Beschikbaar op <<http://www.pneac.org/printprocesses/plateless/>>

PNEAC (2006e) 'Printing Process Descriptions: Screen' (online) (geraadpleegd op 2 December 2006). Beschikbaar op <<http://www.pneac.org/printprocesses/screen/>>.

PolyApply (2006) '5th PolyApply Newsletter' (online) (geraadpleegd op 15 Maart 2007). Beschikbaar op <http://www.polyapply.org/n_downloads/newsletter/pan0106.pdf>.

PolyIC (2006a) 'Applications for printed electronics' (online) (geraadpleegd op 11 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.polyic.com/en/applications.php>>.

PolyIC (2007a) 'Displays' (online) (geraadpleegd op 10 Maart 2007). Beschikbaar op <<http://www.polyic.com/en/display.php>>.

PolyIC (2006b) 'Mass Production of Electronics Employing Printing Technologies' (online) (geraadpleegd op 11 Oktober 2006). Beschikbaar op <http://www.printcity.de/tools/download.php?modul=library&path=/home/printcity.de/library/&file=839.pdf&filename=PolyIC.pdf&site_id=423>.

PolyIC (2006c) 'Newsletter: Move Completed' (online) (geraadpleegd op 8 Mei 2007). Beschikbaar op <http://www.polyic.com/upload/2006_04_PolyIC_Newsletter_ENin300dpi.pdf>.

PolyIC (2006d) 'Newsletter: Third PolyIC Newsletter' (online) (geraadpleegd op 8 Mei 2007). Beschikbaar op <http://www.polyic.com/upload/2006_07_PolyIC-newsletter_ENG_300dpi.pdf>.

PolyIC (2007b) 'Pictures for the press' (online) (geraadpleegd op 27 Maart 2007). Beschikbaar op <<http://www.polyic.com/en/press-images.php>>.

PolyIC (2006e) 'Press Releases: Funded project PRISMA' (online) (geraadpleegd op 8 Mei 2007). Beschikbaar op <http://www.polyic.com/upload/PRISMA_2006-01de.pdf>.

PolyIC (2006f) 'Press Releases: Mile long rolls of printed circuits – PolyIC is first worldwide in presenting prototypes of printed 13 MHz RFID tags' (online) (geraadpleegd op 8 Mei 2007). Beschikbaar op <<http://www.polyic.com/upload/PolyIC200609-001german&english.PDF>>.

PolyIC (2005) 'Press Releases: Pre-eminent innovation from Germany - Electronic products out of the printing machine draw nearer' (online) (geraadpleegd op 8 Mei 2007). Beschikbaar op <<http://www.polyic.com/upload/PolyIC200512-001de.pdf>>.

PolyIC (2004) 'Press Releases: Towards printed electronics - PolyIC presents first fully functional polymer-based RFID tag' (online) (geraadpleegd op 8 Mei 2007). Beschikbaar op <<http://www.polyic.com/upload/PolyIC200411-001de.pdf>>.

PolyIC (2006g) 'Printed Electronics' (online) (geraadpleegd op 11 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.polyic.com/en/printed-electronics.php>>.

PolyIC (2006h) 'Printed Electronics Devices' (online) (geraadpleegd op 11 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.polyic.com/en/devices.php>>.

PolyIC (2006i) 'Printed Electronics Process' (online) (geraadpleegd op 11 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.polyic.com/en/process.php>>.

PolyIC (2006j) 'The Chip Printers' (online) (geraadpleegd op 11 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.polyic.com>>.

Power Paper (2007) 'Micro-powerd devices: thin and flexible batteries' (online) (geraadpleegd op 10 Maart 2007). Beschikbaar op <http://www.powerpaper.com/3_technology/advantage.htm>.

Roberti. M, (2004) 'Tag Cost and ROI' *RFID Journal* (online) (geraadpleegd op 24 Mei 2007). Beschikbaar op <<http://www.rfidjournal.com/article/articleview/796/>>.

Screenweb (2007) 'Get Production Rolling with Rotary Screen Printing' (online) (geraadpleegd op 25 April 2007). Beschikbaar op <<http://www.screenweb.com/index.php/channel/4/id/689>>.

Thinkquest (2007) 'Elektromagnetisch spectrum' (online) (geraadpleegd op 25 April 2007). Beschikbaar op <http://mediatheek.thinkquest.nl/~lla129/elektromagnetische_golf.htm>.

Unisys (2005) 'White Paper: The six senses of visibility' (online) (geraadpleegd op 5 Februari 2007). Beschikbaar op <http://www.unisys.com/public_sector/insights/insights__compendium/The_Six_Senses_of_Visibility.pdf>.

Universal Display (2006) 'OLED Technology' (online) (geraadpleegd op 12 Oktober 2006). Beschikbaar op <<http://www.universaldisplay.com/tech.htm>>.

Van Osten. E, (2005) 'The Incredible Shrinking Price of RFID Tags', *RFID Product News* (online) (geraadpleegd op 28 Mei 2007). Beschikbaar op <<http://www.rfidproductnews.com/issues/2005.11/feature/04.shrinking.php>>.

Vlaams Instituut voor de Logistiek (VIL) (2006) *Intelligente Verpakkingen*, Antwerpen, VIL.

Vlaams Instituut voor de Logistiek (VIL) (2004) *RF-tags voor intelligente logistiek*, Antwerpen, VIL.

VTT (2005) 'Benefits of inkjet printing for printed electronics' (online) (geraadpleegd op 28 Oktober 2006). Beschikbaar op <http://www.vtt.fi/liitetiedostot/cluster5_metsa_kemia_ymparisto/PIRA%20Printed%20Electronics%202005%20Hakola.pdf>.

VTT (2007) 'Printed Intelligence: Sensors and Smart Packaging' (online) (geraadpleegd op 15 Maart 2007). Beschikbaar op <<http://www.kcl.fi/tiedostot/Kopola.pdf>>.

Vue Technology (2007a) 'Warehouse Solutions' (online) (geraadpleegd op 12 Februari 2007). Beschikbaar op <<http://www.vuetechnology.com/solutions/warehouses.aspx>>.

Vue Technology (2007b) 'Why Item Level' (online) (geraadpleegd op 12 Februari 2007). Beschikbaar op <<http://www.vuetechnology.com/il/default.aspx>>.

Bijlagen

Vragenlijst voor ontwikkelaars van geprinte elektronica

Definitie, toepassingsgebieden en verwachtingen naar de toekomst

- 1) Uit de literatuurstudie komt volgende definitie van geprinte elektronica naar voor:
“Geprinte elektronica gebruikt conventionele printtechnieken om met organische of anorganische halfgeleiders laagsgewijs transistorgebaseerde elektronische circuits op dunne, flexibele substraten te drukken. Het kan de functies van de meest eenvoudige chips overnemen”. Bent u het met deze definitie eens?
- 2) Welke logistieke toepassingsgebieden ziet u voor geprinte elektronica?
- 3) Wat zal de impact van geprinte elektronica zijn op de logistieke wereld? Op welke tijdshorizon zal geprinte elektronica meer efficiëntie, meer informatie voor consumenten, enz kunnen bieden?

Technologische ontwikkeling

- 4) Hoever staat u in de ontwikkeling van geprinte elektronica? Wanneer zijn de andere stappen gepland?
 - a) Ontwerp
 - b) Laboratoriumproeven
 - c) Pilot op laboratoriumschaal
 - d) Voorbereiden beperkte pilot in het bedrijfsleven
 - e) Opzetten beperkte pilot in het bedrijfsleven
 - f) Uitvoeren beperkte pilot in het bedrijfsleven
 - g) Analyse resultaten pilot
 - h) Voorbereiden marktintroductie

- i) Introductie van een werkend systeem op de markt
- 5) Welk(e) printproces(sen) gebruikt u?
- 6) Welke halfgeleiders gebruikt u?
- 7) Welke technische kenmerken kent de huidige geprinte elektronica tag?
- a) Op welke frequentieband functioneert de tag?
 - b) Wat is de transfersnelheid?
 - c) Wat is de maximale leesafstand?
 - d) In welke omgeving kan de technologie worden ingezet (binnenhuis of in open lucht, in de buurt van metaal, water, ...)?
 - e) In welke mate is de tag resistent tegen temperatuur, vocht, druk, schokken,...?
 - f) Beschikt de tag over een geheugen?
 - g) Welk soort geheugen (ROM, RAM, WORM, ...)?
 - h) Hoe groot is het geheugen? Is het al voldoende groot om een EPC-code te omvatten?
 - i) Hoeveel tags kunnen gelijktijdig worden geregistreerd?
- 8) Welke technische verbeteringen moeten nog gerealiseerd worden alvorens de tag op de markt kan worden gebracht?
- 9) Waarom koos u voor deze technische kenmerken?

Marketing: voor- en nadelen van geprinte elektronica

- 10) Eén van de voordelen die de literatuur aanhaalde, was de lage kostprijs. Wat is de targetprijs voor marktintroductie en/of voor massaproductie?
- 11) Welke voordelen en opportuniteiten biedt geprinte elektronica t.o.v. de klassieke siliciumchip?

- 12) Welke nadelen of knelpunten kent geprinte elektronica?
- 13) Hoe wilt u uw geprinte elektronica positioneren op de markt? Op welke sectoren en toepassingsgebieden richt u zich?
- 14) Wat is het aandeel logistiek ten opzichte van de andere toepassingen?
- 15) Wat is de grootte van deze markt globaal, nu en naar de toekomst toe?
- 16) Zullen er zich nog nieuwe ontwikkelingen of trends voordoen op deze markt?

Hartelijk dank voor uw medewerking.

Questionnaire for developers of printed electronics

Definitions, applications and expectations to the future

- 1) Literature brings forward following definition of printed electronics: “*Printed electronics uses conventional printing methods to print organic or inorganic semiconductors in several layers on thin, flexible substrates in order to obtain transistor-based electronic circuits. Printed electronics can take over the functions of the most simple silicon chips.*” Do you agree with this definition?
- 2) Which logistic applications do you see for printed electronics?
- 3) What will be the impact of printed electronics on logistics? On which term will printed electronics offer more efficiency, more consumer information, etc?

Technological development

- 4) In which development phase are you this moment for printed electronics? When are the other steps planned?
 - a) Design
 - b) Laboratory tests
 - c) Pilot on laboratory scale
 - d) Preparation of a restricted pilot in trade and industry
 - e) Set-up of a restricted pilot in trade and industry
 - f) Execution of a restricted pilot in trade and industry
 - g) Analysis of the pilot results
 - h) Preparation of the market introduction
 - i) Introduction of a working system on the market

- 5) Which print processes(es) do you use?
- 6) Which semiconductors do you use?
- 7) Which technological features does the present printed tag possess?
 - a) On which frequency band does the tag function?
 - b) What is the data transfer speed?
 - c) What is the maximum read distance?
 - d) In which environment can the tag be used (indoors or in open air; in the neighbourhood of metal, water,...)?
 - e) Is the tag resistant to temperature, humidity, pressure, shocks,...?
 - f) Does the tag have a memory?
 - g) Which kind of memory (ROM, RAM, WORM, ...)?
 - h) How large is this memory? Is it already large enough to enclose an EPC-code?
 - i) How many tags can be read and registered simultaneously?
- 8) Which technological improvements have to be accomplished before launching the tag on the market?
- 9) Why did you choose for these technological features in particular?

Marketing: the advantages and disadvantages of printed electronics

- 10) One of the benefits of printed electronics that you can find in literature is its low cost. What is the target price for market introduction and/or for mass production?
- 11) Which benefits and opportunities does printed electronics offer in comparison with the silicon chip?

- 12) Which disadvantages and bottle-necks has printed electronics?
- 13) How do you want to position your printed electronics on the market? At which sectors and application areas do you point?
- 14) What is the share of logistics in comparison to the other application areas?
- 15) What is the size of the total market of printed electronics, now and in the future?
- 16) Will there be any new developments of trends on this market?

Thank you very much for your cooperation.

Auteursrechterlijke overeenkomst

Opdat de Universiteit Hasselt uw eindverhandeling wereldwijd kan reproduceren, vertalen en distribueren is uw akkoord voor deze overeenkomst noodzakelijk. Gelieve de tijd te nemen om deze overeenkomst door te nemen, de gevraagde informatie in te vullen (en de overeenkomst te ondertekenen en af te geven).

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Mogelijkheden en toepassingen van geprinte elektronica in de logistiek

Richting: **Handelsingenieur**

Jaar: **2007**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Ik ga akkoord,

Maarten HOUBEN

Datum: **02.06.2007**