

## **Gedruckte Elektronik – Eine Herausforderung für die Drucktechnik Kritische Betrachtung am Beispiel heutiger RFID-Systeme**

Prof. Dr.-Ing. Edgar Dörsam, Dr.-Ing. Stefan Dilfer  
*Fachgebiet Druckmaschinen und Druckverfahren, Technische Universität Darmstadt*

### **Einleitung**

Die gedruckte organische Elektronik entwickelt sich derzeit weltweit mit beträchtlichen Aktivitäten in Forschung, Fertigung und Marketing. Das Ziel dieser Aktivitäten ist es, in den kommenden Jahren die drucktechnisch gefertigten und damit preiswerten Elektronikern als intelligente Kennzeichnung im Logistik-, Einzelhandels- und Produktionsbereich einzusetzen. Als Einweg-Elektronik in die Verpackungen von Konsum- oder Pharmaprodukten integriert, wird uns gedruckte Elektronik in alltäglichen Artikeln begegnen. Sie werden, glaubt man den Herstellern und Entwicklern von gedruckter Elektronik, Produkte komfortabler, einfacher und sicherer machen und durch ihre Vielseitigkeit und Flexibilität erstaunliche Möglichkeiten eröffnen, die unser Leben nachhaltig verändert. Die zur Zeit in den Medien wohl am häufigsten genannte Applikationen sind RFIDs (Radio Frequency Identification Tags) die in absehbarer Zeit als elektronische Produktcodes für Logistikprozesse, Ticketing oder als Sicherheitsmerkmale eingesetzt werden. Sie sollen zukünftig die heute weit verbreiteten Barcodes ersetzen. Barcodes besitzen den Nachteil, dass sie nur eine beschränkte Möglichkeit besitzen Informationen zu speichern. Ein weiterer Nachteil des Barcodes ist, dass die Daten optisch mit einem Scanner gelesen werden. Bei einer Verschmutzung des Barcodes können Fehlern beim Lesen der Daten vom Barcode auftreten.

Die Vision ist, mit dem Einsatz von RFIDs die Möglichkeit zu nutzen mehr Informationen auf jeden einzelnen Artikel einer Warengruppe zu speichern, um zukünftig die Artikel auf ihrem Lebensweg lückenlos verfolgen zu können. Der Zustand und der Aufenthaltsort jedes einzelnen Artikels ist damit jederzeit erfassbar. Die inner- und außerbetrieblichen Materialfluss- und Logistiksysteme verfügen dann über alle erforderlichen Informationen der Warenströme. Sie können selbständig reagieren und sich flexibel an wechselnde Anforderungen anpassen. Das ermöglicht autonome, logistische Netzwerke - analog zum Internet. Die Logistiknetze können sich sogar selbst organisieren und ihre Distribution selbst steuern. Dieser Paradigmenwechsel in der Logistik bietet signifikante Vorteile, wenn viele Einzelbestellungen bearbeitet und Waren schnell beim Kunden sein müssen. Produkte finden allein ihren Weg von der Produktion bis zum Kunden - und wieder zurück zum Recycling. Mit Hilfe dieser Informationen kann die Technik selbständig Aktionen ausführen, sich an Veränderungen anpassen und Funktionen überwachen. Sie bilden um den Menschen herum eine allgegenwärtige elektronische Assistenz die jederzeit zur Verfügung steht. Da die lokalen Netzwerke in die globalen Informations- und Telekommunikationsnetze eingebunden sind, kann der Mensch jederzeit und an jedem Ort alle gewünschten multimedialen Informationen abrufen. Die damit verbundene Vision der "intelligenten Umgebung" geht darüber hinaus - zu einer umfassenden Assistenz und aktiven Unterstützung, die dem Menschen Arbeit abnimmt und sich an die Wünsche

und Bedürfnisse des Nutzers anpasst. Nicht der Mensch bedient die Technik, sondern die Technik bedient den Menschen [5].

### **Silizium Elektronik versus Gedruckte Elektronik**

Der Vorteil von gedruckten Elektroniken liegt auf der Hand. Beispielsweise gedruckte organische Mikroelektroniken die analog den klassischen Silizium Mikroelektroniken aus Transistoren, Leuchtdioden und Solarzellen bestehen können, sind weniger aufwendig in der Herstellung und billiger als die klassischen mit fotolithografischer Reinraumfertigung produzierten Silizium basierenden Mikroelektroniken, die darüber hinaus lange Vorlaufzeiten vom Design zum fertigen Chip benötigen. Bezogen auf den Preis und der Flexibilität des eingesetzten Substrates ist die gedruckte organische Elektronik gegenüber der Silizium Elektronik damit generell im Vorteil. Der wesentliche Nachteil der organischen Elektronik liegt in ihrer nur geringe Performance gegenüber der Silizium Elektronik. Organische Halbleiter sind so genannte Lochleiter oder p-Type- Halbleiter, bei denen sich die Löcher nur entlang an Polymerketten bewegen können die am Ende zum nächsten Polymer tunneln müssen. Die räumliche Anordnung der Polymere beeinflusst daher unmittelbar die Ladungsträgerbeweglichkeit und damit die Performance der Elektronik [1]. Im Gegensatz dazu, bewegen sich in Silizium die Ladungsträger praktisch frei. Damit ist die Ladungsträgerbeweglichkeit im Wesentlichen eine Materialeigenschaft. Vergleichsweise liegt die Ladungsträgerbeweglichkeit (Löcherbeweglichkeit) für Polymere typischerweise zwischen  $10^{-4}$  und  $0,1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , kristallines Silizium besitzt eine Ladungsträgerbeweglichkeit (Löcherbeweglichkeit) von bis zu  $500 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  [1]. Es ist daraus leicht ersichtlich, dass die organische Elektronik nicht das Potential besitzt die Silizium-Elektronik zu verdrängen. Der Einsatzbereich und damit die Anforderungen der gedruckten Elektroniken unterscheiden sich damit wesentlich von dem Einsatzbereich und den Anforderungen die an die konventionelle Silizium-Elektronik gestellt werden. Explizit sollen organische Elektroniken

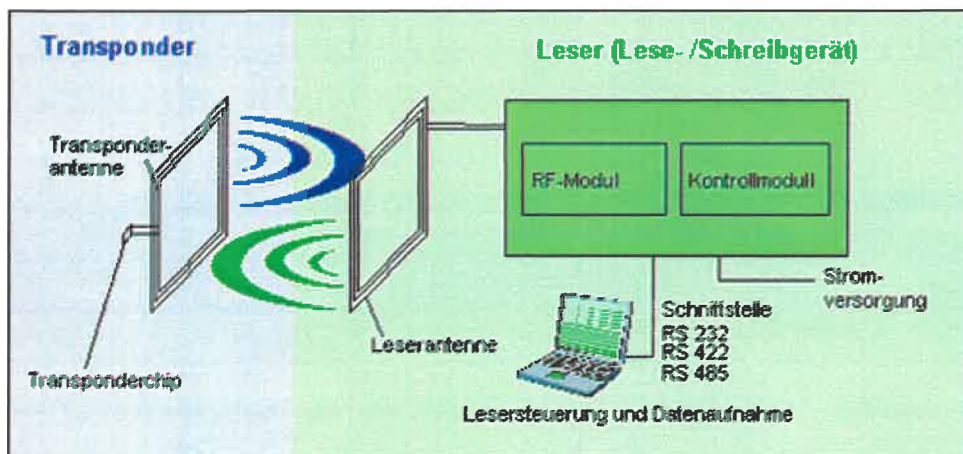
- dünn und flexibel in ihrer Struktur,
- preiswert und einfach in ihrer Herstellung,
- vielseitig einsetzbar und als Einwegartikel

verfügbar sein. Organische Halbleiter und Leiter besitzen damit das Potential ganz neue Perspektiven in der Mikroelektronik zu eröffnen. Organische Elektronik wird daher voraussichtlich überall dort eingesetzt, wo heute noch keine Elektronik vorhanden ist, beispielsweise als intelligente Verpackung oder auch als „wearable electronics“ in Kleidung. Denkbar sind weiter Produkte im Bereich low-cost-Elektronik, Sensorik, Ansteuerung flexibler Bildschirme, oder auch Radio Frequency Identification Tags (RFID).

### **Funktionsweise der RFID-Systeme**

Bei den heute handelsüblich verwendeten RFID-Label werden die Daten noch auf einem Siliziumchip als Datenträger gespeichert. Die Energieversorgung des Datenträgers sowie der Datenaustausch zwischen dem Datenträger und einem Lesegerät erfolgt durch ein Koppellement (Antenne), über magnetische oder elektromagnetische Felder. Als Transponder bezeichnet man dabei die technische Einheit aus Koppellement und Datenträger. Ein Lesegerät besitzt in aller Regel ein Hochfrequenzmodul (Sender und Empfän-

ger), eine Kontrolleinheit und ein Koppellement zum Transponder. Für einen Großteil der Anwendungen besitzt der Transponder keine aktive Spannungsversorgung. Außerhalb des Ansprechbereichs eines Lesegeräts verhält sich der Transponder damit passiv. Erst innerhalb des Ansprechbereichs des Lesegerätes erhält der Transponder durch induktive Kopplung mit dem Lesegerät die benötigte Energie sowie zusätzlich Takt und Daten übertragen [2].



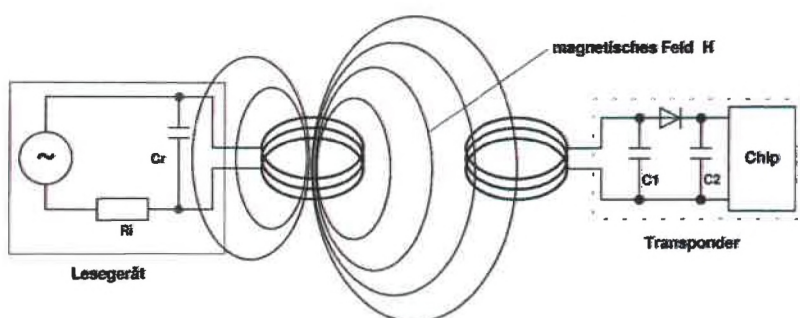
Quelle: x-ident technology GmbH

Die wichtigsten Unterscheidungskriterien für RFID-Systeme sind die Betriebsfrequenz des Lesegerätes, das physikalische Kopplungsverhalten und die Reichweite des Systems. RFID-Systeme werden auf unterschiedlichen Frequenzen von Langwelle 135 kHz bis in den Mikrowellenbereich bei 5,8 GHz betrieben. Bei der physikalischen Kopplung kommen elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder zum Einsatz. Schließlich variiert die erzielbare Reichweite der Systeme von wenigen mm bis hin zu 15 m und darüber. RFID-Systeme mit Schreib- und Leseweiten bis ca. 1 m sind fast alle induktiv gekoppelt. Als Sendefrequenzen werden Frequenzen im Bereich von 135 kHz oder 13,56 MHz eingesetzt. RFID-Systeme über 1m Reichweite arbeiten mit elektromagnetischen Wellen im UHF- und Mikrowellenbereich. Alle diese Systeme werden auf den UHF-Frequenzen 868 (Europa) und 915 (USA) sowie auf den Mikrowellenfrequenzen 2,5 GHz und 5,8 GHz betrieben. Mit passiven (batterielosen) Transpondern können Reichweiten von etwa 3 m, mit aktiven (Batterie gestützten) Transpondern sogar Reichweiten von 15 m und mehr erreicht werden. Die benötigte Reichweite einer Anwendung hängt von mehreren Faktoren ab: Der Positioniergenauigkeit des Transponders, dem minimalen Abstand mehrerer Transponder im praktischen Einsatz und der Geschwindigkeit des Transponders im Ansprechbereich des Lesegeräts.

Ein induktiv gekoppelter Transponder besteht wie bereits erwähnt meist aus einem einzelnen Mikrochip sowie einer großflächigen Spule die als Antenne dient. Induktiv gekoppelte Transponder werden fast ausschließlich passiv betrieben. Das Lesegerät stellt in diesem Fall die zum Betrieb des Mikrochips notwendige Energie komplett zur Verfügung. Von der Antennenspule des Lesegeräts wird dazu ein starkes hochfrequentes, elektromagnetisches Feld erzeugt, das den Querschnitt der Spulenfläche und den Raum um die

Spule durchdringt. Da die Wellenlänge der eingesetzten Frequenzbereiche ( $f = 135 \text{ kHz}$ :  $\lambda = 2222 \text{ m}$ ,  $f = 13,56 \text{ MHz}$ :  $\lambda = 22,1 \text{ m}$ ) um ein Vielfaches größer ist als die Entfernung zwischen Antenne Lesegerät und Antenne Transponder, darf das elektromagnetische Feld im Abstand des Transponders zur Antenne noch als ein einfaches magnetisches Wechselfeld behandelt werden, da der Transponder sich noch im Nahfeld der Antenne des Lesegerätes befindet. Das von einer Leiterschleife primär erzeugte magnetische Feld beginnt unmittelbar an der Antenne. Bei der Ausbreitung des magnetischen Feldes bildet sich durch Induktion zunehmend auch ein elektrisches Feld aus. Das ursprünglich rein magnetische Feld geht kontinuierlich in ein elektromagnetisches Feld über. In der Entfernung  $\lambda/2\pi$  beginnt sich das elektromagnetische Feld von der Antenne zu lösen und als elektromagnetische Welle in den Raum zu wandern. Der Bereich von der Antenne bis zur Ausbildung des elektromagnetischen Feldes wird als Nahfeld der Antenne bezeichnet. Der Bereich, ab dem sich die elektromagnetische Welle vollständig ausbildet und von der Antenne abgelöst hat, wird als Fernfeld bezeichnet [2].

Im Nahbereich durchdringt ein geringer Teil des ausgesendeten Feldes die Antennenspule des Transponders und induziert eine Wechselspannung im Transponder. Die gleichgerichtete Wechselspannung versorgt dann den Mikrochip mit Energie. Um Transponder in einer möglichst großen Entfernung zu betreiben, ist der Antennenspule des Lesegeräts ein Kondensator parallel geschaltet. Die Kapazität des Kondensators ist so ausgelegt, das der Parallelschwingkreis bestehend aus Kondensator und Antennenspule in Resonanz schwingt. Diese Resonanzfrequenz entspricht der Sendefrequenz des Lesegerätes. Mit dieser Resonanzüberhöhung werden in der Antennenspule des Lesegerätes hohe Ströme erreicht, was die notwendigen Feldstärken liefert um einen Transponder auch in möglichst großer Entfernung zu betreiben. Die Antennenspule des Transponders bildet zusammen mit einem parallel geschalteten Kondensators ebenfalls einen Schwingkreis. Der Kondensator ist dabei auch auf die Sendefrequenz des Lesegerätes abgestimmt. Durch Resonanzüberhöhung im Parallelschwingkreis erreicht die Spannung an der Transponderspule ein Maximum.



Spannungsversorgung eines induktiv gekoppelten Transponders  
Quelle: RFID-Handbuch [2]

Der Wirkungsgrad der Leistungsübertragung zwischen der Antennenspule des Lesegeräts und dem Transponder ist proportional der Arbeitsfrequenz, der Windungszahl der Transponderspule, der umschlossenen Fläche der Transponderspule, dem Winkel der beiden Spulen zueinander sowie der Entfernung zwischen den beiden Spulen. Mit zu-

nehmender Frequenz nimmt die benötigte Spuleninduktivität der Transponderspule und damit der Windungszahl ab (135 kHz: 100 bis 1000 Windungen, 13, 56 MHz: 3 bis 10 Windungen). Da die im Transponder induzierte Spannung proportional der Frequenz ist, wirkt sich die geringere Windungszahl bei höherer Frequenz auf den Wirkungsgrad der Leistungsübertragung kaum aus [2].

Auf dem Mikrochip des Transponders können Datenmengen von einigen kByte gespeichert werden. Um die Daten auf den Mikrochip zu schreiben bzw. vom Mikrochip zu lesen werden grundsätzlich zwei unterschiedliche Verfahren eingesetzt, Voll- und Halbduplexverfahren sowie sequenzielle Verfahren. Findet die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät zeitversetzt mit der Datenübertragung vom Lesegerät zum Transponder statt, so bezeichnet man dies als Halbduplexverfahren. Findet die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät zeitgleich mit der Datenübertragung vom Lesegerät zum Transponder statt, so bezeichnet man dies als Vollduplexverfahren. Bei beiden Verfahren gemeinsam ist, dass die Energieübertragung vom Lesegerät zum Transponder kontinuierlich, d.h. unabhängig von der Datenübertragungsrichtung stattfindet. Im Gegensatz dazu findet bei den sequenziellen Systemen die Energieübertragung vom Transponder zum Lesegerät immer nur für eine begrenzte Zeitspanne statt (Pulsbetrieb). Die Datenübertragung vom Transponder zum Lesegerät wird in den Pausen zwischen der Energieversorgung des Transponders durchgeführt.

Wird ein resonanter Transponder in das magnetische Wechselfeld der Antenne des Lesegerätes gebracht, so entzieht dieser dem magnetischen Feld Energie. Die dadurch hervorgerufene Rückwirkung des Transponders auf die Antenne des Lesegerätes kann als transformierte Impedanz in der Antennenspule des Lesegerätes dargestellt werden. Elektromagnetische Wellen deren Ausdehnung größer als deren halbe Wellenlänge ist werden von Materie reflektiert. Die Wirkung, mit dem ein Objekt elektromagnetische Wellen reflektiert, wird durch dessen Rückstrahlquerschnitt beschrieben. Einen besonders großen Rückstrahlquerschnitt weisen Objekte aus, die zu der eintreffenden Wellenfront in Resonanz sind. Von der Antenne des Lesegerätes wird eine Leistung  $P_1$  abgestrahlt, wovon ein geringer Teil (Freiraumdämpfung) die Antenne des Transponders erreicht. Die am Transponder ankommende Leistung  $P_1^*$  steht als HF-Spannung an den Anschlüssen der Antenne zur Verfügung und wird nachfolgend gleichgerichtet. Die Reflexionseigenschaften (Rückstrahlquerschnitt) der Antenne können durch Ändern der an die Antenne angeschlossene Last beeinflusst werden. Um Daten vom Transponder an das Lesegerät zu übertragen, wird ein der Antenne parallel geschaltet Lastwiderstand  $R_L$  im Takt des zu übertragenden Datenstrom angesteuert. Das Ein- und Ausschalten eines Lastwiderstands an der Antenne des Transponders bewirkt eine Veränderung der Impedanz  $Z_T$  und damit eine Spannungsänderung an der Antenne des Lesegerätes. Dies entspricht in der Wirkung einer Amplitudenmodulation der Spannung an der Antennenspule des Lesegerätes durch den entfernten Transponder. Durch gezieltes Ansteuern des Lastwiderstandes übertragen sich die Daten vom Transponder zum Lesegerät. Die vom Transponder reflektierte, rückgestrahlte Leistung  $P_2$  wird damit in ihrer Amplitude moduliert. Somit wird ein Teil der ankommenden Leistung  $P_1^*$  von der Transponder Antenne reflektiert und als Leistung  $P_2$  zurückgesendet. Von dem reflektierten Signal  $P_2$  wird nur ein geringer Teil von der Antenne des Lesegerätes aufgenommen. Das am Lesegerät empfangene Signal  $P_2^*$  wird

durch eine Richtkoppler ausgekoppelt und auf den Empfängereingang des Lesegerätes geführt. Das um Zehnerpotenzen stärkere Sendesignal des Lesegerätes wird durch den Richtkoppler dabei weitestgehend unterdrückt. Die der Antenne des Lesegerätes abgegriffenen Spannung wird gleichgerichtet, womit die Daten am Lesegerät rückgewonnen werden können [2].

### **Zuverlässigkeit RFIDs**

Um das Thema RFID gibt es in Handel, Industrie und Logistik derzeit einen wahren Hype. Die Technik ist auf den ersten Blick faszinierend. Die Waren und Güter melden sich selbstständig bei jeder Station innerhalb einer Supply Chain an, ob beim Verladen auf den LKW, beim Eintreffen im Lager, beim Einräumen ins Regal oder an der Kasse. Schon heute werden in vielen Dienstleistungsbereichen, in der Beschaffungs- und Distributionslogik, im Handel in Produktionsbetrieben und Materialflusssystemen automatische Identifikationssysteme eingesetzt, welche die Aufgabe haben Informationen zu Personen, Tieren, Gütern und Waren bereitzustellen. Die am weitesten verbreitenden Identifikationssystem sind Barcode-Label mit denen heute fast jedes Gut und jede Ware durch einen gedruckten Strichcode etikettiert ist. Barcode-Label haben den großen Vorteil das sie sehr billig sind, erlauben aber nur eine beschränkte Möglichkeit Informationen zu speichern. Nachteilig ist ferner, dass Barcode-Label nicht die Möglichkeit bieten neu programmiert zu werden.

Mit RFID-Systemen lassen sich Daten beliebig oft auf einem Transponder ein- und auslesen. Für eine flächendeckende Identifikation von Handelswaren mit RFID-Transpondern sind aber zum einen die Fertigungskosten von RFID-Transpondern noch zu teuer und zum andern die RFID-Transponder in ihrer Technik noch zu unzuverlässig. Es treten teilweise Unverträglichkeiten beim Einsatz unterschiedlicher Tag-Fabrikate mit den Lesegeräten verschiedener Hersteller auf. Ein weiteres Problem bilden Signalübertragungsprobleme, wenn zwischen Tag und Lesegerät zu viel Wasser oder Metall im Wege steht. Bei einer Prüfung von UHF-RFID-Etiketten an der Universität von Kansas zeigte sich, dass die Leistungsdaten der einzelnen Tags häufig sehr weit auseinander liegen. Geprüft wurden die Etiketten auf ihre Reichweite, die Positionierung, der Einfluss von Wasser oder Metall und das Verhalten bei Einsatz an Behältern oder Containern. Das Ergebnis der Untersuchungen zeigte, dass bei der Reichweite der Tags oftmals sehr große Schwankungen zwischen dem besten und schlechtesten Tag der gleichen Serie eines Herstellers auftraten. Ebenfalls bei der Konsistenz der Leistung der getesteten Tags einer Serie traten große Schwankungen auf. Die Untersuchungen zeigten, dass zum Lesen des schwächsten Tags fast doppelt so viel Leistung erforderlich war wie zum Lesen des besten Tags. Beziehungsweise der schwächste Tag hatte nur 60 % der Reichweite des besten. Die Untersuchungen zeigten weiterhin, nicht nur die erhebliche Schwankungsbreite bei der Identifikation, sondern auch ein hohe Rate der „schweigsamen Tags“, also derer, die überhaupt nicht lesbar waren. Die Rate der „schweigsamen Tags“ betrug in den Untersuchungen bis zu 20 % [3]. Seit die Marktführer im Einzelhandel ebenso wie das amerikanische Verteidigungsministerium beschlossen haben, ab 2005 für ihre Logistikkontrolle Paletten und Umverpackungen mit Funketiketten zu kennzeichnen [4], besteht ein weiteres Problem darin, dass der Einsatz der Funketiketten in der Handels-Logistik eine

einheitliche Technik über Unternehmensgrenzen hinweg fordert. Die konkreten Vorteile für ein Unternehmen lassen sich derzeit nur schwer beziffern, da bisher lediglich einige Pilotprojekte gelaufen sind und die notwendige Standardisierung noch nicht abgeschlossen ist. Auch die technischen Schwierigkeiten lassen viele Interessenten noch zögern. Insbesondere Metalle oder Flüssigkeiten in den zu identifizierenden Waren verhindern derzeit hundertprozentige Leseraten.

Um low-cost Anwendungen zu realisieren ist ein kontinuierliches Herstellungsverfahren wie die Drucktechnik nötig. Moderne Druckmaschinen können innerhalb kürzester Zeit eine Fläche bedrucken, die der Jahresproduktion an Chips einer ganzen Silizium-Fabrik entsprechen. Falls lösliche Substanzen mit leitfähigen, halbleitenden und isolierenden Eigenschaften anstatt Druckfarbe verwendet werden, können organische Mikroelektroniken wie RFIDs mittels Druckverfahren kostengünstig produziert werden. Die Anforderungen an die Druckverfahren sind jedoch höher. Bisher werden durch die Druckverfahren Bildinformationen vorzugsweise punktweise übertragen und durch das virtuelle System des Menschen ausgewertet. Beim Drucken von Mikroelektroniken müssen dagegen durchgängige Linienstrukturen im  $1/10 \mu\text{m}$ -Bereich oder passergenaue Flächenstrukturen gedruckt werden. Soll anstelle des Silizium Chips der Datenträger auf dem Transponder gedruckt werden, so sind sehr dünne, homogene und defektfreie Schichten übereinander zu drucken. Dies stellt eine enorme Anforderung sowohl an die Druckmaschinen als auch an die Materialien dar. Um low-cost-RFIDs für den Massenmarkt attraktiv zu gestalten, müssen RFIDs auf kontinuierlichen Rolle-zu-Rolle-Druckverfahren gefertigt werden, um ein möglichst hohes Produktionsvolumen zu erzielen und damit die Fertigungskosten für den einzelnen Transponder im Idealfall auf unter 1 Cent zu reduzieren.

### **Druckverfahren für Gedruckte Elektronik**

Bisher vorhandene Druckmaschinen eignen sich kaum für das Drucken von Mikroelektroniken. Darüber hinaus hat jedes Druckverfahren spezifische Vor- und Nachteile beim Drucken von Polymeren. Es fehlt ein breites Grundlagenwissen zum Einsatz der Drucktechnologien. Diese Lücke will das Fachgebiet Druckmaschinen und Druckverfahren an der Technischen Universität Darmstadt schließen. In den nächsten Monaten wird ein Bedruckbarkeitslabor für die wichtigsten Druckverfahren eingerichtet. Damit können dann vergleichende Untersuchungen für Offset-, Flexo-, Rakeltief-, Tampon-, Sieb- und Tintenstrahldruck durchgeführt werden. In Kooperation mit industriellen Partnern werden neben Grundlagenuntersuchungen auch Entwicklungsprojekte durchgeführt.

### **Ausblick**

Die gedruckten RFIDs sowie die gedruckte organische Elektronik eröffnet mit dem Einsatz von leitfähigen, halbleitenden Polymeren ein riesiges Feld neuer Anwendungen. Neben den Organischen Leuchtdioden und den Solarzellen bieten gerade Plastik-Chips die Möglichkeit, viele neuartige elektronische Produkte zu realisieren. Wenn sich die Preis- und Performanceerwartung erfüllt, lässt sich hiermit die Vision von der überall verfügbaren Elektronik realisieren. Die Polymerelektronik wird keine neuen Supercomputer hervorbringen, sondern sich in Produkten mit intelligenten Verpackungen, und elektroni-

schem Papier zeigen. Doch bis diese neue elektronische Revolution stattfinden kann, sind noch viele offene Fragen zu beantworten. Besonders gefragt ist das physikalische Verständnis der Polymer-Transistoren, speziell des Ladungstransports in Polymerschichten und des Einflusses der Grenzschichten auf die Transistoreigenschaften. Darauf aufbauend müssen Simulationsmodelle entwickelt werden, die als Grundlage für komplexe Schaltungen unerlässlich sind. Ebenfalls ist eine weitgreifende Interdisziplinarität zwischen Physik, Chemie, Materialwissenschaften, Elektrotechnik und Drucktechnik nötig, um die derzeitigen Grenzen der Drucktechnik zu überwinden, mit dem Ziel leistungsfähige Schaltungen aus dem Labor durch kontinuierliche Rolle-zu-Rolle Druckverfahren herzustellen.

#### **Quellenangabe**

- [1] W.Clemens, W. Fix: Vom organischen Transistor zum Plastik-Chip; Physik Journal 2, 2003, S.31
- [2] K. Finkenzeller: RFID – Handbuch; 3. Auflage, 2002
- [3] H. Weiss: Zweite Funk-Generation nicht serienreif; VDI nachrichten, 10. Juni 2005 Nr. 23, S.12
- [4] nn: RFID im Handel kommt langsam voran; c't 11/2004, S. 61
- [5] F. Miller: Perspektiven für Zukunftsmärkte – Mit Fraunhofer heute für morgen forschen; Fraunhofer-Gesellschaft Presseinformation, 02. Mai 2005