

# Sicherung der Qualität gedruckter Elektronik auf Papier

## Safeguarding the quality of printed electronics on paper

Von Sabine Pensold und Dr. Carsten Schöfeld Papiertechnische Stiftung Heidenau sowie Julia Rühling, und Dr. Nora Wetzold, Institut für Print- und Medientechnik der TU Chemnitz.

By Sabine Pensold and Dr Carsten Schöfeld, Papiertechnische Stiftung Heidenau as well as Julia Rühling, and Dr Nora Wetzold, Institut für Print- und Medientechnik der TU Chemnitz.

Gedruckte Elektronik ist eine Schlüsseltechnologie, bei der anstelle der Druckfarben elektronische Funktionsmaterialien, die in flüssiger oder pastöser Form vorliegen, verdruckt werden. Papier bietet sich für diese Anwendungen als kostengünstiges, flexibles Trägermaterial auf Basis nachwachsender Rohstoffe als Alternative zu Kunststofffolien an. Nachteilige Eigenschaften von Papier, wie Rauheit, Saugfähigkeit, eingeschränkte Dimensionsstabilität und Durchlässigkeit gegenüber Feuchtigkeit und Gasen, sind heute kaum noch ein Thema, da Papiere durch optimierte Veredelungen mit guten Barrierewirkungen immer weiter optimiert wurden.

Doch genügt das auch den hohen Anforderungen unterschiedlicher Umgebungs- und Einsatzbedingungen? Schließlich sind zahlreiche Produkte des Bereichs gedruckte Elektronik mehr oder weniger langlebig konzipiert, wie z.B. Solarmodule, verschiedenste Sensoren für Feuchte- oder Temperaturmessungen oder auch für Lautsprechersysteme. Sie unterliegen dabei unterschiedlichsten Beanspruchungen, die letztendlich zum Versagen der Funktionalität der Elektronik führen können. Deshalb gingen Forscher der Papiertechnischen Stiftung Heidenau und des Instituts für Print- und Medientechnik der TU Chemnitz der Frage nach, welchen Einfluss Alterungsprozesse und Gebrauch auf die Funktionalität von gedruckter Elektronik haben.

Auf ausgewählte Trägermaterialien auf Papierbasis wurden verschiedene Typen von Feuchtesensoren am Institut für Print- und Medientechnik der TU Chemnitz gedruckt und die Funktion der Elektronik mittels Widerstandsmessung messtechnisch bewertet. Der Feuchtesensor 1 wurde im Bogenoffset an der Druckmaschine KARAT gedruckt. Als leitfähige Druckfarbe wurde e-pinc Printacarb verwendet. Die Feuchtesensoren 2 und 3 wurden im Trockenoffset von Rolle-zu-Rolle an der Druckmaschine Laborman 1 mit der Farbe e-pinc Printacarb hergestellt.

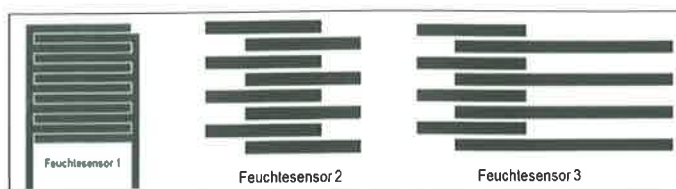


Abb. 1: Verschiedene Feuchtesensortypen auf Papier

Printed electronics is a key technology in which electronic functional materials present in liquid or pasty form are used for printing instead of printing inks. Paper suggests itself for such applications since it is a cost-effective, flexible and sustainable substrate compared to films. The disadvantageous properties of paper such as roughness, absorbency, limited dimensional stability and permeability with regard to moisture and gases are currently not a topic of interest, since paper has been optimised over and over again by upgrading it with good barrier protection.

However, does it also meet the high requirements of different environmental and operating conditions? After all, numerous products in the area of printed electronics are designed to have a more or less long service life, e.g. solar modules, a wide range of sensors for measuring moisture or temperature or even loudspeaker systems. They are all subject to a wide variety of diverse stresses that can ultimately cause the functionality of the electronics to fail. A research project of PTS, Heidenau, together with the Institute of Print and Media Technology at Chemnitz Technical University was therefore devoted to determining what impact ageing processes and use can have on the functionality of printed electronics.

Different types of moisture sensors were printed on selected paper-based carrier materials at the Institute of Print and Media Technology. The proper functioning of the electronics was subsequently evaluated by metrological means by measuring the electrical resistance. Moisture sensor 1 was printed on the KARAT printing press by sheetfed offset. e-pinc Printacarb alpha was used as the electrically conductive printing ink. Moisture sensors 2 and 3 were produced on the LaborMAN 1 printing press by roll-to-roll letterset printing using e-pinc Printacarb alpha as the printing ink.

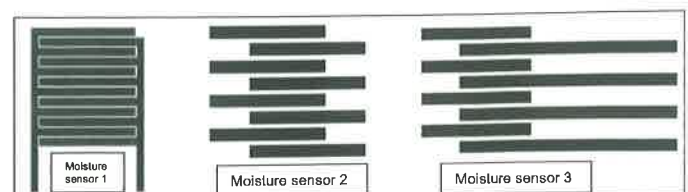


Fig. 1: Different types of moisture sensors on paper.

An diesen gedruckten Sensoren wurden verschiedene Belastungstests durchgeführt, um im Anschluss daran die Funktionsfähigkeit der Elektronik messtechnisch zu bewerten.

Die Ableitung praxisrelevanter Belastungen und die Umsetzung in ein messtechnisches Prüfregime stellten dabei einen Schwerpunkt der Arbeiten dar. Es mussten neben den mechanischen Anforderungen auch klimatische Belastungen, Sonneneinstrahlung, die Alterung der Sensoren während ihres Einsatzes sowie die Beständigkeit der Elektronik gegen Wasser und diverse Chemikalien in die Prüfung einbezogen werden.

Für die Simulation einer mechanischen Beanspruchung wurde ein kombinierter Biege- und Torsionsversuchsstand entwickelt.



Abb. 2: Biege- und Torsionsversuchsstand

Fig. 2: Bending and torsion test bench

Mit 32.000 Belastungszyklen und einer Verbiegung um  $\pm 40^\circ$  und Torsion um  $\pm 5^\circ$  wurde eine mechanische Beanspruchung realisiert. Verschiedene Scheuertests, wie das Reibradverfahren bzw. der QUARTANT-Scheuerprüfer wurden zur Simulation von Reibung, Scheuern oder Wischen an der Oberfläche der Sensoren eingesetzt. Klimatische Einflüsse wurden durch extreme Bedingungen in Klimakammern im Bereich von 25 und 90 % relativer Feuchte bei verschiedenen Temperaturen realisiert. In Anlehnung an Standards zur beschleunigten Alterung wurden die Sensoren mit 65 % relativer Luftfeuchte und  $80^\circ\text{C}$  einer beschleunigten Alterung unterworfen. Um die Lichtexposition der gedruckten Sensoren zu simulieren, wurde eine Lichtalterung im Xenotest Alpha+ durchgeführt.

Sensoren müssen gewisse Zeit resistent gegen Wasser und umweltrelevante Chemikalien sein. In Anlehnung an ISO 18935 wurde die Beständigkeit gegen Wasser, Säuren und Laugen entsprechend der kurzzeitigen Belastung getestet, wie sie beim Verschütten derartiger Substanzen auftritt.

Entsprechend der Anforderungen an gedruckte Sensoren wurden Kombinationen von beschleunigter Alterung bzw. Lichtalterung mit mechanischen Belastungen und ihren Auswirkungen auf die Funktionstüchtigkeit der gedruckten Elektronik untersucht.

Die Forscher fanden heraus, dass sich derzeit am Markt verfügbare Bilderdruckpapiere mit hoher Oberflächengüte grundsätzlich für die Anwendung als Träger einfacher gedruckter elektronischer Bauelemente eignen. Insbesondere, wenn das Papier, wie am Beispiel von Feuchtesensoren gezeigt, integraler Bestandteil des Funktionsprinzips ist, können die Porosität der Beschichtung und des Substrats und die dem Papier eigene Hydrophilie ein Schlüsselfaktor der Funktionalität sein.

Für komplexere elektronische Schaltungen, wie sie z. B. bei der Realisierung von Solarzellen oder gedruckten Lautsprechern er-

A range of stress tests were conducted on these printed sensors in order to subsequently evaluate the proper performance of the electronics by metrological means.

The determination of practice-related stress levels and their implementation into a metrologically valid testing regime constituted core elements of this work. In addition to the mechanical requirements, climatic stress, insolation, the ageing of the sensors during their use as well as the resistance of the electronics to water and diverse chemicals also had to be included in the testing regimen. A combined bending and torsion test bench was developed to simulate the mechanical stresses. The mechanical stress was conducted over 32,000 load cycles, with bending amounting to  $\pm 40^\circ$  and torsion of  $\pm 5^\circ$ . Various abrasion tests such as the abrasion wheel method or the QUARTANT abrasion tester were used to simulate the friction, rubbing or scrubbing to which the surfaces of the sensors are subjected.

Climatic conditions were simulated by harsh conditions in climatic chambers at various temperatures in a range of 25 and 90% relative humidity. In line with the standard procedures for accelerated ageing, the sensors were subjected to  $80^\circ\text{C}$  at 65% relative humidity to bring about accelerated ageing. Light-induced ageing was carried out in the Xenotest Alpha+ to simulate the light exposure of the printed sensors.

Sensors must be able to resist water and environmentally relevant chemicals for a certain period of time. As set forth in ISO 18935, the resistance to water, acids and bases was tested for shorttime exposure as it would occur if such substances are spilled onto the sensors.

In accordance with the requirements placed on printed sensors, combinations of accelerated ageing and light-induced ageing together with mechanical stresses and their consequences on the functionality of the printed electronics were studied.

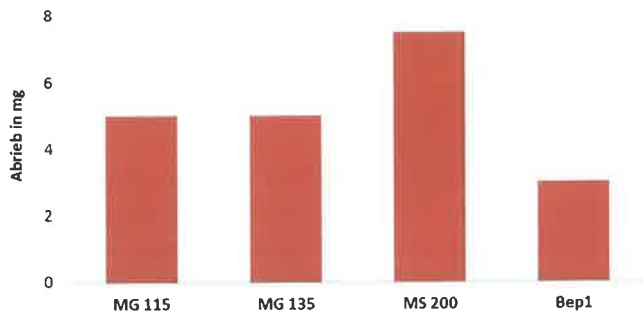
The researchers discovered that the coated free sheets with high surface quality that are currently available on the market are fundamentally suitable as substrates for simple, printed electronic components. The porosity of the coating and substrate and the hydrophilic properties inherent in the paper itself may be key factors in functional performance especially when the paper is an integral component of the functional principle as exemplified by the moisture sensors.

For more complex electronic circuits such as are required to implement solar cells or printed loudspeakers, for example, coated free sheet reaches its limits. Further optimisation of the surface quality of coated free sheets with respect to surface strength and barrier properties can be effected by coating it with a pigment mixture based on platy kaolin combined with special wax-based binders. The effect is demonstrated using resistance to abrasion and water vapour transmission as examples:

This optimised coating makes a surface quality possible, which comes very close to that of typical polymer films, while still retaining the mechanical advantages of the paper nonetheless. Such measures serve to expand the range of applications of paper as a substrate for printed electronics.

As far as its resistance to different loads is concerned, paper proves to be quite rugged. No disadvantageous effects are induced by irradiating paper with light. Although simulation trials with as many as 100 years of ageing do show some changes in the mechanical parameters of the paper carrier to the extent

forderlich sind, stoßen Bilderdruckpapiere an ihre Grenzen. Eine weitere Optimierung der Oberflächenqualität von Bilderdruckpapieren hinsichtlich Oberflächenfestigkeit und Barrierewirkung kann zum Beispiel über Beschichtung mit einem Pigmentgemisch auf Basis von plättchenförmigem Kaolin in Kombination mit speziellen wachsbasierten Bindemitteln erreicht werden. Am Beispiel Abriebfestigkeit und Wasserdampfdurchlässigkeit wird der Effekt veranschaulicht:



expected, there were no changes in the functionality of the printed components. In this case, the good adhesion of the printing ink proves to be a strong point of coated free sheets. Based on the project outcome, it may be concluded that high-quality upgraded paper are especially suitable as a substrate for printed electronics. Their range of applications proves to be scalable by further selective adaptation of the surfaces by means of optimised coating colour formulations and coating units.

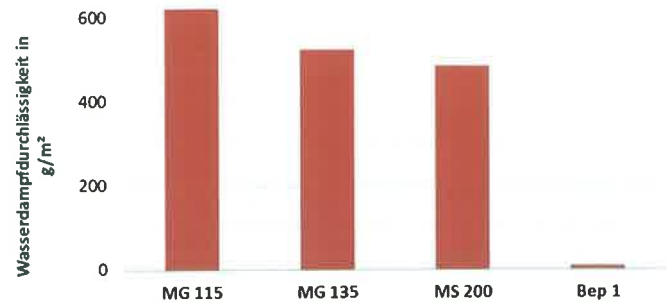


Abb. 3: Optimierungspotenzial bei Oberflächenfestigkeit (links) und Barrierewirkung (rechts) durch zusätzliche Spezialbeschichtung (Muster Bep 1) im Vergleich zu kommerziellen Produkten.

Fig.3: Optimisation potential of surface strength (left) and barrier effect (right) as a result of an additional special-purpose coating (sample Bep 1) compared to commercial products.

Dadurch wird eine Oberflächengüte ermöglicht, die der von typischen Polymerfolien sehr ähnlich ist, wobei die mechanischen Vorzüge des Papiers trotzdem weiter zum Tragen kommen. Durch solche Maßnahmen lässt sich der Einsatzbereich von Papier als Träger gedruckter Elektronik weiter ausbauen.

Hinsichtlich der Beständigkeit gegen unterschiedliche Belastungen zeigen sich Papiere durchaus robust. Durch Bestrahlung mit Licht werden keinerlei nachteilige Effekte induziert. Simulationsversuche, welche bis zu ca. 100 Jahren Alterung abbilden sollen, zeigen zwar Einflüsse auf die mechanischen Parameter des Papierträgers im erwarteten Maß, jedoch nicht auf die Funktionalität der gedruckten Bauteile. Hier erweist sich die gute Haftung der Druckfarbe als Stärke der Bilderdruckpapiere.

Aus den Projektergebnissen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass sich hochwertig veredelte Papiere als Substrat für gedruckte Elektronik durchaus eignen. Durch weitere gezielte Anpassung der Oberflächen mittels optimierter Streichfarbenformulierungen und Auftragsaggregate erweist sich deren Einsatzbereich weiter ausbaubar.

Das Forschungsvorhaben IGF 17773 wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. ↩

Papiertechnische Stiftung,  
D-01809 Heidenau, [www.ptspaper.de](http://www.ptspaper.de)

Technische Universität Chemnitz,  
Fakultät für Maschinenbau,  
Institut für Print- und Medientechnik,  
D-09126 Chemnitz,  
[www.tu-chemnitz.de](http://www.tu-chemnitz.de)

The research project IGF 17773 was funded through the AiF within the programme of promoting «pre-competitive joint research (IGF)» by the German Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi) based on a decision of the German Parliament (Bundestag). ↩

**BRÜCKNER  
MASCHINENBAU**

B

A Member of Brückner Group



STRETCHING  
THE LIMITS

*High Quality  
Film Production Lines:  
Efficiency,  
Productivity, Flexibility*

Visit us at  
**K 2016  
HALL 3, BOOTH C90**

Düsseldorf  
Oct 19-26

[www.brueckner.com](http://www.brueckner.com)