

## Herstellung Mechatronischer Module durch den Einsatz von Druck-technologien, Hochdruckumformen und Hinterspritzen

Die Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm kann auf den erfolgreichen Abschluss des Forschungsprojekts „MecDruForm“ (Verbundvorhaben „IngenieurNachwuchs2016“ im Programm „Forschung an Fachhochschulen“, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter der dem Förderkennzeichen 03FH020IA6) zurückblicken, welches seit dem Jahr 2017 bis Ende 2021 im Labor für Aufbau- und Verbindungstechnik der TH in Kooperation mit einem Forschungs- und zwei industriellen Partnern bearbeitet wurde. Dabei gelang durch den Einsatz der gedruckten Elektronik in Kombination mit Hochdruckumformen und Hinterspritzen die erfolgreiche Herstellung dreidimensionaler mechatronischer Baugruppen. Erste Musterbaugruppen belegen die grundsätzliche Eignung der im Projekt entwickelten Prozesskette.

### Ausgangspunkt und Motivation

Der steigende Bedarf an miniaturisierten und hochintegrierten mechatronischen Modulen hat zur Folge, dass neben elektrischer Funktion zunehmend auch mechanische, thermische oder optische Funktionen vom Schaltungsträger erfüllt werden müssen. Seit einigen Jahren werden hierfür verstärkt räumliche, spritzgegossene Schaltungsträger (MIDs) verwendet. Bei der Herstellung solcher MIDs unter Verwendung der industriell etablierten Verfahren sind jedoch sehr spezifische verarbeitungstechnische Randbedingungen einzuhalten. In BMBF-Forschungsprojekt „MecDruForm“ wurde deshalb näher untersucht, wie diese Einschränkungen durch Nutzung synergetisch aufeinander abgestimmter, alternativer Fertigungsmethoden vermieden werden können. Die dem Projekt zugrundeliegende Forschungshypothese lässt sich durch die in Abb. 1 dargestellte Prozesskette illustrieren: Aus mittels Drucktechnik strukturierten und nachfolgend bestückten Schaltungsträgern lassen sich durch Hochdruckumformen und Hinterspritzen dreidimensionale mechatronische Baugruppen herstellen.

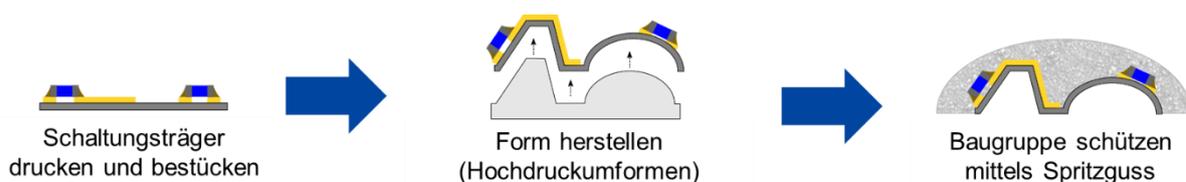


Abb. 1: Prozesskette zur Herstellung thermogeformter 3D Mechatronikbaugruppen im Projekt MecDruForm.

Zunächst werden gedruckte Schaltungsträger auf Polymer substraten in der Ebene aufgebaut, wobei die Vorteile von Standard-Anlagentechnik (Sieb- und Schablonendruck, Bauteilbestückung und Ofenprozesse) genutzt werden können. Die Form der Baugruppe erst nach Herstellung der elektrischen Eigenschaften mittels Hochdruckumformen erzeugt. Im letzten Schritt werden diese zuvor geformten Baugruppen bestückseitig mittel Spritzguss eingehaust und in ihrer Form fixiert, wodurch eine voll funktionsfähige dreidimensionale Baugruppe mit geschlossener Oberfläche entsteht.

### Projektansatz und ausgewählte Ergebnisse

Durch den Einsatz der Siebdrucktechnik wird das Schaltungslayout mittels polymerer, Ag-gefüllter Dickschichtenpasten auf das flexible, dielektrische Foliensubstrat übertragen und der Schaltungsträger strukturiert metallisiert. Dabei werden auch gedruckte kapazitive Sensoren realisiert. Nach der Aushärtung der gedruckten Schicht erfolgt die Montage elektronischer Bauteile in SMD-Technik auf dem ebenen, flexiblen Schaltungsträger. Das im Projekt eingesetzte Bauteilspektrum reicht von passiven

Bauteilen der Größe CR0805 über CR0402 bis hin zu ICs in QFN-Packages mit Rastermaß bis zu 0,5 mm. Die Kontaktierung der Bauteile erfolgt entweder über Leitlebetechnik bei Aushärtetemperaturen von etwa 150 °C oder durch Reflowlöten unter Verwendung niedrigschmelzender SnBiAg-Lote bei Peaktemperaturen von etwa 170 °C. Voraussetzung für diesen Lösungsweg ist allerdings die Benetzbarkeit der eingesetzten polymeren Dickschichtpasten sowie die thermische Beständigkeit der Foliensubstrate im Reflowprozess. In Abb. 2 sind Beispiele geeigneter Materialkombinationen für die AVT auf gedruckter Elektronik, wie sie auch im Projekt eingesetzt wurde, dargestellt [1,2].

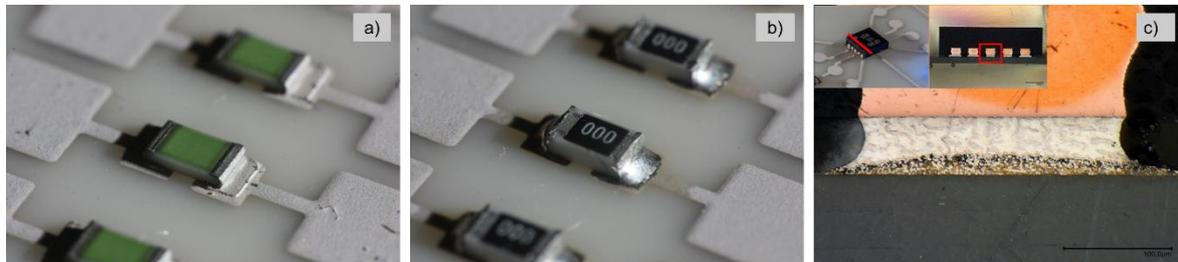


Abb. 2: SMD-Bauteilmontage auf gedruckter Elektronik; Substrat PET: leitgelebte CR0603 (a), mit SnBiAg-gelötete CR0603 (b) und Schliffbild eines gelöteten DFN; pitch 0,5 mm (c) [1,2].

Abgeschlossen wird SMT-Prozesskette durch die lokal begrenzte Applikation einer Vergussmasse im Bereich empfindlicher Bauteile, die dem Schutz bei der Weiterverarbeitung dient.

Die dreidimensionale Formgebung erfolgt im Anschluss an den komplett bestückten und bereits funktionsfähigen Baugruppen mittels Hochdruckumformen. Hierbei wird die Baugruppe zunächst über die Glasübergangstemperatur (140 °C bis 160 °C) der amorphen Foliensubstrate erhitzt und anschließend unter hohem Druck (30 bar bis etwa 50 bar) umgeformt. Eine besondere Herausforderung ist hierbei, dass das gesamte Schaltungslayout verformt wird, wodurch lokal das Risiko für Schäden im Leiterbild und in den Verbindungsstellen besteht. Bereits in der Planungsphase der Produktentstehung sind deshalb Umformsimulationen, welche im Projekt vom Forschungspartner Hochschule Hof durchgeführt wurden, notwendig, um das Schaltungsbild optimal auf die späteren Thermoformbelastungen abzustimmen. Im Projekt wurden zudem detaillierte Untersuchungen durchgeführt, um Kenntnis beispielsweise zur Widerstandsänderung gedruckter Leiterstrukturen in Abhängigkeit der lokalen Umformgrade zu ermitteln. Aus den Ergebnissen wurden konkrete Layout- und Prozessempfehlungen abgeleitet. So werden durch die Verwendung mäandrierender Leiterstrukturen Schädigungen durch Rissbildung in stark strapazierten Bereichen während der Umformung verringert bzw. verhindert. Auch Bauteilanschlüsse neigen hierbei verstärkt zum Versagen, weswegen Vergussmassen, wie oben bereits erwähnt, zum lokalen Bauteilschutz appliziert wurden. Bei den im Projekt verwendeten Materialkombinationen können elektronische Bauteile bis etwa 10 %, spezielle mäandrierende Leiterzüge bis 15 % lokaler Verformung angebracht ohne Funktionsverlust werden [3,4].

Im finalen Arbeitsschritt werden diese umgeformten Baugruppen durch Hinterspritzen mit thermoplastischem Kunststoff verstärkt, eine integrierte dreidimensionale Mechatronikbaugruppe entsteht. Durch Auswahl geeigneter Umspritzwerkstoffe können neben mechanischen weiteren, beispielsweise thermische und optische, Funktionen realisiert werden. Der Umspritzprozess verursacht, ähnlich wie beim vorherigen Umformen, thermische und mechanische Belastungen für Bauteile und Leiterbild. Die Kunststoffschmelze wird hier mit Temperaturen von etwa 300 °C in ein mit 80 °C temperiertes Werkzeug eingespritzt, wodurch, abhängig von der Geschwindigkeit der Polymerschmelze, thermomechanischer Stress auf das Schaltungsbild bzw. die AVT induziert wird. Bedingt durch das starke Abkühlen und die damit einhergehende Viskositätsänderung der Schmelze ist auch die Positionierung und Fixierung des umgeformten Schaltungsträgers im Werkzeug ein wichtiger Faktor. Diese Punkte müssen ebenfalls bereits in der Planungsphase durch beispielsweise Simulationen berücksichtigt werden.

## Diskussion und Zusammenfassung

Im Projekt wurde die eingangs formulierte Forschungshypothese bestätigt. Der im Projekt entwickelte und in Abb. 3 dargestellte Technologiedemonstrator macht die erzielten Ergebnisse zusammenfassend deutlich. Bei diesem 3D-Gaming Device „TicTacToe“ wurden unterschiedliche elektronische Bauteile verbaut, gedruckte kapazitive Sensoren fungieren als Bedien- und Steuerungselemente. Die Baugruppe zeichnet sich zudem durch die mediendichte Integration der Elektronik, eine geschlossene Oberfläche sowie durch die Integration optischer und mechanischer Funktionen aus. Wichtige Projektergebnisse sind zudem als Detailaufnahmen hervorgehoben: Bereiche mit hoher lokaler Umformung konnten prozesssicher mittels mäandrierender Leiterzüge überwunden werden, die lokale Verwendung von Schutzmaterialien verringerte Schäden während des Umform- und Umspritzprozesses und die Kontaktierung hochminiaturisierter Logikbauteile mit kleinsten Rastermaßen auf siebgedruckten Leiterstrukturen wurde erfolgreich realisiert.

Durch die Integration elektronischer Bauteile geht der im Projekt erfolgreich entwickelte Ansatz deutlich über das hinaus, was heute unter Conformable Electronics verstanden wird. Als Anwendungsgebiete, die von der neuen Prozesskette profitieren können, sind unter anderem Bedienelemente von Geräten, Beleuchtungen, Baugruppen im Automobilbereich sowie Medizinprodukte denkbar.

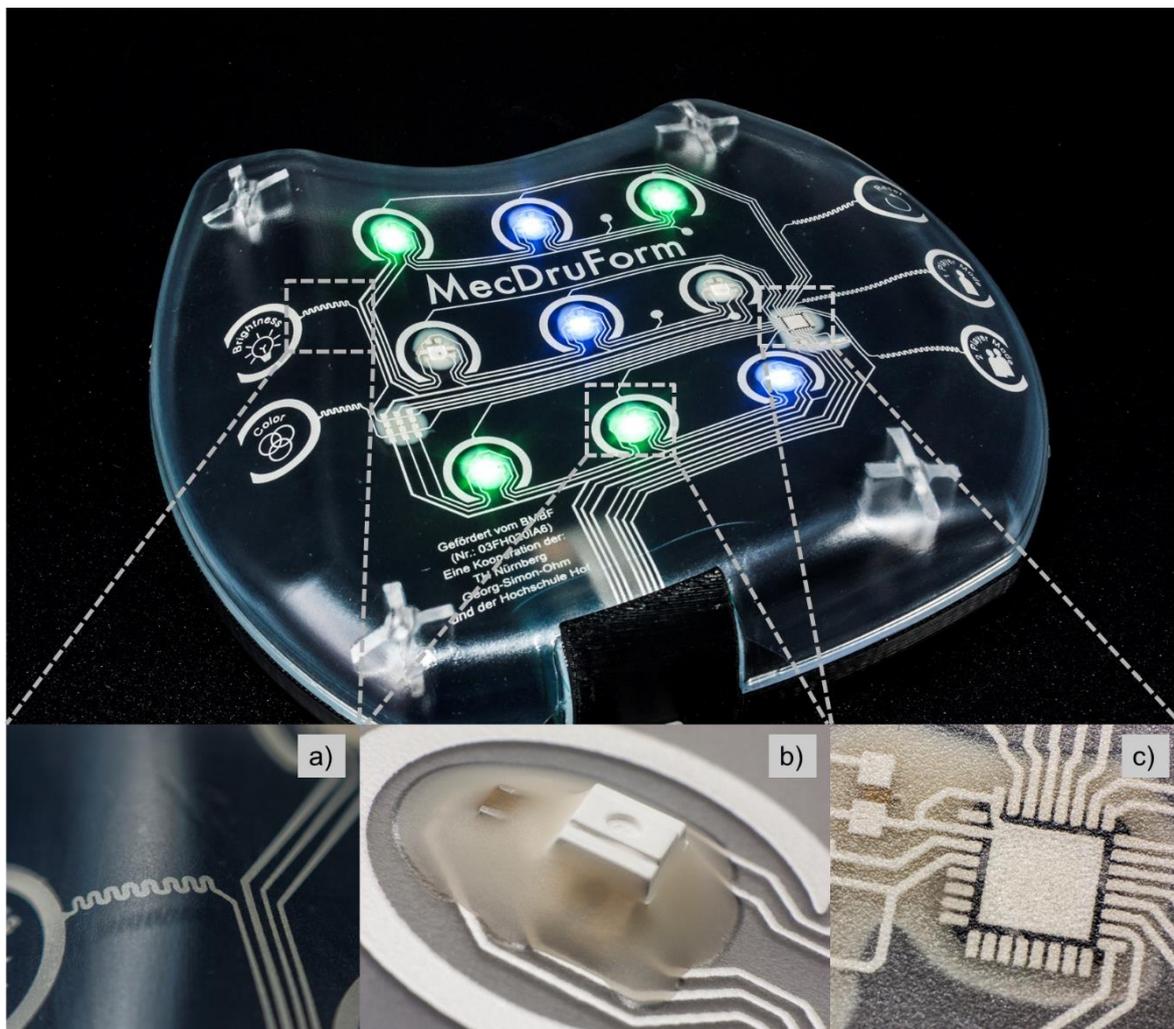


Abb. 3: 3D-Gaming-Device „TicTacToe“ als Demonstrator im Projekt MecDruForm; Abbildung wichtiger Projektergebnisse durch mäandrierende Leiterbahnen in Bereichen mit hoher lokaler Umformung (a), dispenses Verstärkungsmaterial im Bereich empfindlicher Bauteile vor dem Umspritzen (b) und Verwendung von Logikbauteilen mit kleinem Rastermaß (c)

## Partner

Das Forschungsprojekt wurde von den Forschungspartnern Institut für Materialwissenschaften (ifm) der Hochschule Hof sowie vom Institut Chemie, Material- und Produktentwicklung (OHM-CMP) der Technischen Hochschule Nürnberg und zwei industriellen Projektpartnern bearbeitet. Von industrieller Seite unterstützen die Firmen Micro Systems Engineering GmbH (Berg) und die RF Plast GmbH (Gunzenhausen) das Forschungsprojekt.

## Referenzen

- [1] Schirmer, Julian; Eisen, Kilian; Reichenberger, Marcus; Roudenko, Jewgeni; Neermann, Simone und Franke, Jörg. „Long-Term Behavior of SMT Components Mounted on Printed Polymer Thick Film Pastes“. 13th International Congress Molded Interconnect Devices (MID). 2018.
- [2] Schirmer, Julian; Reichenberger, Marcus; Neermann, Simone und Franke, Jörg. „Lötverbindungen auf polymeren Dickschichtpasten: Verarbeitung und Eigenschaften“. GMM-Fb. 94: EBL 2020 – Elektronische Baugruppen und Leiterplatten. VDE Verlag, 2020, S. 43–48.
- [3] Schirmer, Julian; Reichenberger, Marcus; Neermann, Simone und Franke, Jörg. „Conformable Electronics: Thermoforming and Injection Molding of Electronic Components“. 44th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE). 2021.
- [4] Schirmer, Julian; Reichenberger, Marcus; Wimmer, Annette; Reichel, Herbert; Neermann, Simone und Franke, Jörg. „Evaluation of Mechanical Stress on Electronic Assemblies During Thermoforming and Injection Molding for Conformable Electronics“. 14th International Congress Molded Interconnect Devices (MID). 2021.