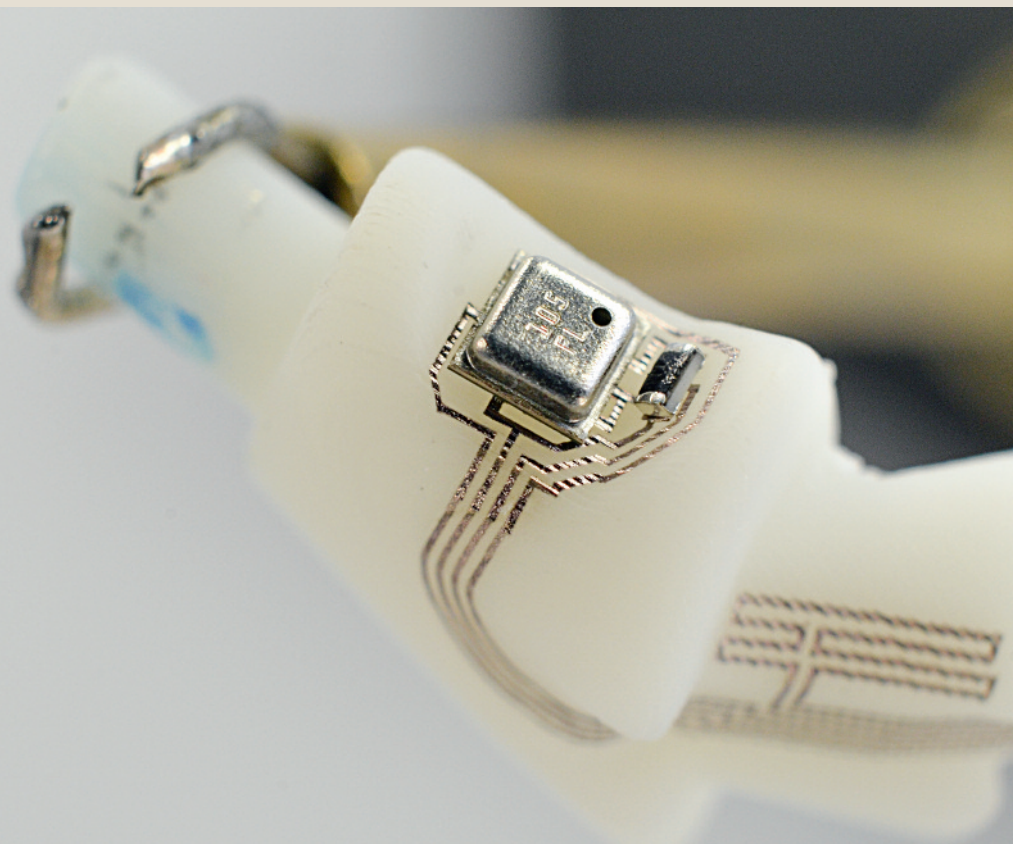


# Funktionalisierte Otoplastiken volladditiv herstellen

Mittels additiver Fertigung und Digitaldruck lassen sich komplex geformte Schaltungsträger herstellen. Deren automatisierte **3D-BESTÜCKUNG** mit elektronischen Komponenten erlaubt die Fertigung individuell angepasster Systeme.



**Bild 1. Additiv gefertigte Otoplastik mit Drucksensor als Funktionsdemonstrator**

**KAI WERUM, MAXIMILIAN BARTH UND JONAS JÄGER**

Otoplastiken bezeichnen die in der Medizintechnik verwendeten, individuell an den Patienten angepassten Ohrstücke, die beispielsweise für die Träger von Hörgeräten angefertigt werden. Hier kommen heute bereits Verfahren der additiven Fertigung zum Einsatz. Die Integration zusätzlicher Funktionen bietet dabei Möglichkeiten für völlig neue Anwendungen wie zum Beispiel die nichtinvasive und kontinuierliche Messung des Blutdrucks. **Bild 1** zeigt beispielhaft eine additiv gefertigte Otoplastik als Demonstrator.

Sowohl additive Verfahren zur Herstellung von 3D-Objekten als auch Verfahren zur Herstellung von

Leiterbahnen auf 3D-Oberflächen mittels digitaler Drucktechnologien bieten heute eine zunehmende technologische Reife, sodass sich immer mehr mögliche Einsatzbereiche ergeben. Die Kombination dieser Technologien für neuartige 3D-Schaltungsträger stellen in zahlreichen Anwendungen eine vielversprechende Alternative zu planaren Schaltungsträgern dar, die in individualisierten, miniaturisierten Baugruppen heute oftmals noch manuell verarbeitet werden. Die Herausforderung liegt dabei in der Berücksichtigung und Kombination der Anforderungen der jeweiligen Technologien.

## Additive Fertigung der Grundkörper

Unter den verfügbaren additiven Fertigungsverfahren zeichnet sich Digital Light Processing (DLP) als eine Art der Stereolithografie (SLA) vor allem durch eine hohe Genauigkeit aus. Ähnlich wie bei SLA erfolgt die Herstellung der

Grundkörper aus einem flüssigen UV-lichtsensitiven Harz durch Fotopolymerisation. Im Gegensatz zu SLA, wo die schichtweise Belichtung und Aushärtung des Harzes durch einen scannenden Laserstrahl erfolgt, wird das Harz bei DLP durch UV-LEDs schichtweise flächig belichtet (**Bild 2**). Die simultane

### > KONTAKT

FORSCHUNGSEINRICHTUNG  
**Hahn-Schickard-Gesellschaft  
 für angewandte Forschung e.V.**  
 D-70569 Stuttgart  
 Tel. +49 711 685 83712  
 info@hahn-schickard.de  
[www.hahn-schickard.de](http://www.hahn-schickard.de)

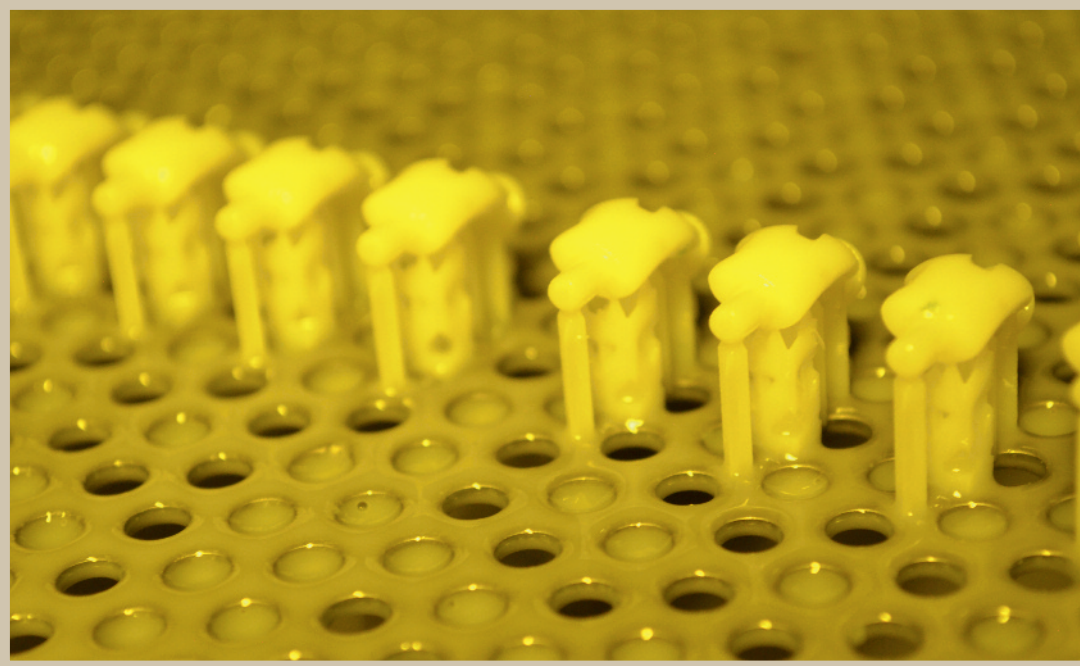


Bild 2. Zum Einsatz kommt das Verfahren des Digital Light Processing (DLP)

Belichtung einer Ebene erlaubt dabei einen schnelleren Prozess als die zeilenweise Belichtung bei SLA. Bei den Verfahren gibt es nahezu keine Geometrie-einschränkungen, weshalb individuelle und kundenspezifische Lösungen einfach umgesetzt werden können.

### Leiterbahnen auf 3D-Bauteilen mit Digitaldruck

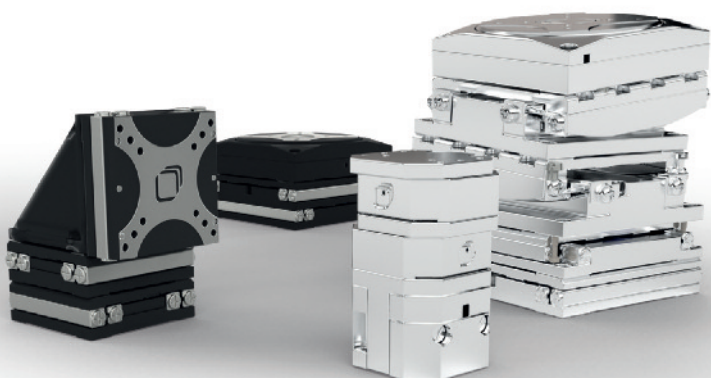
Der Aerosol-Jet-Druck erlaubt als digitales und kontaktloses Druckverfahren die Herstellung feinsten Strukturen auf unterschiedlichsten Substraten. Dabei können auch unebene Substrate bedruckt werden. In einer digitalen Prozesskette werden auf additiv

gefertigten Grundkörpern mittels Aerosol-Jet-Druck leitfähige Tinten, zum Beispiel auf der Basis von nanopartikulärem Kupfer oder Silber, aufgebracht. Das Benetzungsverhalten der Tinten kann durch eine vorherige Plasmabehandlung angepasst werden, welche sich zusätzlich positiv auf die Haftfestigkeit der gedruckten Strukturen auswirkt (Bild 3). Nach dem Druckprozess erfolgt ein photonischer Sinterprozess, bei dem die gedruckten Strukturen ihre Leitfähigkeit durch Lichtblitze erhalten.

Für gedruckte Silberschichten kommt als Aufbau- und Verbindungstechnik die Applikation von leitfähigen Klebstoffen (Isotropic Conductive Adhesives, ICAs) durch Dispensen und Stempeln infrage. ▶

## Ultra Präzise Positionierlösungen

für Optik und Halbleiteranwendungen in extremen Umgebungsbedingungen



- Ausrichtung von Optikkomponenten bei Montage und Qualitätskontrolle
- Strahlformung und -lenkung in Lithographie und Mikroskopie Systemen



bis zu  
 $5 \times 10^{-11}$  mbar



150 °C  
Bake-Out

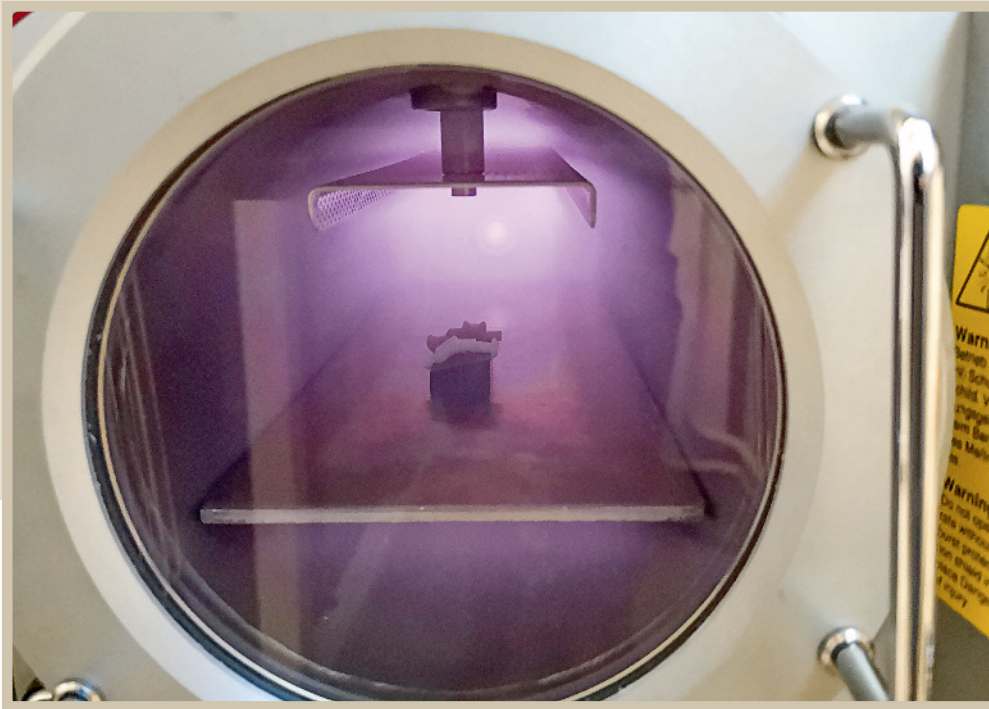


Multi-Achsen  
Positionierung



1 nm  
Auflösung





**Bild 3. Die vorangegangene Plasmabehandlung verbessert die Haftfähigkeit**

Insbesondere durch Stempeln können auch kleinste Mengen Klebstoff auf die 3D-Bauteile transferiert und SMD-Komponenten mit kleinen Anschlussrastern assembliert werden. Die Aushärtung des ICA erfolgt thermisch in einem konventionellen Ofen. Zur Charakterisierung der Haftfestigkeit der mittels ICA aufgebauten SMD-Bauteile dienen Schertests.

Ziel ist es, den Prozess über das Laborstadium hinaus bis hin zur Produktion abzubilden. Zur automatisierten 3D-Bestückung werden die Schaltungsträger über eine 3D-Aufnahme mit Achssystem räumlich ausgerichtet. Die Positionserkennung erfolgt über ein Kamerasystem, das neben der X- und Y-Position auch die Z-Ebene hochgenau referenzieren kann. In Kombination mit einer Unterseitenerkennung der zu bestückenden 3D-Bauteile ist es möglich, SMD-Komponenten wie bei planaren Substraten hochgenau zu bestücken.

Prinzipiell sind auch Lötprozesse auf den additiv gefertigten Schaltungsträgern denkbar, insbesondere unter Verwendung niedrigschmelzender Lote. Prozesstechnisch bedingt sind die durch Aerosol-Jet gedruckten Silberschichten sehr dünn und lösen sich bei Lötprozessen meist durch Ablegierung im flüssigen Lot auf. Die Herstellung von Leiterbahnen aus Kupfer durch die Kombination von Digitaldruck mit außenstromloser chemischer Metallisierung zur Abscheidung höherer Schichtdicken mit dem Ziel, lötbare Oberflächen zu erreichen, ist derzeit Gegenstand aktueller Forschung bei Hahn-Schickard.

### Digitale Prozesskette

Die digitale Prozesskette erlaubt sowohl die Individualisierung der Grundkörper als auch des Leiterbahnlayouts und der Bestückung mit SMD-Komponenten und bietet daher die Möglichkeit, mit größter

Designfreiheit individuelle Produkte mit einfachen elektronischen Schaltungen herzustellen. Beispielsweise kann durch die Integration eines Sensors oder Aktors ein neuartiges Produkt mit entsprechendem Mehrwert realisiert werden.

Im Infokasten wird die Prozesskette von der Substratherstellung bis hin zum bestückten Bauteil beschrieben. Um ein breites Spektrum in industriellen und medizintechnischen Anwendungen zu bedienen, können unterschiedliche Materialien zur Herstellung der Grundkörper eingesetzt werden. Verschiedene Materialkombinationen aus Substrat und Tinte erfordern nur angepasste Datensätze der Druck- und Sinterparameter und verdeutlichen dabei die Flexibilität und Vielseitigkeit der Technologie. In **Bild 4** sind Bauteile aus unterschiedlichen Materialien dargestellt, die die gleiche Prozesskette durchlaufen haben. Dabei konnten zum Teil dieselben Datensätze und Programme verwendet werden, teilweise wurden diese an die Materialien angepasst. Die Flexibilität ist somit auch in zukünftigen Inline-Fertigungslinien gegeben und erlaubt eine

### PROZESSKETTE

Von der Substratherstellung bis hin zur automatisierten 3D-Bestückung und Endkontrolle gliedert sich das Verfahren in folgende Schritte:

- Additive Fertigung mit DLP
- Plasmabehandlung
- Aerosol-Jet-Druck
- Photonisches Sintern
- Abgleich Ist-Soll-Position
- Stempeln von Leitklebstoff
- Aufnahme Bauteil und Unterseitenerkennung
- Absetzen des Bauteils
- Curing im konventionellen Ofen
- Optische und elektronische Endkontrolle



**Bild 4.** Mithilfe der digitalen Prozesskette lässt sich eine große Materialvielfalt erreichen

anwendungsspezifische beziehungsweise patientenindividuelle Fertigung.

### Otoplastik zur Messung des Blutdrucks

Die digitale Prozesskette wurde anhand funktionalisierter Otoplastiken mit integrierter Drucksensorik demonstriert. **Bild 1** zeigt eine solche Otoplastik. Bei den Drucksensoren handelt es sich um digitale MEMS-Sensoren in einem LFA-Gehäuse mit Metalldeckel zur Druck- und Temperaturmessung. Die Sensoren zeichnen sich durch einen geringen Stromverbrauch aus und eignen sich daher vor allem für batteriebetriebene mobile Geräte.

Im Falle der Otoplastiken soll der Sensor zur nicht-invasiven und kontinuierlichen Messung des Blutdrucks im Ohr eingesetzt werden. Da Herz-Kreislauf-Erkrankungen nach wie vor die häufigste Todesursache in Industrieländern darstellen, sind wenig invasive Methoden für das Monitoring der relevanten

Vitalparameter von großem Interesse. Können Patienten mit zu hohem Blutdruck rechtzeitig behandelt werden, dann könnte fast die Hälfte der Schlaganfälle und Herzinfarkte vermieden werden. Das Messprinzip wurde im Rahmen des BMBF-Projekts »MikroBo« auch in klinischen Studien mit Funktionsdemonstratoren an Patienten untersucht. ■

MI110728

#### Danksagung

Für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Projekts »MikroBo« (Fördernummer 16ES0772) sei dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gedankt.

#### AUTOREN

KAI WERUM, M.Sc., ist Projektleiter Mikromontage bei Hahn-Schickard in Stuttgart; kai.werum@hahn-schickard.de  
 JONAS JÄGER, M.Sc., ist dort Projektleiter Drucktechnik; jonas.jaeger@hahn-schickard.de  
 Dipl.-Ing. MAXIMILIAN BARTH ist Gruppenleiter Mikromontage; maximilian.barth@hahn-schickard.de

**FEMTOprint**  
3D printing for glass microdevices

At FEMTOprint, complexity is made simple.

You imagine the concept. We make it real with our capabilities in 3D microfabrication, sealing, polishing and marking for glass microdevices. From rapid prototyping to industrial series productions, we are at the forefront of free-form manufacturing at sub-micron resolution of customized microfluidics, micro-optics, photonics and micro-mechanics.

- > Lab- and organ-on-a-chip
- > Bioreactors, scaffolds & printheads
- > Through-Glass-Vias TGV
- > Photonic packaging
- > Free-form optics & microlens array MLA
- > MEMS & sensing technologies
- > Masters for microimprint
- > Watchmaking components

MEDICAL | LIFE SCIENCES | INTEGRATED PHOTONICS | ENERGY |  
MICROMECHANICS | AEROSPACE | WATCHMAKING

FEMTOprint SA © 2021

THE ART of high-precision  
μMANUFACTURING.

EN ISO 13485:2016

www.femtoprint.ch

Swiss  
made