

# Unkonventionelle Sensor- und Aktorsysteme auf Basis von Leiterplatten

**Lehnberger, Christoph**

ANDUS ELECTRONIC GmbH, Berlin

## Kurzfassung

Der Beitrag erläutert Ergebnisse aus laufenden Forschungsprojekten, die sich mit Sensorik und Aktorik beschäftigen. Die Möglichkeiten für Sensoren und Aktoren gehen dabei über eine einfache kapazitive oder resistive Messung weit hinaus. So dienen Hohlräume und Kanäle in der Leiterplatte zur Leitung von Fluiden und Schaltung von pneumatischen Systemen. Es werden aktuelle und potenzielle Anwendungen präsentiert. Für den Kontakt mit korrosiven Medien werden Strukturen aus reinem Gold auf Leiterplatten erzeugt. Dabei kommen auch medienbeständige Basismaterialien zum Einsatz, die z.B. hohen Säurekonzentrationen widerstehen. Der aktuelle Stand der Forschung wird vorgestellt. Schließlich werden neuartige Aktoren vorgestellt, die nach dem Prinzip der Elektrothermik arbeiten. Diese weisen im mikromechanischen Bereich Vorteile gegenüber anderen Aktorprinzipien auf.

## 1. Einführung

Sensoren erfassen physikalische oder chemische Parameter und wandeln die Messergebnisse in elektrische Signale um. So liegt es nahe, Sensoren selbst in die elektrische Verdrahtungsebene zu integrieren, also Sensoren in Leiterplattenprozessen zu erzeugen. Analog können Aktoren integriert werden, indem spezielle Funktionselemente ihre aktorische Wirkungen entfalten.

## 2. Pneumatik und Mikrofluidik

### 2.1. Grundsätzliche Überlegungen

Herkömmliche pneumatische Systeme kombinieren Elemente wie Pumpen, Druckminderer, -verteiler und -speicher, Mischer, Ventile, Zylinder, Drucksensoren etc. Diese Elemente sind durch einzelne Schläuche miteinander verbunden.

Der Aufbau pneumatischer Systeme erinnert an den fliegenden Aufbau von elektronischen Schaltungen zu Beginn des letzten Jahrhunderts. Größere Bauelemente wie Röhrensockel bildeten damals die tragenden Elemente, während kleinere Bauteile einfach dazwischen gelötet wurden. Bei Bedarf griff man auf Lötleisten zurück.

Durch den Einzug der Leiterplatte als 2,5-dimensionaler Schaltungsträger wurde es möglich auch komplexere elektronische Schaltung übersichtlich und sicher aufzubauen.

Eine ähnliche strukturierende Wirkung können so genannte *pneumatronische Systeme* entfalten. Bei diesen werden die Schläuche durch Kanäle in Leiterplatten ersetzt.

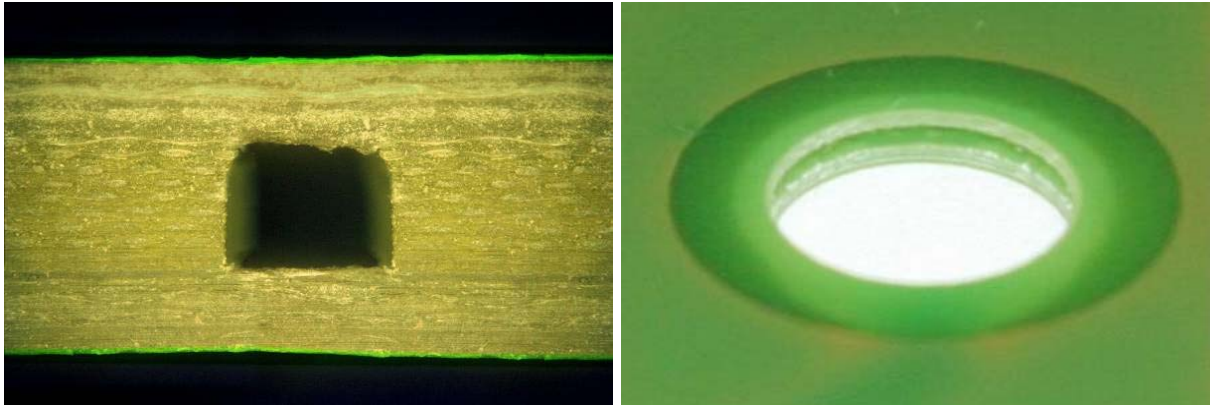


Abb. 1: Kanäle in Leiterplatten für Druckluft und andere Fluide

Anwendungsspezifische Bauelemente und Strukturen lassen sich wie folgt integrieren:

- Ventile können in der Pneumatronik als Bauteile bestückt werden.
- Pneumatik-Zylinder, Pumpen und wechselbare Filter werden meist über Ringdichtungen angeflanscht.
- Weitere pneumatische Elemente wie Drosseln und Druckminderer können durch spezielle geometrische Ausprägung der Kanäle erzeugt werden.
- Weiterhin besteht eine einfache Möglichkeit, die Fluide zu temperieren: Zur Kühlung dienen Kupferstrukturen, Kühlkörper oder Peltier-Elemente. Eine Erwärmung kann über Heizmeander oder Peltier-Elemente erfolgen. Die Steuerung erfolgt über Thermoelemente. Selbst Wärmetauscher können in Leiterplatten strukturiert werden.

Heutige pneumatronische Anwendungen nutzen Luftdrücke von bis zu 6 bar, zum Teil auch bei höheren Temperaturen.

Aufgrund der großen Designfreiheit eignet sich diese Technologie für eine Vielfalt von Anwendungen, wie der Medizintechnik, pneumatische Steuerungen u.v.m. Im Vordergrund steht dabei meist die Miniaturisierung und Vereinfachung von Systemen mit vielen Einzelverbindungen aus Schläuchen und Kanülen. Diese Systemintegration erinnert an den Einzug der Leiterplatte in die Elektronik vor vielen Jahrzehnten, als die fliegenden Verdrahtungen durch ordnende Pertinaxplatinen ersetzt wurden.

## 2.2. Sensoren in pneumatronischen und mikrofluidischen Anwendungen

Sensoren können, wie bei herkömmlichen Leiterplatten, als THT- oder SMD-Bauteile auf Leiterplatten gelötet werden. Dazu zählen vor allem die folgenden anwendungsspezifischen *On-Board*-Komponenten:

- Absolute und differenzielle Drucksensoren, die über gelötete oder geklebte Dichtungen an die Kanäle angeschlossen werden;
- Temperatursensoren, welche die Temperatur der Kanalwände wiedergeben;
- optische Sensoren können über eingesetzte Fenster Helligkeit, Farbspektrum, Homogenität, Partikelverteilung und vieles mehr erfassen.

Daneben können Sensoren auch direkt *in die Leiterplatte* integriert werden, bestehend aus Strukturelementen, die während der Fertigung erzeugt werden:

- Elektroden zur kapazitiven oder resistiven Messung von Feuchtigkeit, elektrischer Leitfähigkeit u. a.;
- Messung der Temperatur durch integrierte diskrete Thermoelemente oder als geätzte Struktur von PTC-Schichten;
- Sensoren für die Fließgeschwindigkeit, Dichte bzw. Wärmekapazität entweder per Hitzdrahtmessung oder als Kombination aus Heizelement und Thermoelementen;
- Elektroden zur Auslösung von elektrochemischen Reaktionen. In Kombination u.a. mit optischen Detektoren lassen sich chemische Prozesse quantifizieren. So lassen sich Inhaltsstoffe von Fluiden monitoren.
- Spulen und Kondensatorelektroden zur Detektion und Erzeugung von elektromagnetischen Effekten.

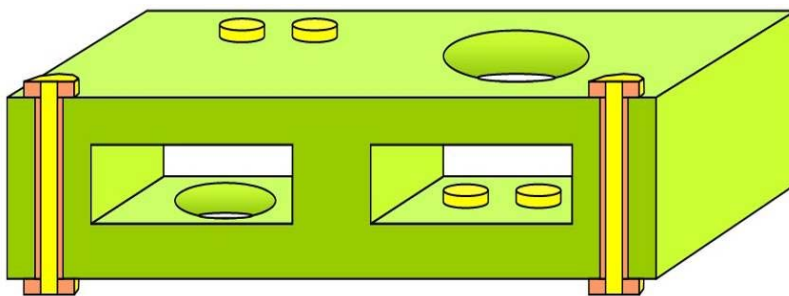


Abb. 2: Aufbau von Pneumatronik-Leiterplatten mit möglichen Stellen für Sensoren auf und in der Leiterplatte

An dieser Stelle wird bewusst auf die vollständige und konkretere Aufzählung von Anwendungsmöglichkeiten verzichtet, um eigene Ideen von interessierten Lesern zu stimulieren. Der Autor diskutiert diese gerne mit den Ideengebern.

### 2.3. Medienbeständige und biokompatible ReinGold Oberfläche

Wie im vorigen Kapitel dargestellt, finden Kanäle in Leiterplatten nicht nur Anwendung für Druckluft und Pneumatik-Anwendungen, sondern auch für Flüssigkeiten und spezielle Gase.

Leiterbahnen, die in direktem Kontakt mit aggressiven Flüssigkeiten stehen, neigen zur Korrosion, auch wenn das Kupfer durch herkömmliche Gold-Oberflächen geschützt ist. Säuren, Basen und andere Medien greifen die unedlen Metalle durch Poren im Gold an. Selbst dicke Goldschichten bilden keine Barriere. Die Flüssigkeiten gelangen an der Grenzlinie zwischen Gold und Basismaterial durch den Kapillareffekt bis zum Basismaterial.

Gleichzeitig werden die Medien durch herausgelöstes Nickel und Kupfer kontaminiert. Diese Metalle bilden Zellgifte und sind für medizinisch biologische Anwendungen ungeeignet.

Die neue Oberfläche ReinGold [1] wird direkt auf Basismaterial aufgebracht. Entsprechende Leiterplatten enthalten also keine unedlen Metalle mehr, die sich auflösen könnten. Dadurch werden die Leiterplatten beständig gegen aggressive Medien und gleichzeitig biokompatibel.

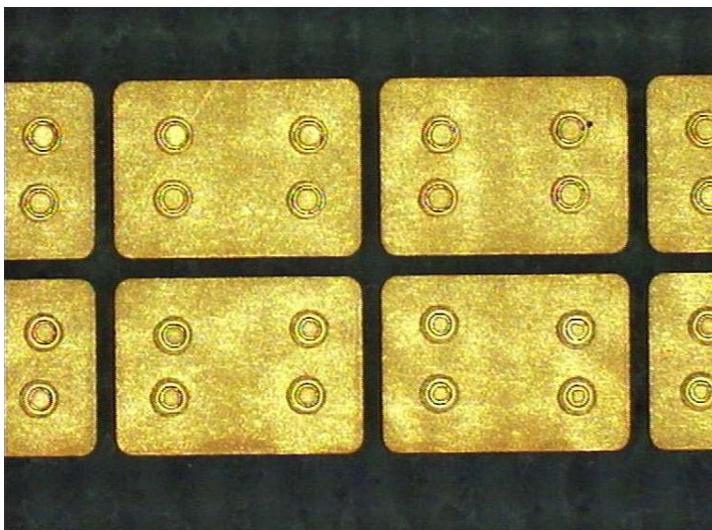


Abb. 3: ReinGold-Oberfläche eines Sensorarrays

Elektroden aus ReinGold können in Leiterplatten-Kanäle eingebracht werden. Dadurch werden weite Anwendungsbereiche der oben beschriebenen Sensoren auf Basis von Leiterplatten möglich.

Grundsätzliche Anwendungsgebiete sind beispielsweise:

- Hochminiaturisierte und energieautarke Funksensoren [2],
- Füllstandselektroden in der medizinischen Labordiagnostik,

- Kontaktplatten für die Forschung an neuronalen Zellkulturen,
- Lebensmittel und Umweltanalytik,
- Kontaktleitungen für MEMS-Sensoren für intravenöse Anwendungen.

## 2.4. Stromdichtesensoren

Auf eine spezielle Anwendung der ReinGold-Oberfläche soll hier separat eingegangen werden: Stromdichtesensoren für Brennstoffzellen [3].

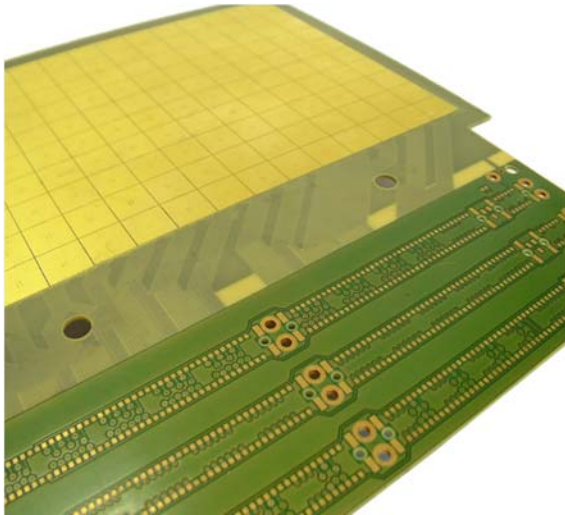


Abb. 4: Sensorarray zur Messung von Stromdichte- und Temperaturverteilungen in Brennstoffzellen-Stacks

Die Sensoren beinhalten zahlreiche vergrabene Shuntwiderstände, durch die der Strom von der segmentierten Elektrode auf der Vorderseite zu den gegenüberliegenden Elektroden auf der Rückseite geleitet wird. Parallel dazu wird die Temperatur orts aufgelöst durch strukturierte PTC-Folien ebenfalls orts aufgelöst ermittelt.

Diese Sensorplatten dienen unter anderem der Entwicklung von Brennstoffzellen dadurch, dass negative Veränderungen bei Material und Gasverteilung im laufenden Prozess detektiert werden können.

## 3. Elektrothermische Aktoren

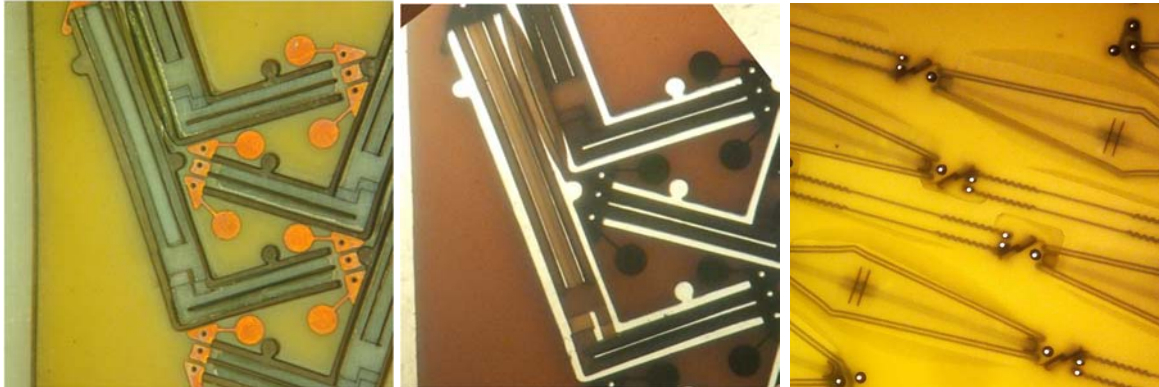
Im Rahmen eines Forschungsprojekts [4] wurden elektrothermische Aktoren auf Basis von Leiterplattentechnologien entwickelt.

### 3.1. Prinzip

Elektrothermische Aktoren [5] beruhen auf dem Prinzip der thermomechanischen Ausdehnung. Zum Einsatz kommt ein Hochtemperatur-Polymer, welches einen hohen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist.



Mittels von Heizleitern, welche die strukturierten Polymerfolien lokal erwärmen, lassen sich lokale Geometrieänderungen hervorrufen. Eine spezielle Formgebung und Folien auf zwei Ebenen ermöglichen die Herstellung von Aktoren, welche sich parallel zur Folienebene und senkrecht dazu bewegen.



*Abb. 5: Links und Mitte: Aufsicht- und Durchlichtaufnahme von rechtwinklig angeordneten Aktorpaaren. Maßstab: 2,5 mm Raster der runden Aussparungen. Rechts: Heizleiter der oberen und unteren (unscharf durchscheinend) Aktorebene von linear angeordneten Aktoren vor der mikromechanischen Strukturierung.*

## Literatur

- [1] Förderung durch das BMWi, FKZ ZF4300101LT6: ReinGold - Inertmetall-basierte Baugruppen für korrosive Medien.
- [2] Gottwald, Stefan: Projekt PCB 4.0 – hochminiaturisierte und energieautarke Funksensorknoten für die Industrie der Zukunft. Symposium Elektronik und Systemintegration, Landshut, 11. April 2018.
- [3] <http://www.splusplus.de/en/products.html>
- [4] Förderung durch das BMBF, FKZ 16SV6402: MOBiles Braille-Display auf Basis von Integrierten Elektrothermischen Mikroaktoren in Leiterplatten - MOBILize.
- [5] Nakic, Christian; Schlaak, Helmut F.: Motion analyzer for characterization of micro actuators with movements in 3 degrees of freedom. Proceedings - Mikrosystemtechnik Kongress 2017, München, 23.-25. Oktober 2017.

## Kontakt

Dr. Christoph Lehnberger  
ANDUS ELECTRONIC GmbH  
Görlitzer Str. 52  
10997 Berlin  
E-Mail: [c.lehnberger@andus.de](mailto:c.lehnberger@andus.de)