

## Motivation

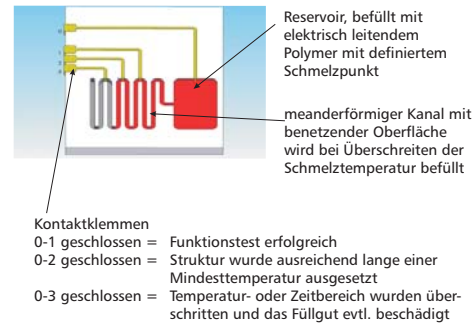


Abbildung 1: Prinzip der Mäanderstruktur

### Anwendungen von RFID in Verbindung mit Temperatur-Zeit-Integratoren (TTI):

- Überwachung der Sterilisationsprozesse von Lebensmittelverpackungen
- Überwachung von kompletten Kühlketten vom Verpacken bis zur Kühltheke

### Anforderung an Sensoren in Verpackungen

Aus Sicherheits-, Platz- und Kostengründen muss auf elektronische Komponenten wie Batterien, Mikrocontroller oder Speichermodule verzichtet werden. -> **komplett passive Lösung**

Die Grundfunktion der Sensoren muss irreversibel und zum Zeitpunkt des Befüllens **aktivierbar** sein um Lagerkosten gering zu halten.

Die Sensoren müssen als Teil einer intelligenten Verpackung in den Packstoff bei dessen Herstellung **integrierbar** sein.

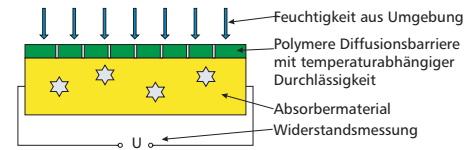


Abbildung 2: Prinzip der Diffusionsbarriere

## Kapillarität

Die Kapillarkraft beruht auf den Grenzflächeneffekten des Dreiphasensystems gasförmig (Index g), flüssig (l) und fest (s), welche durch die Young Gleichung beschrieben werden

$$\sigma_{sg} - \sigma_{sl} = \sigma_{lg} \cos \theta$$

Das Kräftegleichgewicht aus Kapillar- und Gewichtskraft aus dem Steigversuch liefert die Oberflächenspannung.

$$2\pi R \sigma_{lg} \cos \theta = \Delta p \pi R^2 = \rho g L \pi R^2 \Rightarrow \sigma_{lg} = \frac{\rho g L R}{2 \cos \theta}$$

Das dynamische Verhalten wird durch die Navier-Stokes-Gleichung beschrieben (Resultierende Kraft ergibt sich aus Gewichtskraft, Reibungskraft und Kapillarkraft).

$$\frac{d}{dt} \left( m \frac{dx}{dt} \right) = -m_L g - 2\pi R L + 2\pi R \sigma_{lg} \cos \theta$$

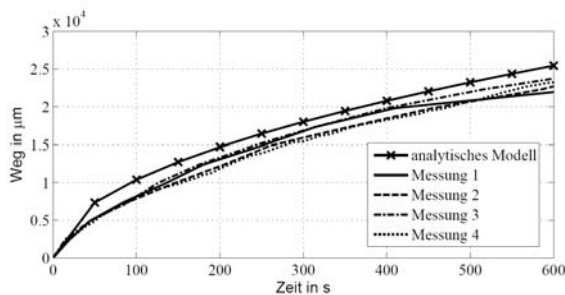


Abbildung 3: Vergleich zwischen analytischem und realem Modell

## Diffusion

In einer Machbarkeitsstudie zur Diffusion durch Polymere wurde eine Interdigitalstruktur mit einer Nafion Dispersion beschichtet, ausgehärtet und anschließend mit einer polymeren Deckschicht versehen.

Nach dem Einbringen in Wasser wurde dieses von der Deckschicht adsorbiert, absorbiert und an der Grenzschicht zum Nafion wieder desorbiert. Eine Änderung des Widerstandes der Nafionschicht ist erst nach Einsetzen der Permeation erkennbar (Abbildung 4 bei ca 40 min).

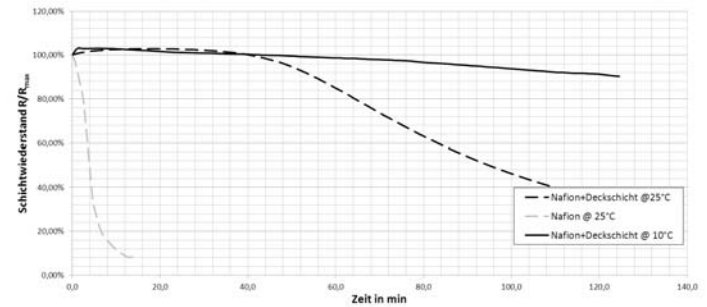


Abbildung 4: Vergleich zwischen analytischem und realem Modell

Je höher die Temperatur, um so schneller gelangt Wasser durch die Barriere und senkt den Schichtwiderstand der Nafionschicht.

Als Referenz dient die Messung an einer Nafionschicht ohne Deckschicht bei Raumtemperatur

## Demonstratoraufbau für Meanderstruktur



Abbildung 5: Modell der Meanderstruktur

Demonstratoraufbau mittels modellbasiertem Entwurf der Meanderstruktur mit 5 Kontrollpositionen, 5 mm Außendurchmesser und Variation der Kanalbreite von 20  $\mu\text{m}$  bis 200  $\mu\text{m}$  bei einer Kanaltiefe von 100  $\mu\text{m}$  (Abbildung 5).

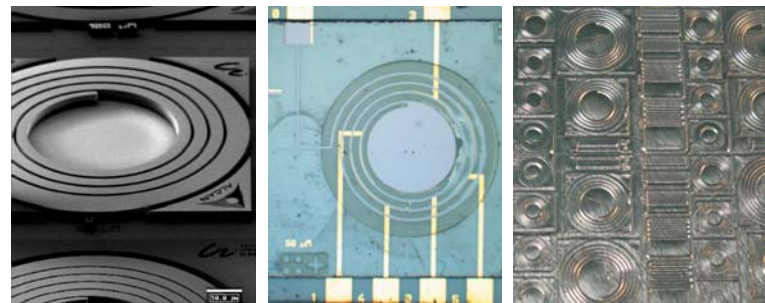


Abbildung 6: Schrittweise Umsetzung des Demonstrators: links = REM-Aufnahme von Teststrukturen aus SU-8, Mitte = Lichtmikroskopaufnahme der Glas/SU-8 Struktur, rechts = Übertragung in Packstoff

Grund- und Deckplatte sind Glas, die Kanalstrukturen bestehen aus photolithografisch strukturiertem Polymer (SU-8) um das System transparent zu halten und den Wachstumsfortschritt optisch zu kontrollieren.

Die Elektroden sind mittels Dünnschichttechnologien auf Grund- und Deckplatte aufgebracht worden, die Struktur selbst wurde auf der Grundplatte aufgebaut. Die Deckplatte wurde abschließend durch Bonden gefügt.

Für die Weiterentwicklung der Demonstratoren und um die Übertragbarkeit der Technologie in Packmaterial wurden im Rahmen des BMBF geförderten Projektes Smart Pack neben den Glas/SU-8 Aufbauten auch Versuche zur Strukturierung von Aluminium-Polymer-Schichtstapeln unternommen. Die Strukturen wurden dabei großflächig per Hot Embossing übertragen.

## Kontakt

Email: mike.schneider@tu-ilmenau.de  
Telefon: +49 3677 693378  
Homepage: www.macronano.de