

Wir beflügeln Leiterplatten.

# FED-Regionalgruppenveranstaltung

21.11.2018

Christian Ranzinger

**contag**



## 1. Technologietreiber & Trends

- „More than Moore...“ & IPC-Trends
- Conformable Electronics

## 2. Materialien

- TPU (Thermoplastisches Polyurethan)
- Mechanische und elektrische Eigenschaften

## 3. Fertigungsprozesse

- Substrat und Schaltungsherstellung
- Bestückung und Zuverlässigkeiten

## 4. PCB-Design und Aufbau

- 1-n-lagig
- Layout der Cu-Strukturen

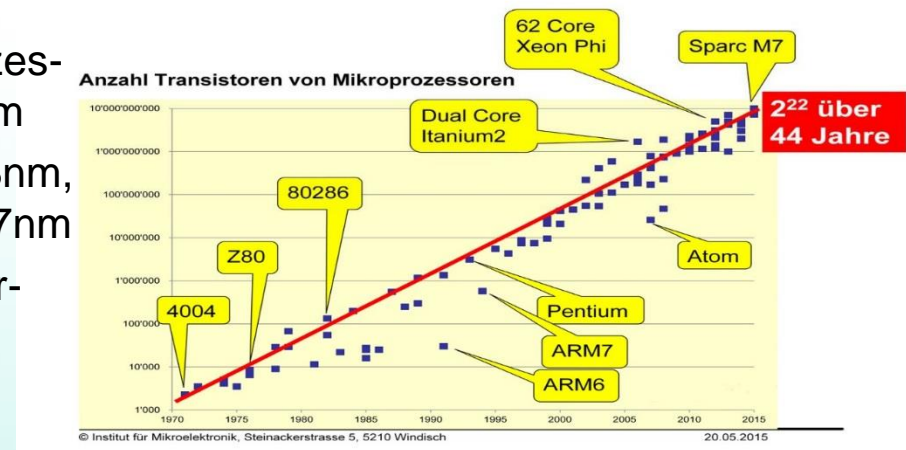
## 5. Realisierte Projekte

- F&E Projekte
- Industrieprojekte



## Integrationsdichte von Schaltkreisen

- „...alle 18 Monate verdoppelt sich die Integrationsdichte der Chips bei gleichen Kosten...“ Gordon Moore, Mitbegründer Intel, 1965; → nach wie vor gültig...
- Integrationsdichte korreliert mit der Anzahl der Transistoren je Flächeneinheit
  - Strukturen der aktuellen Prozessorgeneration liegen bei 10nm
  - Physikalische Grenze bei 2-3nm, wirtschaftliche Grenze bei 5-7nm
  - Ab 2025 neue Konzepte erforderlich



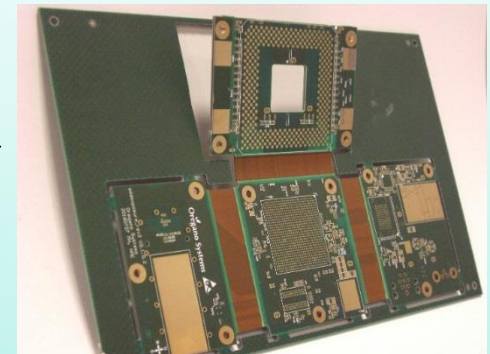
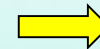
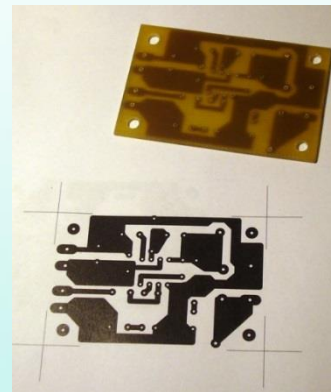
## Alternative AVT-Ansätze

- System-on-Chip, SoC
  - Funktionsintegration auf einem Chip, monolithische Integration
  - Kombination unterschiedliche analoger und digitaler Elemente auf einer Schaltung (Logik, Taktung, Sensorik, etc.)
- System-in-package, SiP
  - Zusammenfassung von mehreren Chips in einem Gehäuse
  - 3D-Ansatz im Unterschied zu den 2D-Multi-Chip-Modulen



## ■ Aktuelle IPC-Studie adressiert für die Leiterplatte:

- Miniaturisierung (Footprint der Bauelemente → 0.3mm Pitch CSP/BGA erfordert 50µm Line/Space)
- Packungsdichte
- Leistung (IMS – Insulated Metal Substrate, Wärmemanagement, Hochstrom)
- Embedding (aktive und passive)
- Flexible und starr-flexible Leiterplatten → **dehnbare Leiterplatten**
- Bleifrei Technologie
- Halogenfrei-Technologie
- LED's
- Optoelektronik
- Gedruckte Elektronik



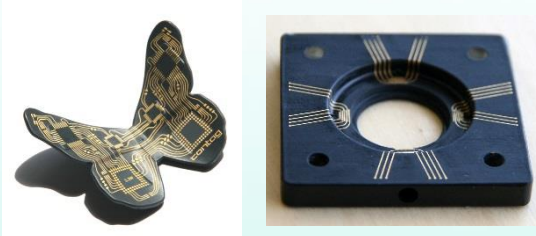
**Leiterplatte wandelt sich vom simplen Bestückungsträger zum Systemträger bzw. Multifunktionsbauteil**

## ■ Conformable Electronics - „Anpassungsfähige Elektronik“

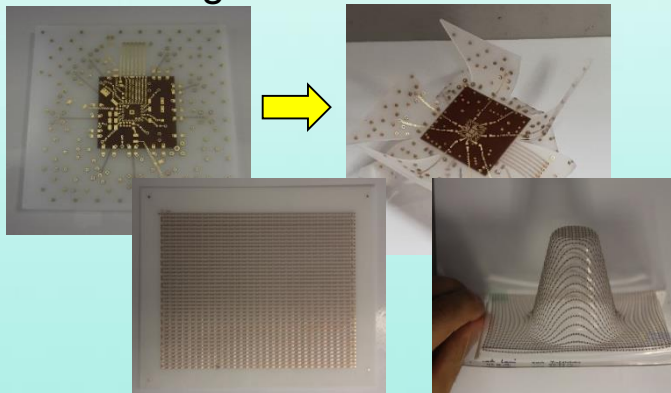
- ...Schlagwort, wenn es um dynamisch verformbare, dehnbare, strukturelle und anpassungsfähige Elektronik geht...
- Schnittmengen mit *Printed Electronics*, *Wearable Electronics*, *Smart Textiles*, *3D-Electronics*...

### a) Geformte Elektronik

- Fertigung in 3D (MID)



- Fertigung in 2D und einmalige Umformung



### b) Dehnbare Elektronik

- Hochflexibel, „knüllbar“
- Mehrfach dehn- und entspannbar



# Einsatzgebiete dehnbarer PCB



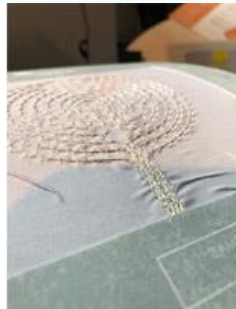
Wir beflügeln Leiterplatten.

## Medizintechnik

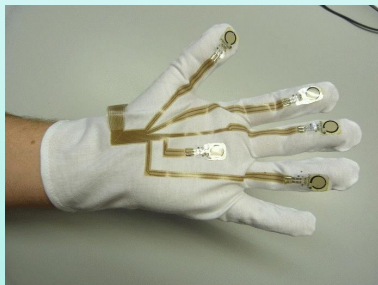
- Intelligente Pflaster und Bandagen
- Messgürtel
- Sensorik
- 12% jährliches Wachstum auf 148 Mrd. \$ in 2024 laut Global Market Insights



## Smart Textiles, Wearables



## Industrieelektronik



## Automotive, Consumer-Electronics, etc.



■ Gummi

■ Latex

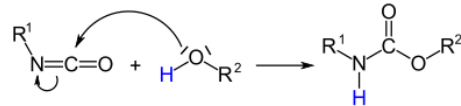
■ Silikon

■ Textilstoffe (Elastan)

■ **Thermoplaste**

■ Polyurethan

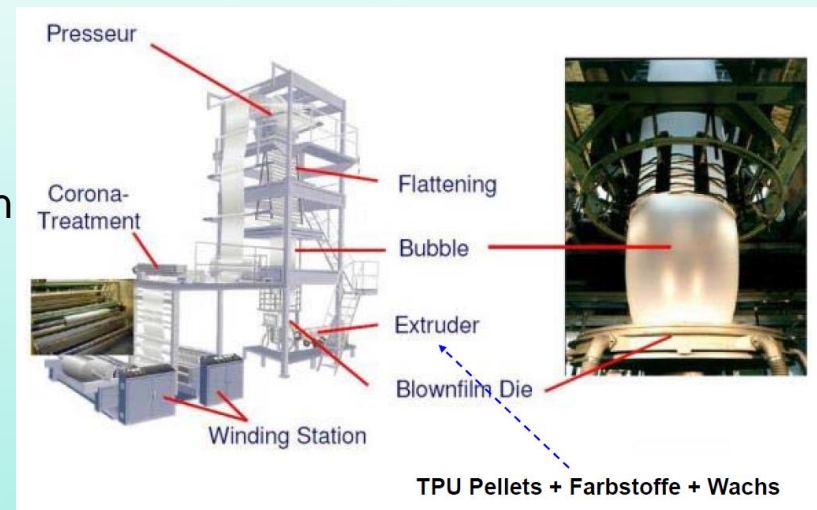
- Kunststoffgruppe, charakteristisch ist die *Urethan*-Gruppe (NH-CO-O-)
- Entsteht durch Reaktion der Isocyanatgruppe mit der Hydroxidgruppe zweier Moleküle



- Je nach Vernetzungsgrad und eingesetzten Cyanat- und OH-Komponenten erhält man Duroplaste, Thermoplaste oder Elastomere
- Eigenschaften von hart über **weich** bis hin zu **elastisch**
- Typische Anwendungen:
  - Schaumstoffe für Matratzen
  - Schuhsohlen, Schläuche, Dichtungen
  - Baustoff (Schäume, Dämmstoffe, Fussböden)
  - Lederimitat
  - Lacke und Beschichtungsstoffe
  - Vergussmassen

## ■ TPU (Thermoplastisches Polyurethan)

- Gehört zur Gruppe der thermoplastischen Elastomere
- Kunststoffe, die bei Raumtemperatur elastomeres Verhalten aufweisen und unter Wärmezufuhr thermoplastisches Verhalten (verformbar)
- Platilon®: Markenname von Covestro für eine extrudierte TPU-Folie aus Multiblock-Copolymer mit Zweiphasenmorphologie (harte und weiche Segmente)
  - Hoch dehnbar (gummielastisch) und mechanisch belastbar
  - Hautsympatisch und biokompatibel (keinen negativen Einfluss bei direktem Kontakt mit lebenden Gewebe)
  - Chemisch stabil gegenüber Ölen, Ozon, Teer, vielen Lösemitteln und verdünnten Säure
  - Wärmebeständig und kältefest
  - Durchstoss- und abriebfest
  - Hohe Dichte bei flüssigen Medien bei hoher Dampfdurchlässigkeit
  - Hydrolyse- und mikrobienbeständig
  - Hohe UV- und Witterungsbeständigkeit
  - Weichmacherfrei
  - Biologisch abbaubar



Prinzipskizze Herstellung einer TPU-Folie, Quelle: Fraunhofer IZM





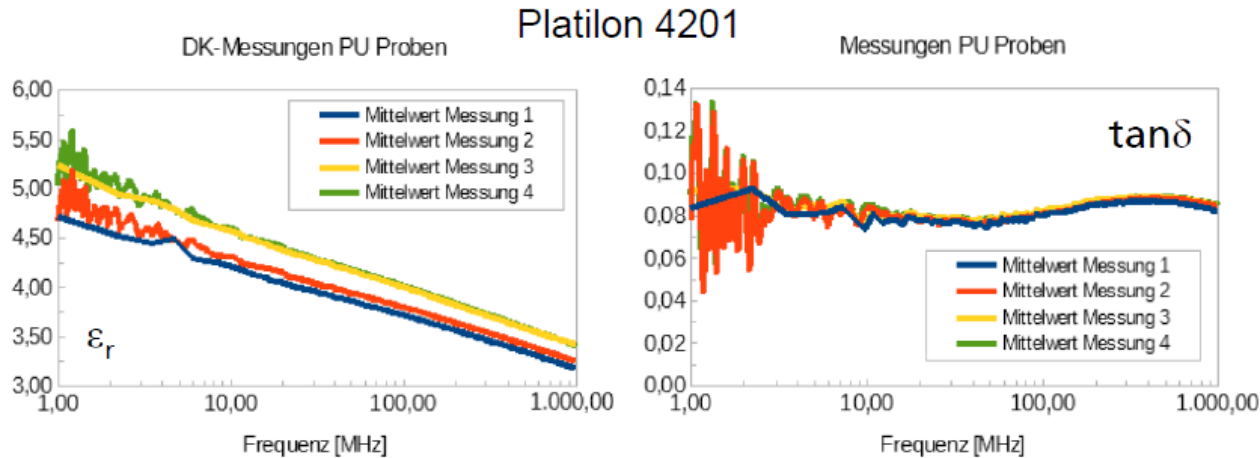
## ■ Platilon 4201®

Eigenschaft	Wert
Dicken	0,025 – 1,00mm (Standard 0,10mm)
Dichte	1,15g/cm <sup>3</sup>
Härte	87 Shore A
Erweichungsbereich	155°C-170°C
Bruchspannung	60MPa
Spannung bei 50% Dehnung	5-7MPa
Bruchdehnung	550%
Thermische Ausdehnung	ca. 200ppm/K
Feuchteaufnahme	ca. 0,6%
Wärmeleitfähigkeit	ca. 0,2W/m*K
Dielektrizitätskonstante $\epsilon_r$	4,4@10MHz/3,2@1GHz
Verlustfaktor $\tan\delta$	ca. 0,08
Durchschlagsfestigkeit	>7,5kV/100 $\mu$ m

Übersicht Materialeigenschaften TPU-Folie



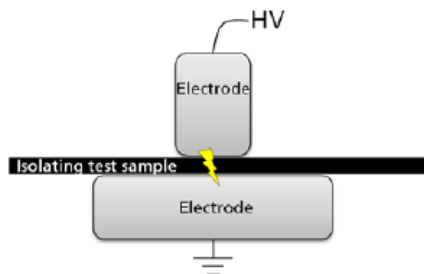
## Dielektrizitätskonstante und Verlustfaktor



FR4	
ε <sub>r</sub>	4,2 – 4,9
tanδ	0,02
Polyimid	
ε <sub>r</sub>	3,4
tanδ	0,003

Untersuchungen zu HF-Eigenschaften, Quelle: Fraunhofer IZM

## Elektrischer Durchschlag



**Bei 100 µm PU Dicke: 7,5 - 9 kV**  
 80% r.h. trocken

FR4	
Durchschlag [kV/100 µm]	8 - 10
Polyimid	
Durchschlag [kV/100 µm]	25

Untersuchungen zur elektrischen Durchschlagsfestigkeit, Quelle: Fraunhofer IZM



## Einseitige dehnbare PCB



Kupferfolie auf TPU-Folie laminieren



Layoustrukturierung



Lötstopplack applizieren und strukturieren (optional)



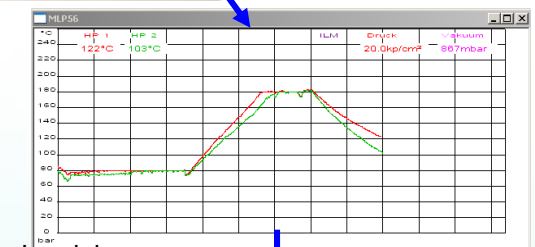
Vorgeschnittene TPU-Folie auflaminiert (optional)



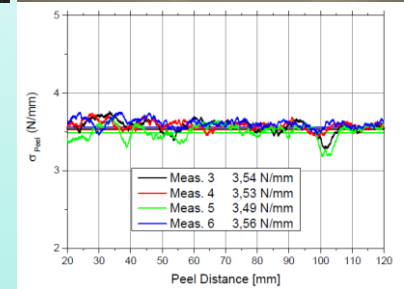
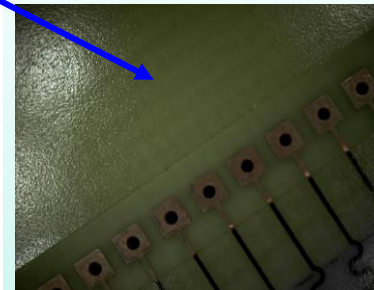
Oberflächenfinishing applizieren



Hydraulische Presse



Laminierprogramm



Haftwerte TPU: >3N/mm  
(FR4 ca. 1,4N/mm)

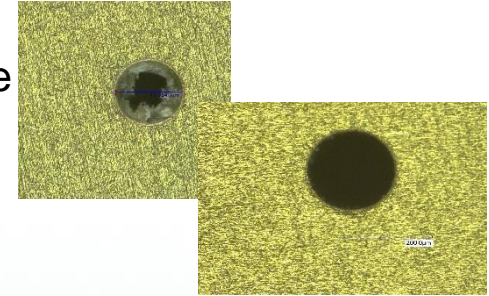
## Etablierte PCB-Technologie nutzbar

- Fotolithografische Prozesse
- Galvanische Prozesse
- E-Test

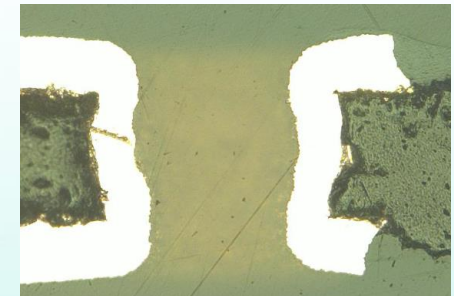


## ■ Kritische Prozesse

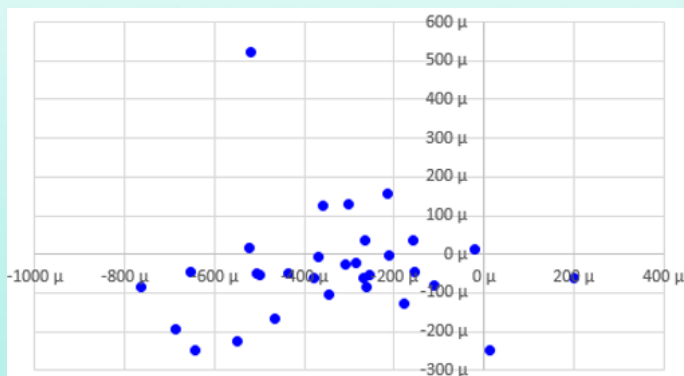
- Substratherstellung
  - Ausreichendes Treatment/Rauheit der Kupferfolie
  - Geeignete Laminierparameter
- Durchkontaktierung
  - Bohrlöcher einbringen (Verfahren, Parameter)
  - Plasmaaktivierung und Direktmetallisierung
- Dimensionsstabilität in der Fertigung
  - Nasschemische Prozesse haben großen Einfluß
  - Handlingshilfsmittel und starrer Träger erforderlich
  - Designoptimierung (Cu-Flutung)



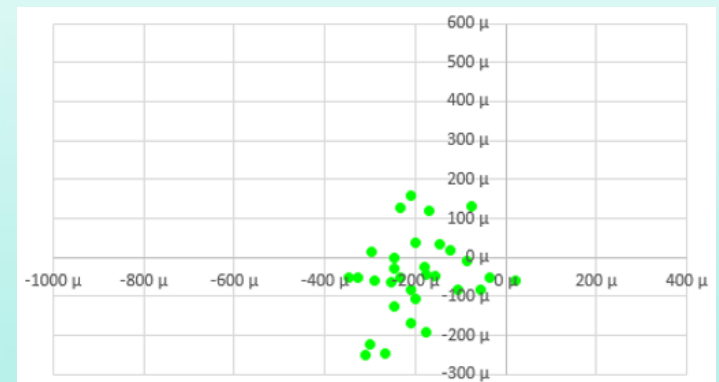
Bohrung im TPU



Durchkontaktierung im TPU



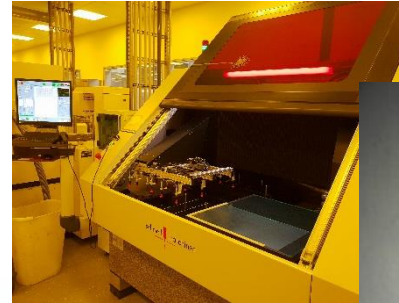
Dimensionsverhalten Fertigungslos vor und nach Optimierung





## ■ Kritische Prozesse

- Konturbearbeitung
  - Laserverfahren bevorzugt
  - Schmauchfreie Schnittkanten möglich



Konturschneiden mit 532nm-Laser

## ■ Endoberflächen

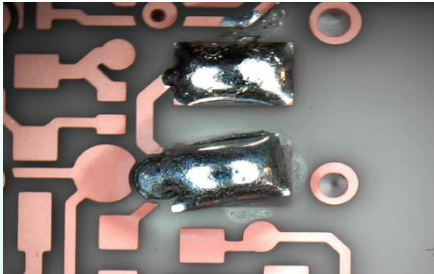
- Alle gängigen chemischen Oberflächen möglich
- ENIG, ENEPIG, ISn, IAg, ISIG, EPIG
- Kein Nickel im Biege/Dehnbereich zulässig (adäquat zu Flex)

## ■ Optionale Folgeprozesse

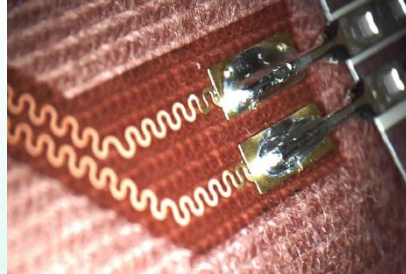
- Ausschneiden der Nutzen bzw. Einzel-PCB
- Partielle Verstärkungen aufbringen
- Bauelemente bestücken, ggf. Verkapseln
- Auf anderen Träger laminieren (Textil, Polycarbonat, etc.)
  - Tiefziehen

## ■ Bestückung

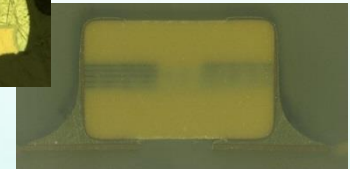
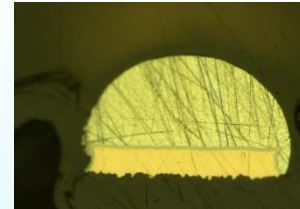
- Mögliche Verfahren: Löten, Leitleben, Crimpen
- Löten
  - Aufgrund der niedrigen Erweichungstemperatur des TPU niedrig schmelzendes Lot erforderlich
  - SnBi-bzw. SnBiAg-Legierung, z.B. Indalloy 282 (ca. 140°C) oder T4AB58-M742 (Sn-Ag0.4-Bi57.6)



Schwimmende Pads

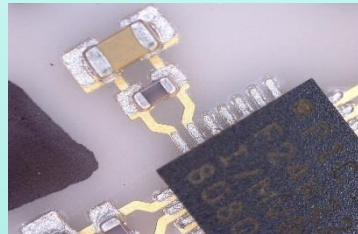


Detailansichten Lötverbindungen



## ■ Leitleben (ICA-Kleben)

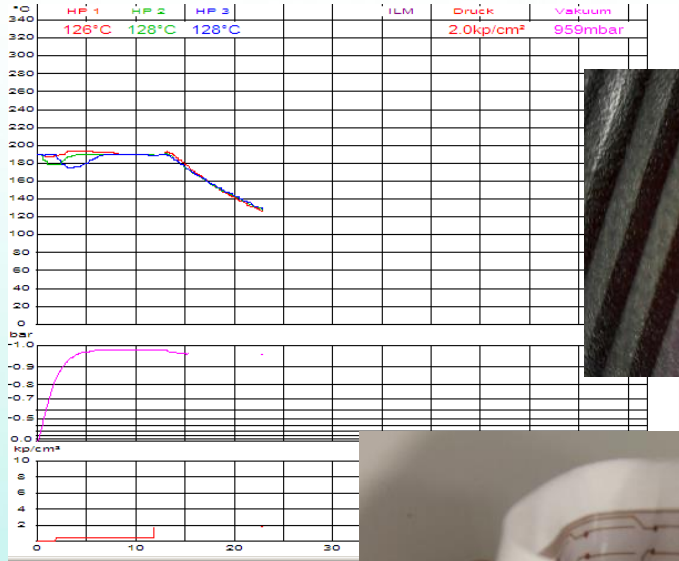
- Z.B. Elecolit®3012, Aushärten 4h@100°C
- Epoxydharzbasis, lösemittelfreie, 75% ca. 20µm große Ag-Partikel



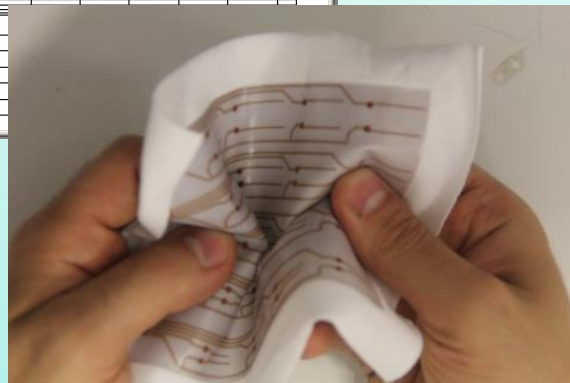
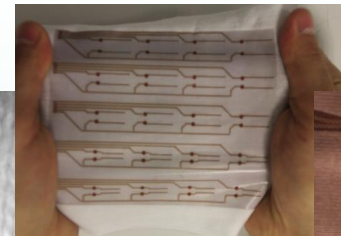


## Textillamination

- Verschiedene Stoffqualitäten möglich
- Laminierparameter abh. vom Verhältnis Baumwolle/Kunstfaser
- Elektrische Anbindung über Leitgarn möglich
- Waschbar wenn System verkapselt



Laminierprofil Textil



Div. Ausführungen TPU auf Textil

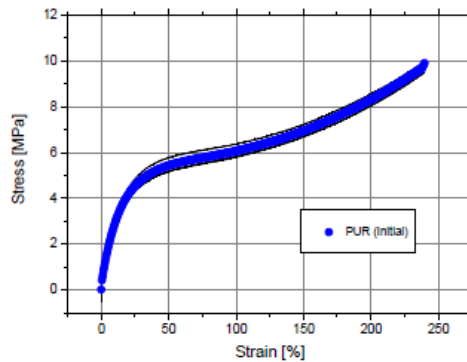




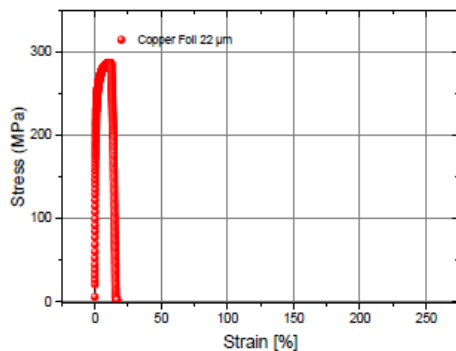
## Dehnungs-Spannungs-Kurven

- TPU: Elongation of Break: 550%
- Kupfer: 14%

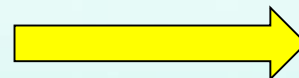
### TPU Platilon U 4201®



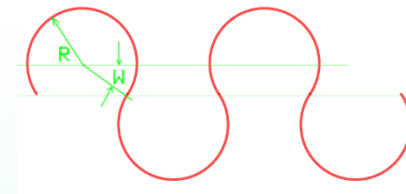
### Copper- Foil



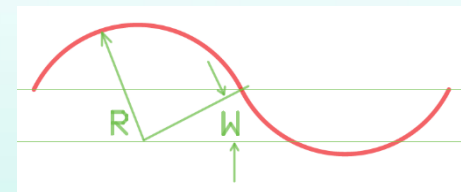
Dehnungs-Spannungskurven, Quelle: Fraunhofer IZM



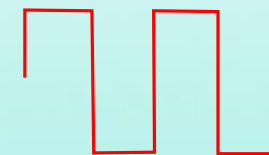
Längenänderung  
der Cu-Leiterzüge  
vorhalten



Horseshoes



Wellen (Halbkreise & Kreisabschnitte)



Rechtecke

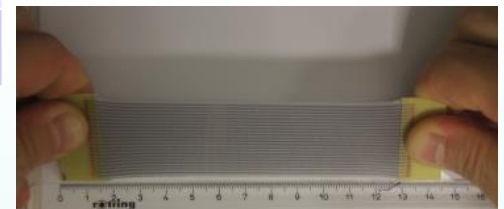
Mögliche Mäanderdesigns



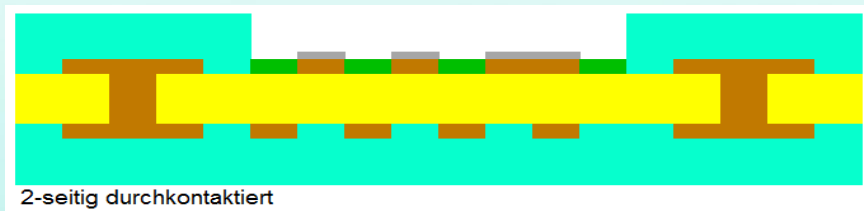
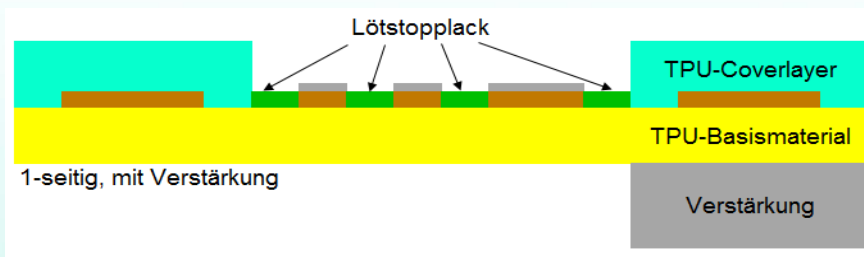


## Aufbauvarianten

Bezeichnung	Durchkontaktiert	Lagenzahl Stretch	Lagenzahl starr	Verstärkung
1-seitig Stretch	Nein	1	---	Optional
2-seitig Stretch	Möglich	2	---	Optional
Starr-Stretch	Ja	1 oder 2	1-n	Ja



Übersicht der Aufbauvarianten bei CONTAG



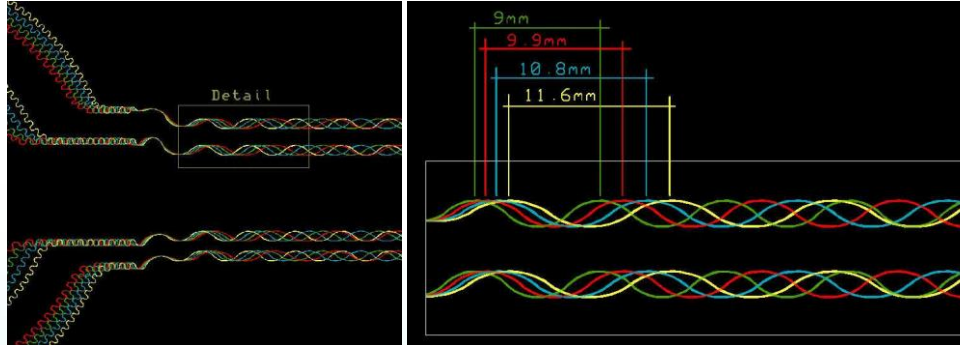
Parameter	Wert
Materialdicke	100µm
Deckfolie	TPU
Lötstopp	Partiell
Line/Space	≥100µm
Kupferdicke	9-70µm
Radius R	≥125µm
Öffnungswinkel	45°

Designempfehlungen CONTAG

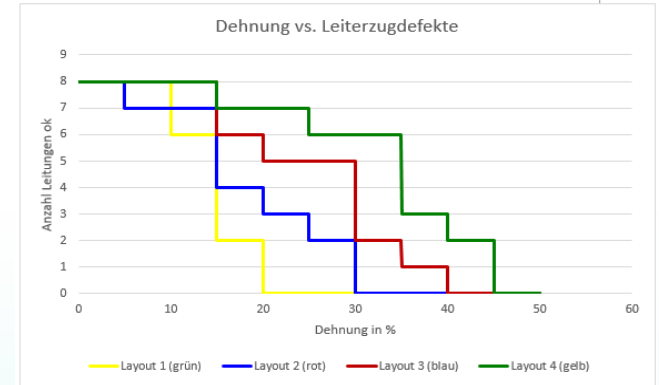


## ■ Untersuchungen zur Dehnbarkeit von Leiterzügen

### ■ Einfluss des Mäanderdesigns

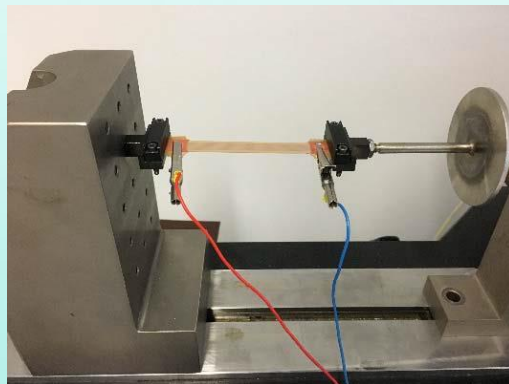


Layoutvarianten Mäanderdesign



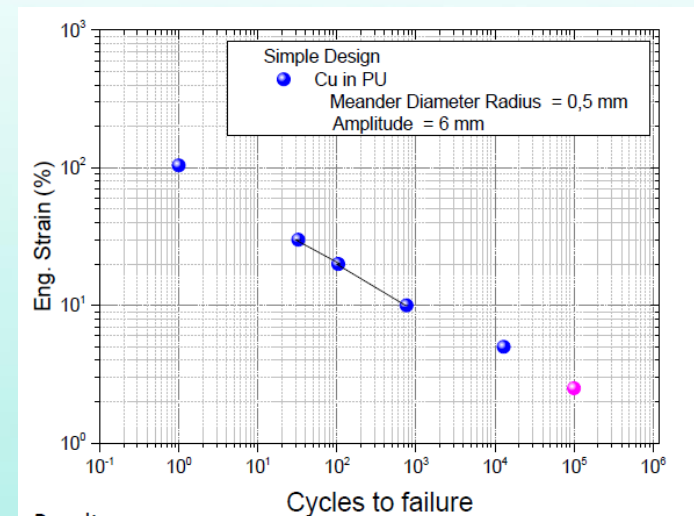
Ausfallergebnisse bei unterschiedlichen Designs

### ■ Wiederholte Dehnung



**Test conditions:**  
 $f=0,5\text{Hz}$   
 Temp.: RT  
 Engineering Strain:  
 2,5%/5%/10%/20%/30%

Testaufbau und Messergebnisse, Quelle: Fraunhofer IZM



Results:

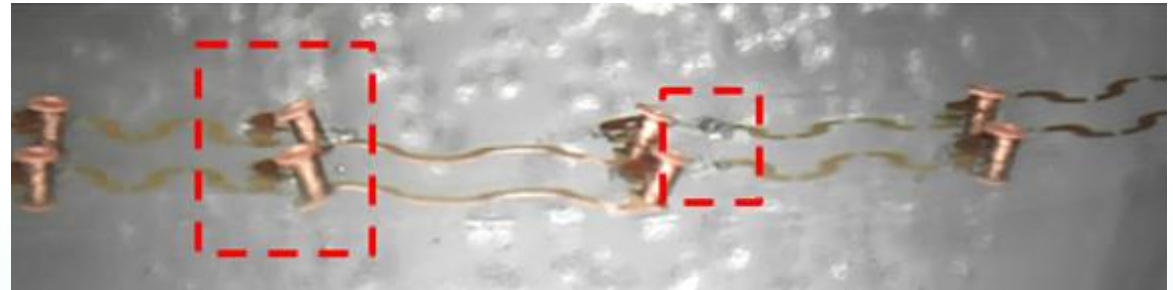
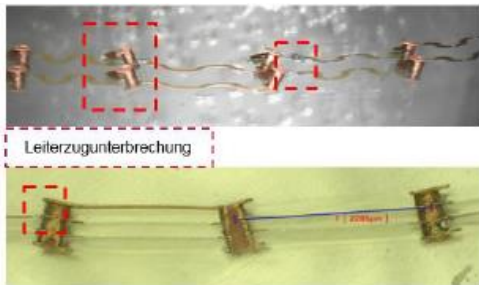
Max. Eng. Strain ~ 100% (in Static mode)

Eng. Strain 2,5 Measurement was terminated by 1E5 Cycles



## ■ Untersuchungen zur Dehnbarkeit

### ■ Einfluss von Durchkontaktierungen



Querschliff gedehnte Strukturen (gerade und mäanderförmig)

Layout	Hülсенabstand	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00
Mäander	theoretische max.Längenänderung (ohne Hülсен Betrachtung)	1,57	3,65	5,80	8,39	10,54	12,69	14,57	16,68	18,98	21,12
	gemessen (Querschliff)	1,40	3,72	4,80	6,45	8,40	11,20	12,40	15,40	14,30	16,80
	errechnete max. Längenänderung in %	+ 40 %	+ 85,85 %	+ 60 %	+ 61,25 %	+ 68 %	87%	74,28%	+ 92,5 %	58,80%	+ 68 %
Gerade	theoretische max.Längenänderung	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm	7 mm	8 mm	9 mm	10 mm
	gemessen (Querschliff)	1,1	2,22	3,1	4,14	5,1	6,12	7,2	8,2	9,18	10,9
	errechnete max. Längenänderung in %	10%	10%	3,30%	3,50%	2%	2%	2,80%	2,80%	2%	9%

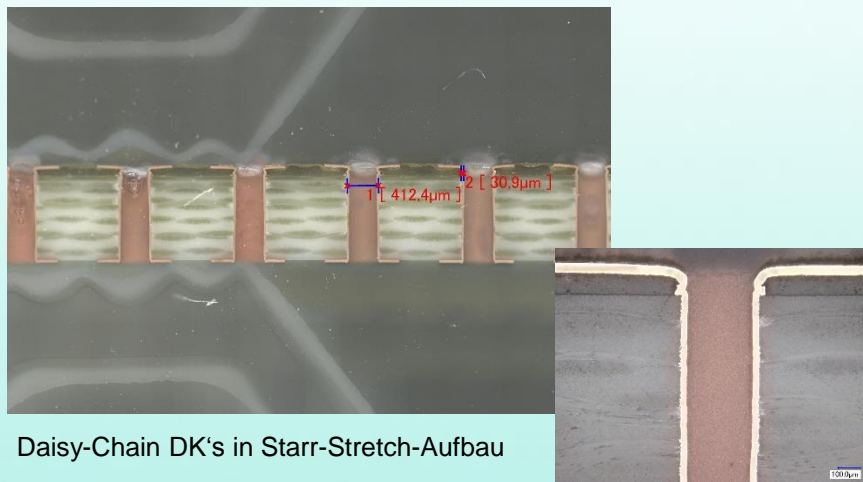
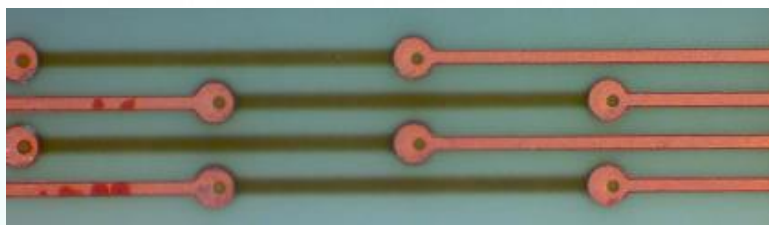
Einfluss der Durchkontaktierungen auf die Dehnbarkeit

- Statische Längenänderungen führen an Mäandern bei „richtigem“ Layout teilweise erst ab 90% zu elektrischen Defekten
- Hülсен kippen um bis zu 30%, der Abriss erfolgt unmittelbar an der Hülсе
- DK-freie Dehnbereiche können bis zu 30% dynamisch belastet werden

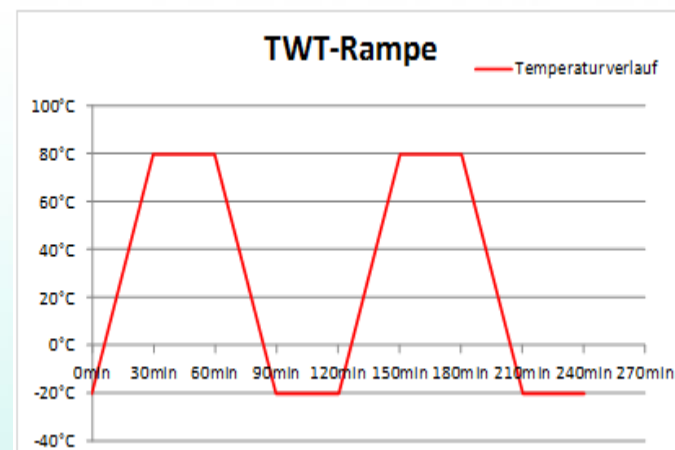


## Elektrische Durchkontaktierungen

- Daisy Chain-Ketten mit 10.000 Durchkontaktierungen in TPU- und FR4/TPU-Aufbauten
- TWT- und thermische Schocktests



Daisy-Chain DK's in Starr-Stretch-Aufbau



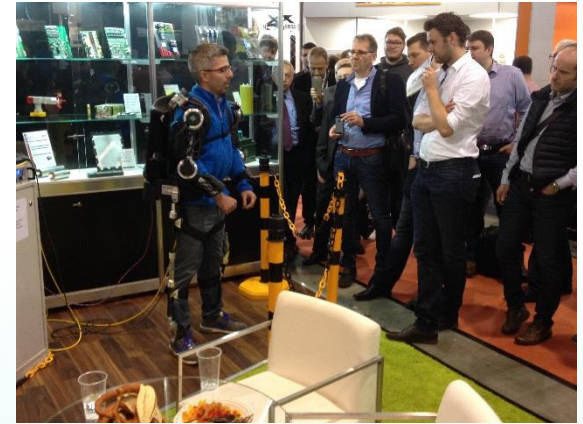
Elektrischer Test nach	Ausfälle
100 Zyklen	0
200 Zyklen	0
300 Zyklen	0
400 Zyklen	0
500 Zyklen	0

TWT-Test und Ergebnisse

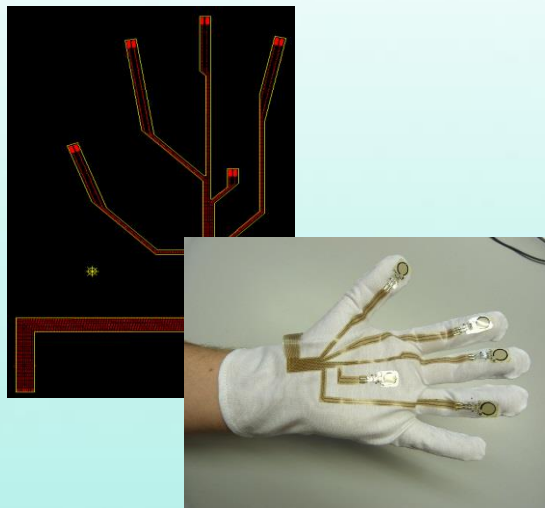


## Exoskelett (BMW)

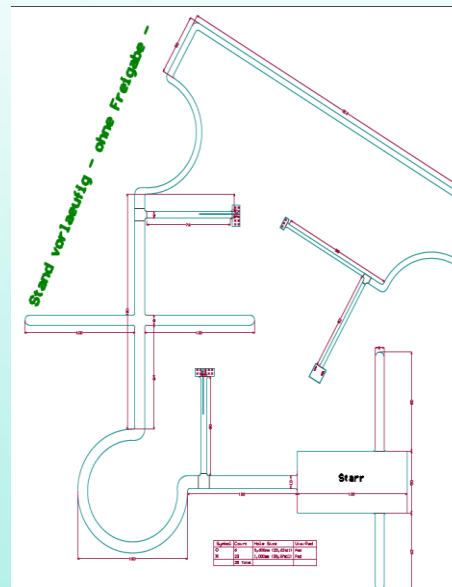
- Hochdynamisches, leichtes Jacken-Orthesen-System für Rumpf und obere Extremitäten
- Mechanisches Stütz- und Antriebssystem
- Textiler Handschuh mit integrierten Kraftsensoren
- Starr-dehnbares AVT-System zur Verbindung der Elektronik-Komponenten (Sensoren, Controller, Motortreiber)



Demonstration Exoskelett, Quelle: Fraunhofer IPA



Layout und Umsetzung textiler Handschuh



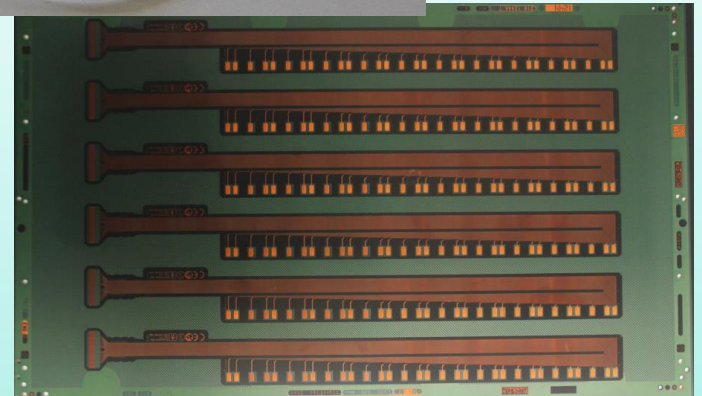
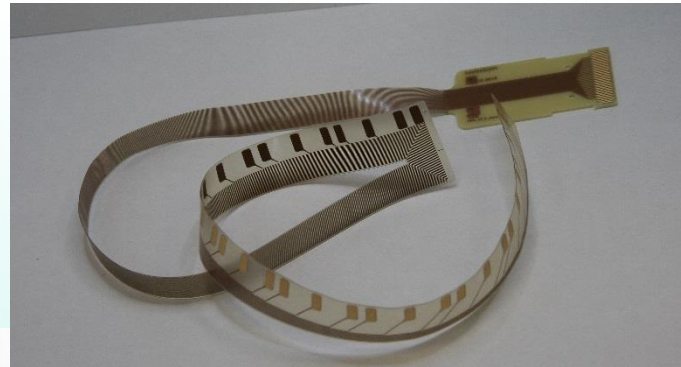
Gesamtsystem AVT: Starr-dehnbare PCB





## Monitoring Lungenaktivität (Industrie)

- Textiler Messgürtel mit integrierter dehnbarer PCB
- 1-lagige TPU-Schaltung mit partieller Verstärkung
- TPU-Coverlayer, Oberfläche chem. Sn

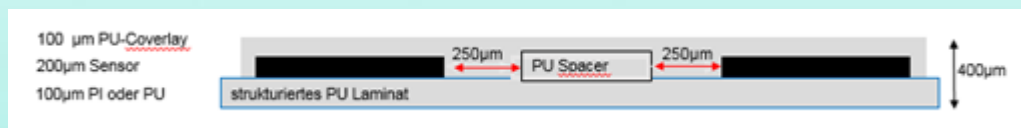
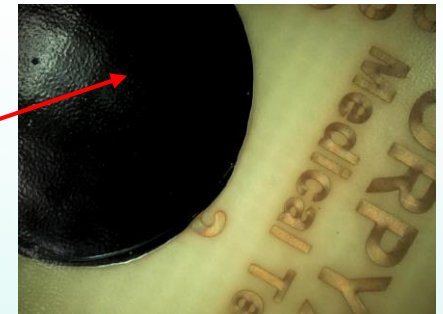
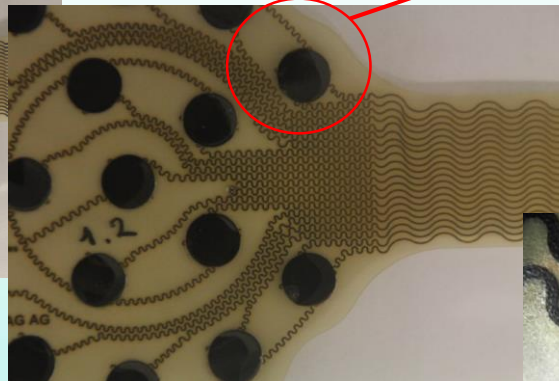


Anwendung und Umsetzung Lungenmessgürtel



## ■ Dehnbares Druckmesspflaster Sensor-Patch zur Dekubitus-Prophylaxe (ZIM)

- Dehnbares Patch mit gedruckten Kraftsensoren
- 1-seitige TPU-PCB mit partieller Verstärkung
- TPU-Coverlayer, partiell Immersion Silver
- Gelötete Bauelemente

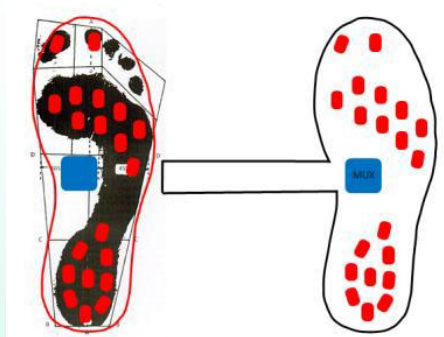


Gesamtansicht und Umsetzungsdetails Druckmesspflaster

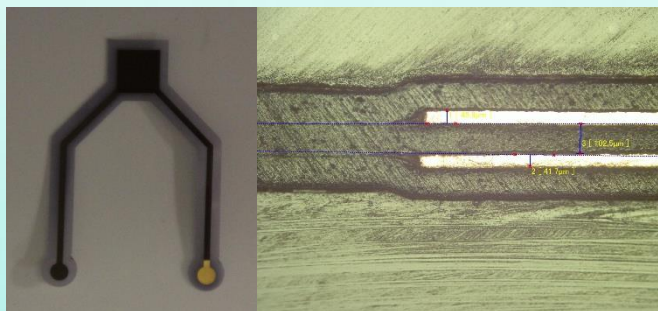
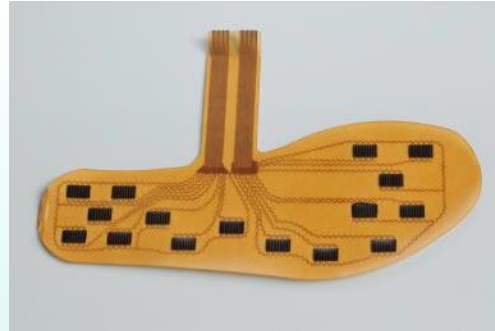


## ■ Schuheinlage mit Drucksensoren

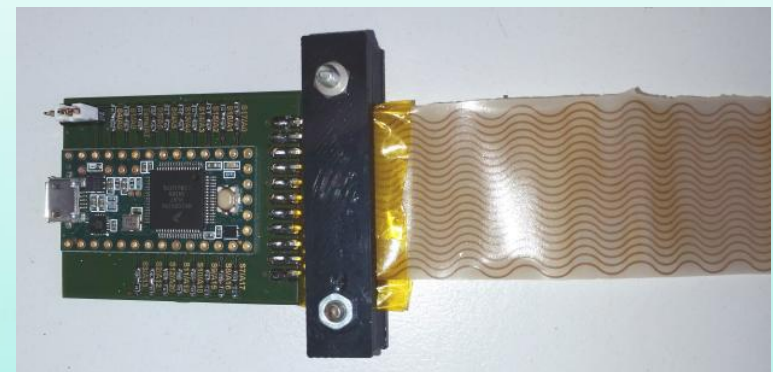
- Erfassung der Druckverteilung für sportmedizinische Zwecke
- Integration von gedruckten und kapazitiven Sensoren
- 2-lagige TPU-Schaltung
- TPU-Verkapselung, Endoberfläche EPIG



Konzept und Druckverteilung, Quelle: Fraunhofer IZM



Kapazitiver Drucksensor auf TPU-Basis



Modulzuleitung mit TPU-Verbinder, Quelle: Fraunhofer IZM



## ■ Textiler Schmuck „LED Jewelry“ (Industrie)

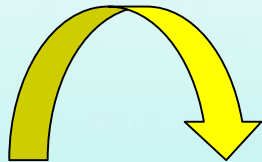
- Halskette der Designerin Anke Loh
- Transparente und schwarze einlagige TPU-PCB
- Flexibler roter Lötstopplack
- Bestückte LED's



Beispiele LED-Schmuck, Quelle: Ankeloh.net



- **Es gibt gesicherte Herstellungsverfahren für dehnbare Leiterplatten**
- **Bei CONTAG fertigbar sind einseitige, 2-seitig durchkontaktierte sowie starr-dehnbare Aufbauten**
- **Eine dynamische Dehnung der Leiterplatte von bis zu 30% ist unter Verwendung eines Mäanderdesigns im dehnbaren Bereich zuverlässig möglich**
- **Favorisiertes Bestückungsverfahren ist Niedertemperaturlöten**
- **Optional sind weitere Verkapselungs- und Integrationsprozesse (z.T. auf Textil) möglich**



**Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit!**