

Integration von Elektronik in elastischen Textilien am Beispiel eines Therapieanzugs für Hemiparesepatienten

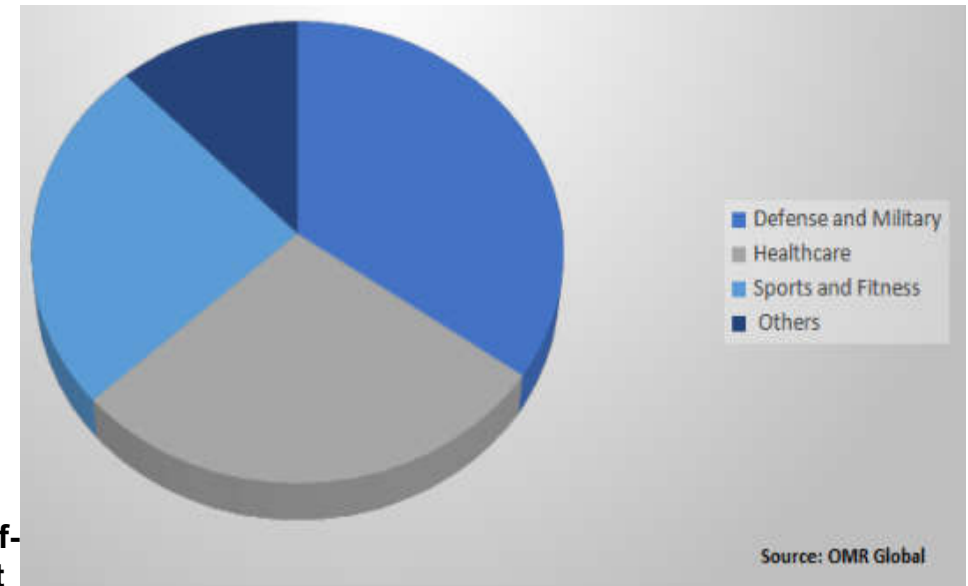
4. Technologietag angewandte Sensorik
25. / 26.2.2025, ISAT - Coburg

Dr. Bernhard Brunner, Fraunhofer ISC Würzburg



Marktübersicht: elektronische Textilien (e-textiles)

- **“Electronic textiles”** als Untergruppe der **“Smart Textiles”** sind Elektroniken oder eine Elektronikkomponente, die Funktionen in / auf Textilien erfüllen: Sensoren, Energy Harvesting, Beleuchtung, Datenkommunikation, Wärmeerzeugung (90% aller Produkte)
- **E-textiles** unterscheiden sich von **“Wearables”** durch ihre Textilintegration
- Zukünftige Anwendungen gehen in Richtung **“well-being”**, Medizinprodukte zum Patientenmonitoring, technische Textilien, Unterhaltung
- Der globale Markt für e-textiles lag 2020 bei 2.1 Mrd. \$ mit Wachstumsraten von 18.5% bis 2027



Reference: www.wboc.com/story/44732078/electronic-textiles-market-in-2021-is-estimated-to-clock-a-modest-cagr-of-1853-during-the-forecast-period-2021-2027-with-top-countries-data-latest

E-Textiles: Funktionen von integrierter Sensorik und Aktorik

- **Haltungs- und Bewegungssensorik, z.B. Lage- und Beschleunigungssensoren an Rücken oder Extremitäten, Sensorpflaster, „smart fabrics“, „Hosenträgersensoren“**
 - **Druckmessfelder, z.B. in Sitzflächen, Schuheinlagen**
 - **Elektro-Myo-Gramm (EMG) zur Muskelaktivierungsmessung,
Elektro-Kardio-Gramm (EKG), Pulsmessung und Herzratenvariabilität
Elektro-Myo-Stimulation (EMS)
Transkutane-Elektrische-Nerven-Stimulation (TENS)
durch gestickte, aufgenähte oder aufgeklebte Elektroden**
 - **Textile Heizelemente für Komfort / Therapie / Prozesstechnik durch gestickte, gestrickte oder gedruckte Heizflächen**
- **Alle Anwendungen erfordern den Kontakt der Sensoren zu Kabeln oder Elektronik, oft auch stark dehnbare Verbindungen!**

Produktbeispiele für e-textiles



Vitalparameterüberwachung (Puls, HRV),
z.B. <https://sportsensor.ch/ambiotex/>

EMS – Trainingsanzüge
z.B. <https://www.antelope.de>



Heizkissen / Heizdecken,
z.B. <https://www.beurer.com>

Aktiv leuchtende Jacke
z.B. <https://www.fruugo.de/>



Elektrische Leiter auf Textilien

Anforderungen:

- gute elektrische Leitfähigkeit
- weich / dehnbar
- waschbar
- abriebfest
- hautverträglich
- recyclingfähig

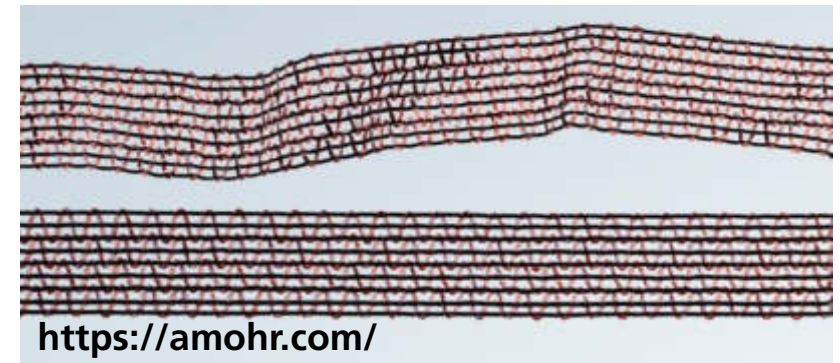
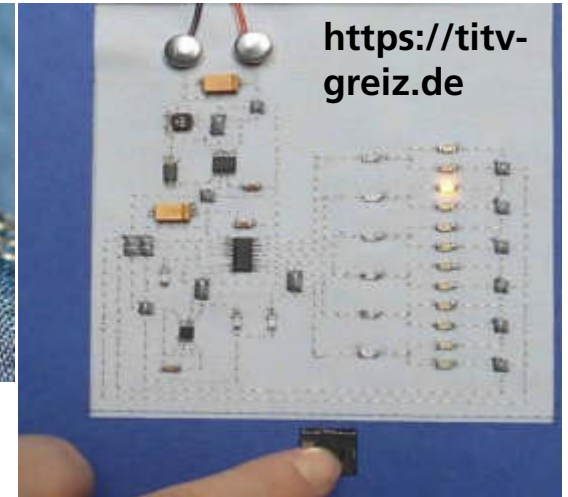
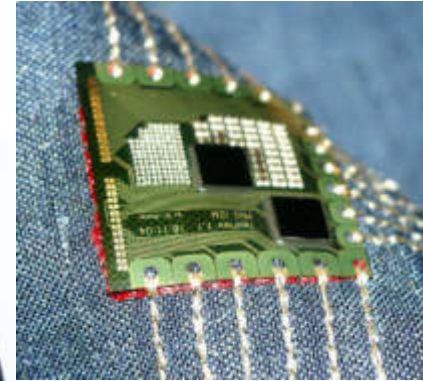
Realisierung durch:

Aufnähen

Aufsticken

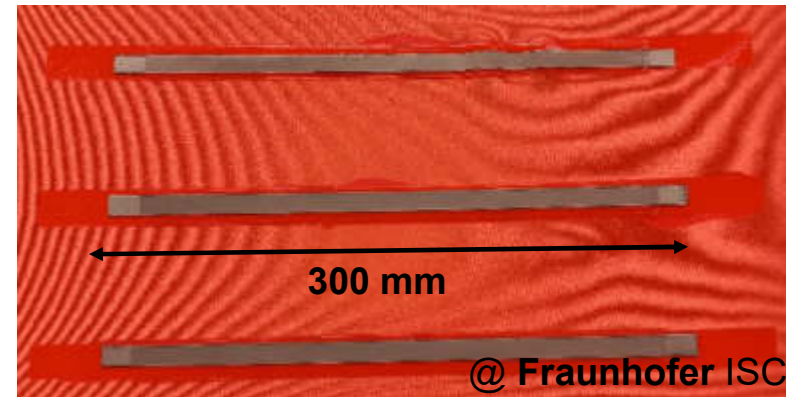
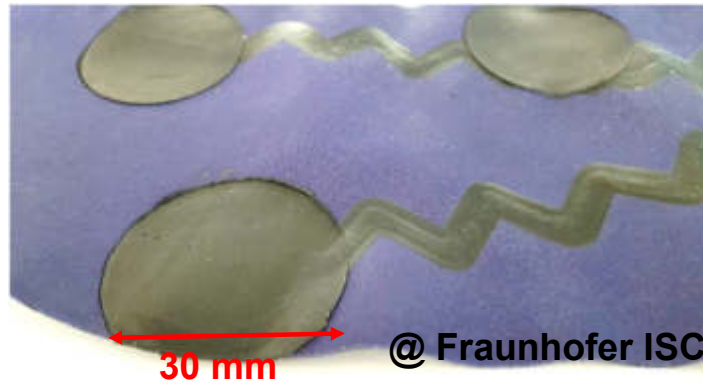
Leiterbandgewebe

auflaminiertes TexPCB



Elektrische Leiter auf Textilien

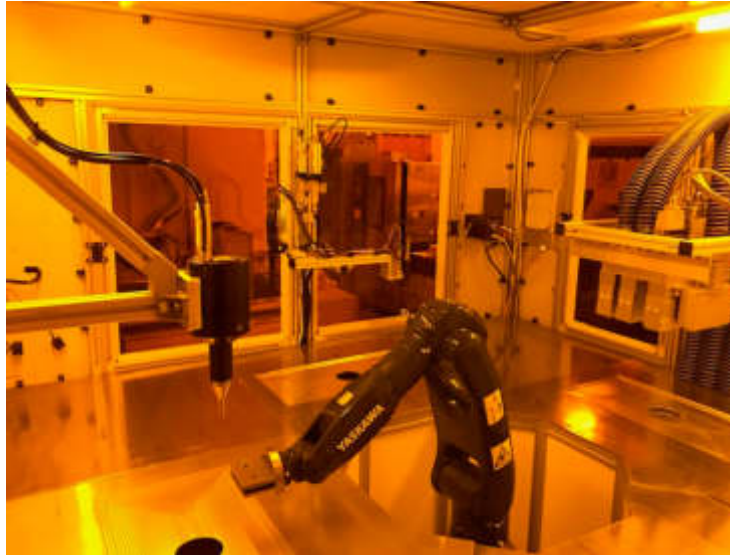
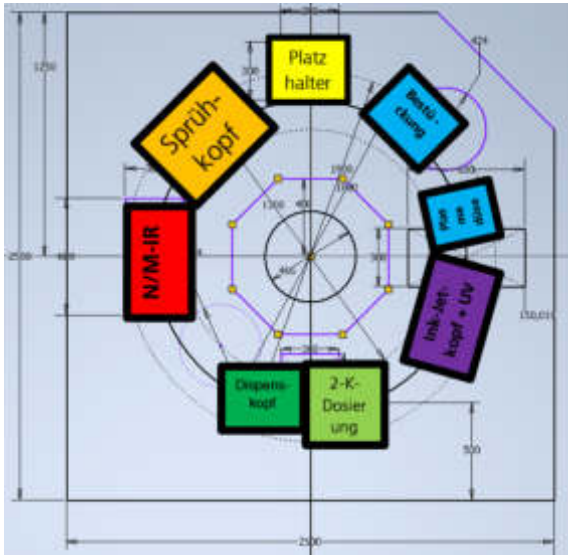
- **Mehrfachdruck** von Silicon mit leitfähigen Kupfer- oder Rußpartikeln auf / unter isolierendem Silikon
- **Verklebung** von leitfähigen oder isolierenden Siliconklebstoffen durch Thermobonden / Bügeln
 - Vernetzung bei Temperaturen unter 80°C, somit für unterschiedlichste Textilien möglich
 - Dehnbar bis 35%, dauerhaft unter mechanischer Zyklierung bis 1 Mio. Zyklen
 - Elektrische Widerstände ca. 100 Ohm/m



Elektrische Leiter auf Textilien

Gedruckte Leiterbahnen mit Dispensern oder Siebdruck herstellbar
Partikelgefüllte dehnbare Siliconleiterbahnen mit Widerstand von $100 \Omega/\text{m}$
Isolierung der Leiter durch Mehrfachdruck / Dispensen möglich

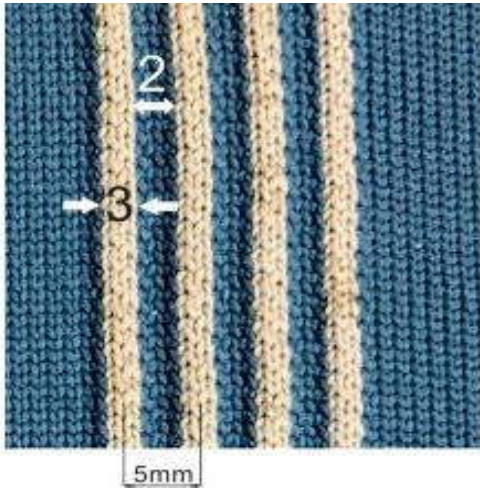
Bedrucken von 3 dimensionalen Objekten (max. $0,3 \times 0,3 \times 0,5 \text{ m}^3$)



Elektrische Leiter in Textilien (www.Strick-Zella.de)

Realisierung durch gestrickte Kabelkanäle:

- + konventionelle, auch geschirmte Kabel einsetzbar
- + meanderförmige Kanalführung erlaubt Elastizität
- Komplexe und teure Strickherstellung und Kabelverlegung



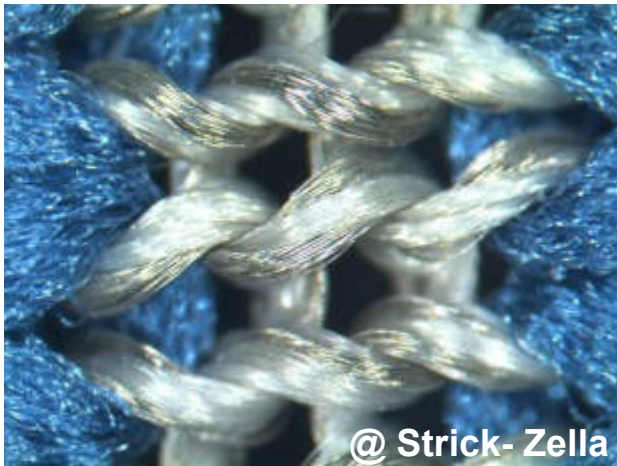
<https://www.strick-zella.de/>



Elektrische Leiter in Textilien (www.Strick-Zella.de)

Lösungsansatz maschenbildende integrierte Leitungen

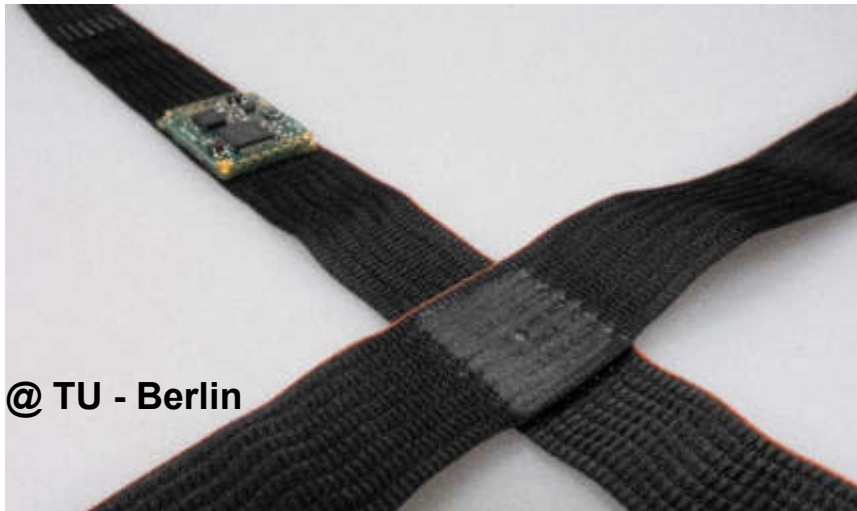
- dünner Draht oder ein Garn mit hoher elektrischer Leitfähigkeit wird **maschenbildend** eingestrickt
- Cu-Drähte oder Umwindegarne (Kern: Polyester; Mantel Kupfer- oder Silberfäden; 0,1–0,3 mm, 14 Ω /m)
- keine Isolation, muss nachträglich extern aufgebracht werden
- gestricktes elastisches Bussystem (Pitch 2,5 mm)



Integrationstechnologien: Kabelbaum (TU-Berlin)

- Der Kabelbaum besteht aus gestickten oder leitfähigen Bändern
 - Die Abzweigungen / Kreuzungen müssen einen niedrigen Kontaktwiderstand aufweisen
 - Die Verbindung muss mechanisch gegenüber Zug-, Knick und Biegebelastungen geschützt werden
- Die Module werden mittels e-textile Bonding Verfahren auf ein Band mit eingearbeiteten isolierten Leitern geklebt

Gebondetes SmartIMU-Modul

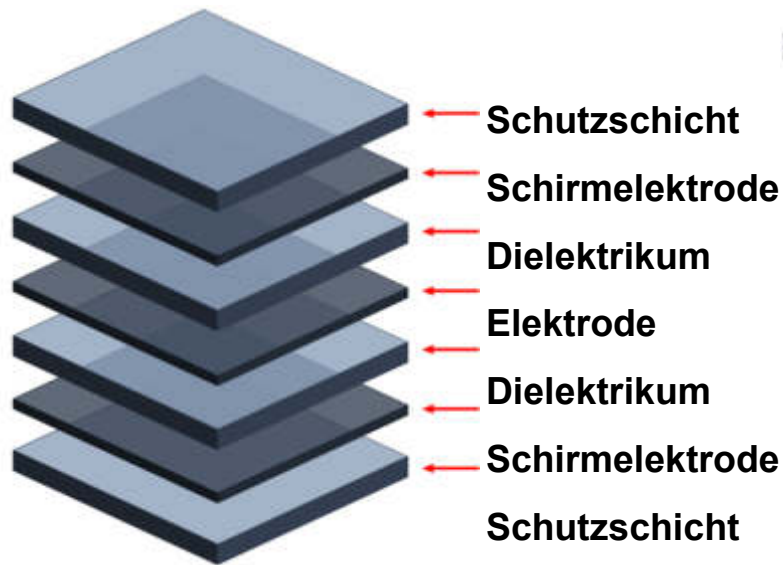


Silikonbasierte Sensoren und Aktoren in Textilien

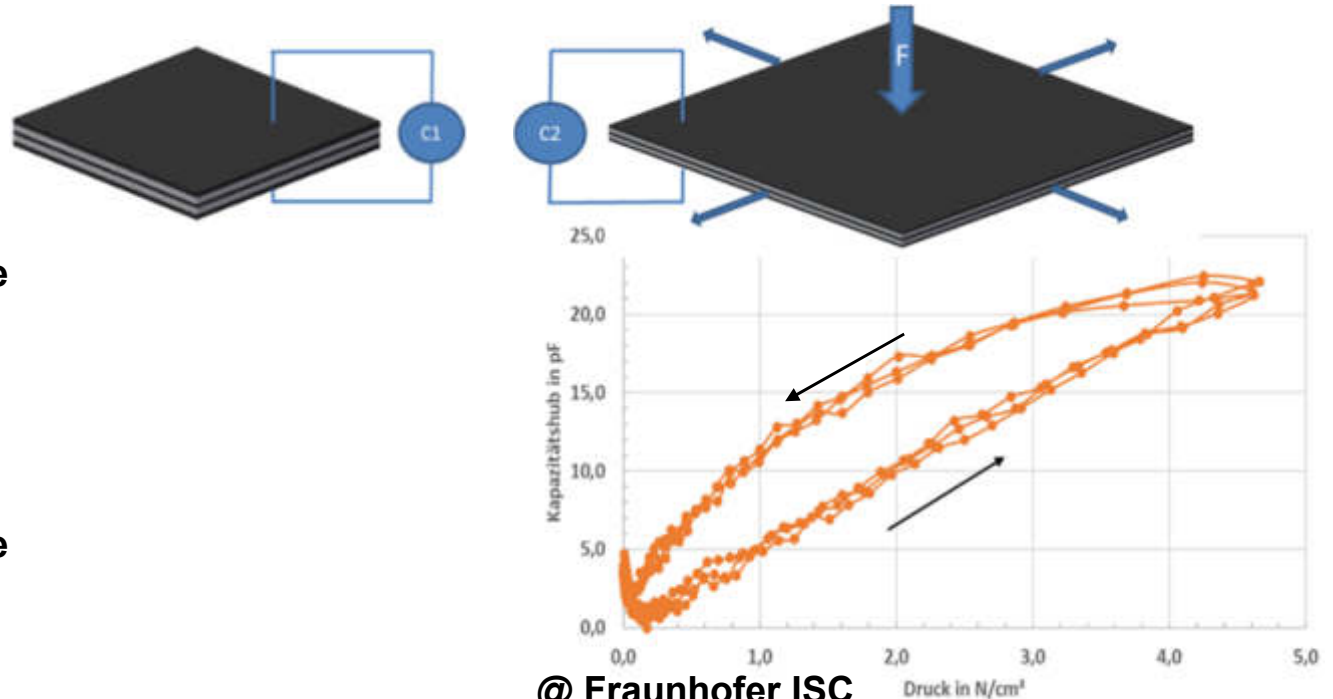
- **Nicht nur flexibel, sondern auch sehr leicht dehnbar (bis 100 %)**
- **Elastizitätsmodul für jeweiligen Anwendungszweck in sehr weitem Bereich chemisch einstellbar (100 kPa–10 MPa)**
- **Thermisch sehr beständig (-40 – 180 °C)**
- **Mechanisch sehr robust, hohe Wechsellastbeständigkeit unter Zug (mehr als 1 Mio. Zyklen bei 100 % Dehnung)**
- **Maschinenwaschbar**
- **Chemisch beständig gegen Wasser, Waschmittel, Desinfektionsmittel**
- **Hohe Klebekraft auf unterschiedlichsten (textilen) Materialien**
- **Medizinisch unbedenklich („medical grade“, DIN EN ISO 10993-5:2009-10 – Teil 5)**
- **Einsatz als Druck- / Haltungs- / Bewegungssensoren und Trockenelektroden**

Dielektrische Elastomer Sensoren DES

DES bestehen aus einer abwechselnden Folge von leitfähigen und isolierenden Elastomerschichten. Bei einer Verformung durch Druck oder Dehnung verringert sich die Dicke der Elastomerfolie bei gleichzeitiger Vergrößerung der Fläche, wodurch sich die elektrische Kapazität vergrößert.



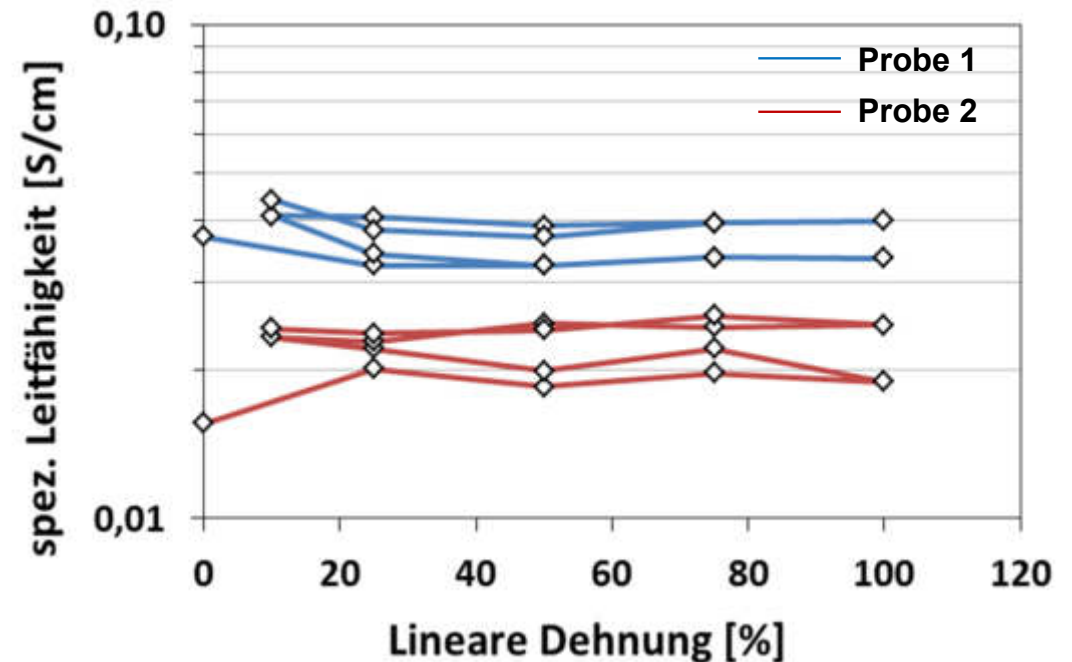
@ Fraunhofer ISC



@ Fraunhofer ISC

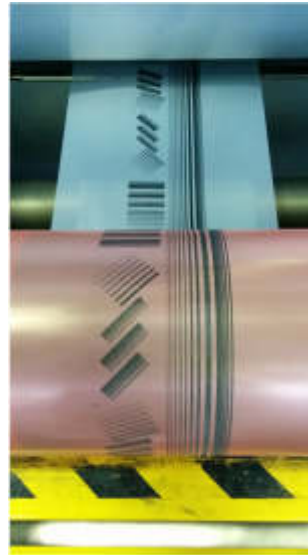
Silikon als elastische Leiterbahn

- **Spezifische Leitfähigkeiten:**
Leitruß in Silicon:
ca. 0,04 S/cm
Metallpartikel in Silicon:
ca. 1000 S/cm = $10^{-5} \Omega \cdot \text{m}$
(vgl. Cu: $1,7 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$)
- **Dehnungsunabhängige Leitfähigkeit bis zu 100 % Dehnung**
- **Leiterbahn – Schichtdicken ca. 30 - 40 μm**
- **Kombination mit elektrisch leitfähigen elastischen Garnen als Signalleitungen bei größeren Signallängen**



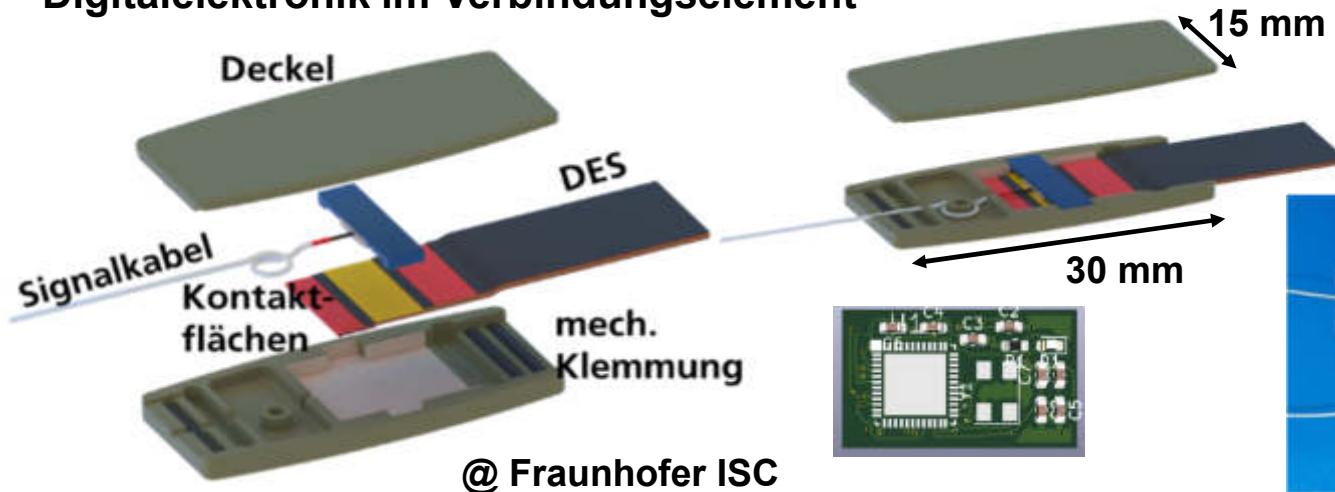
Herstellung von Dielektrischen Elastomerfolien

- **Eigene Silikonherstellung zur Anpassung an Anwendung und Verarbeitung durch Rakelverfahren, Folienziehen, Sprühen**
- **Schlitzdüsenverfahren für kostengünstige Rolle – zu - Rolle Herstellung von mehrlagigen Folien (Bänder 0,4 m breit, ca. 100 m lang)**
- **Schichtweiser Auftrag von isolierenden und leitfähigen Silikonlagen mit siebgedruckten Leiterbahnstrukturen**

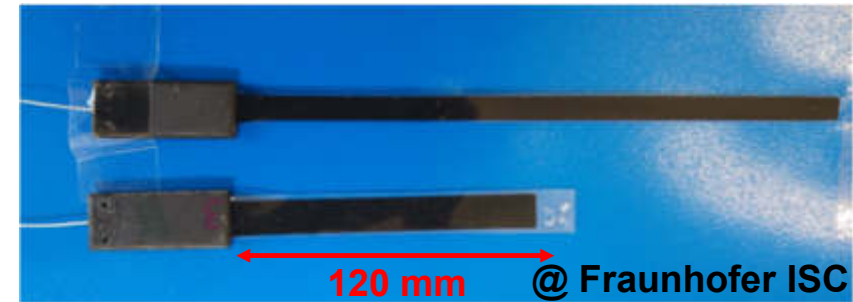


Integrationstechnologien: DES

- **Kontaktierung der Elastomersensoren mit einem Verbindungselement (Patent DE 102021118460)**
 - keine Verklebungen nötig, nur mechanische und elektrische Klemmung
 - schnelle und sehr kostengünstige Anschlußmöglichkeit von (Bus-)Kabeln, Elektronik und gedehnten Sensoren
- **Dauertests bis 500.000 Zyklen bei 100% Dehnung zeigen hohe Zuverlässigkeit der Kontaktierung**
- **Verbindung der Anschlüsse an (gestrickte) Buskabel durch Bonden, Löten, Kleben**
- **Digitalelektronik im Verbindungselement**



@ Fraunhofer ISC



@ Fraunhofer ISC

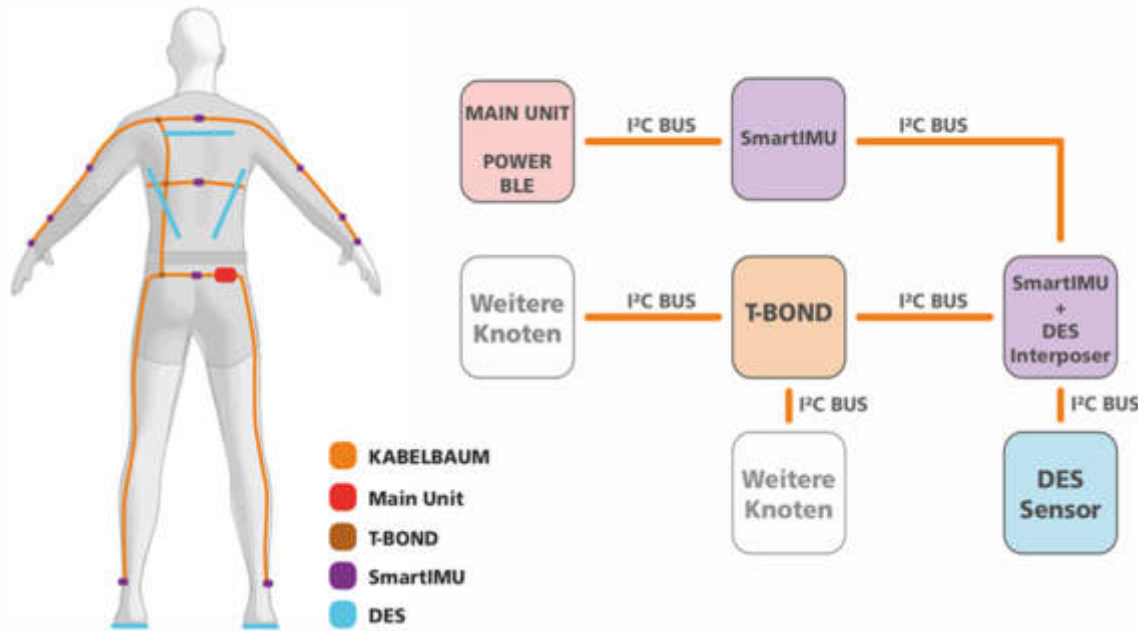
Anwendungsbeispiel: TheraTex, gefördert durch BMBF: Therapieansätze zur Behandlung von Hemiparese (Halbseitenlähmung)

- Textil-integriertes elektronisches System kann Bewegungen und Körperhaltungen erfassen sowie Korrekturen zur teilweisen Wiederherstellung geschädigter neuromuskulärer Aktivitäten zur Hemiparese - Therapie zuhause unterstützen
- An- / Auszieh- / Tragekomfort und Messgenauigkeit müssen durch Weste / Hose realisiert werden
- Neben den DES ergänzen Smart - IMU Module die Messwerterfassung



Anwendungsbeispiel: TheraTex, gefördert durch BMBF: Therapieansätze zur Behandlung von Hemiparese (Halbseitenlähmung)

Systemdesign



Einsatz unterschiedlicher
Garne für lokale
Kompression und
Thermoregulation

Textiler Kabelbaum
(TU-Berlin)

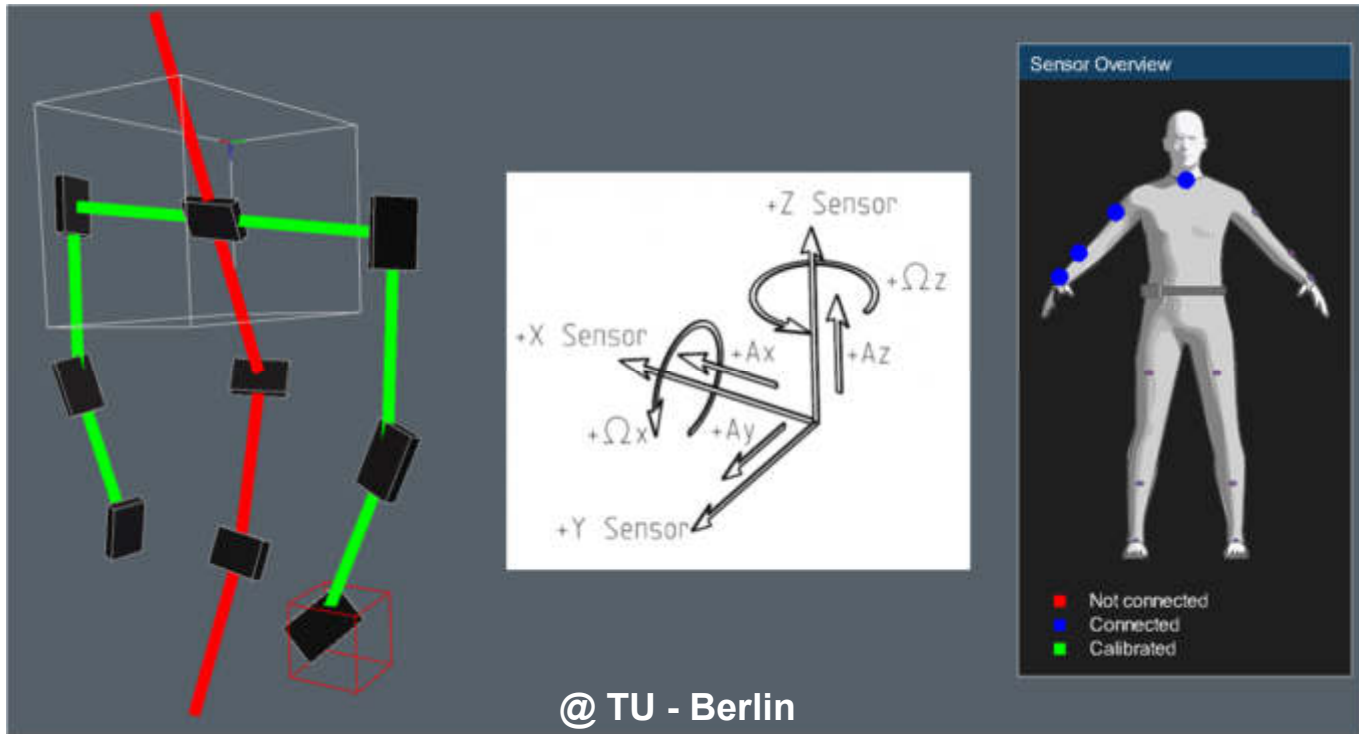


Inertialsensorik zur Bewegungserfassung (TU - Berlin)

Die Bewegungen am Körper werden durch Inertialsensoren (inertial measurement unit, IMU) erfasst und bestehen aus Beschleunigungssensor, Gyroskop und Magnetfeldsensor (9DOF).

Die Bewegungsdaten der IMU werden mit Hilfe einer Software zusammengefasst.

Durch die Informationen über Platzierung und Abstand der einzelnen Module zueinander lässt sich eine Visualisierung im dreidimensionalen Raum abbilden.



Inertialsensorik zur Bewegungserfassung (TU - Berlin)

Tests zur Optimierung der Visualisierungssoftware



Anwendungspotentiale textilintegrierter Elastomersensorik

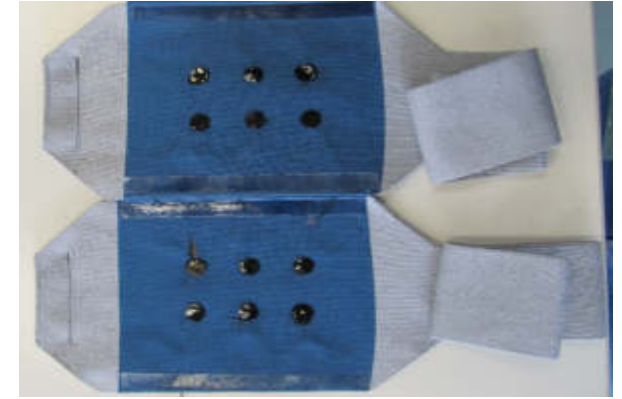
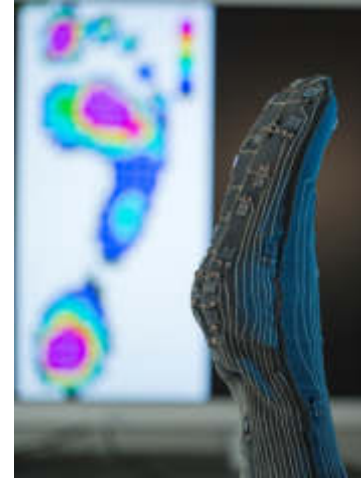


Schuheinlage mit Drucksensoren
Handschuhe mit Druck- und Finger-
positionssensoren

Druckmessstrumpf

EMG - Messmanschette

Shirt mit Atmungs- und Haltungssensorik



Zusammenfassung

- e-textiles besitzen ein hohes Anwendungspotential in weiten Bereichen von Medizin, Sport, Sicherheit, technischen Textilien
- Medizinproduktzulassungen sind sehr kosten- und zeitintensiv, deshalb werden viele Anwendungen für den Sportbereich entwickelt
- e-textiles verlangen spezielle Technologien in der Kombination von Textil und Elektronik:
 - + Nutzung textiltechnischer Verfahren zur Herstellung des Trägers und Integration der Signalleitungen
 - + Nutzung etablierter und kostengünstiger Textilveredelungsverfahren (Drucken, Kleben)
 - + Entwicklung neuer Aufbau- und Verbindungstechnologien notwendig, z.B. Bonding Technologien
 - + sehr hohe Anforderungen an Elektronik bzgl. Tragekomfort, Waschbarkeit
 - + individuelle Einzelstücke als auch Massenprodukte müssen kostengünstig hergestellt werden können, wobei ein Weg die *Standardisierung der Elektronikmodule und Verklebung an standardisierte textilintegrierte (Bus-)Kabel* wäre
- Noch höhere Anforderungen bei dehnbaren Textilien an Kabelführung und Elektronikintegration!

Danke für Ihre Aufmerksamkeit



Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC
Center Smart Materials and Adaptive Systems
Neunerplatz 2
D-97082 Würzburg

Dr. Bernhard Brunner
Tel.: 0931 4100-416
Email: bernhard.brunner@isc.fraunhofer.de
Web: www.isc.fraunhofer.de
www.cesma.de

