

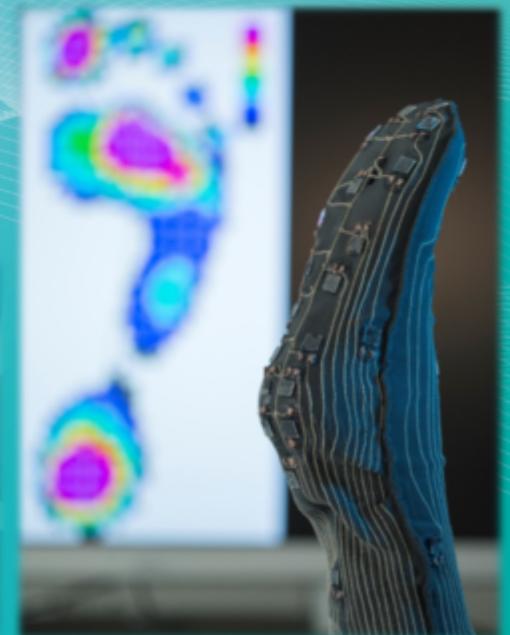
Druckverteilungsmessung mit hautverträglichen Elastomersensoren

Dr. Bernhard Brunner, Fraunhofer ISC Würzburg

2. Workshop Forschungsbereich Textil

„HighTex mit Fraunhofer“

7.11.2023, Münchberg



Das Fraunhofer ISC

...auf einen Blick

400 Mitarbeitende (2022)

Standorte:

- **Würzburg**
Hauptsitz und TLZ-RT
- **Bayreuth**
Zentrum HTL (inkl. Hof-Mbg.
– Textile Faserkeramik)
- **Bronnbach**
CeDeD und IZKK

**Rund 10.000 m² Labor- und
Technikumsflächen**



**29,2 Budget (2022) in Mio
Euro:**

- 6,0 Auftragsforschung
(Industrie)**
- 13,8 Projektförderung
(nat. | internat.)**
- 9,4 Grundfinanzierung**



... EXPERT*INNEN FÜR

- **WERKSTOFFE**
(Glas, Keramik,
Spezialmaterialien)
- **VERFAHREN**
(Herstellung, Verarbeitung
Recycling, Digitalisierung)
- **ANALYTIK**
(entwicklungs- und
produktionsbegleitend)

Das Fraunhofer ISC

... Kompetenzen

MATERIALIEN

- Glas | Keramik | Hybride
- (bio)ORMOCER®e
- Bioaktive Materialien
- Batteriematerialien
- Magnetmaterialien
- Intelligente Materialien
- Hochtemperatur-Materialien



VERARBEITUNG

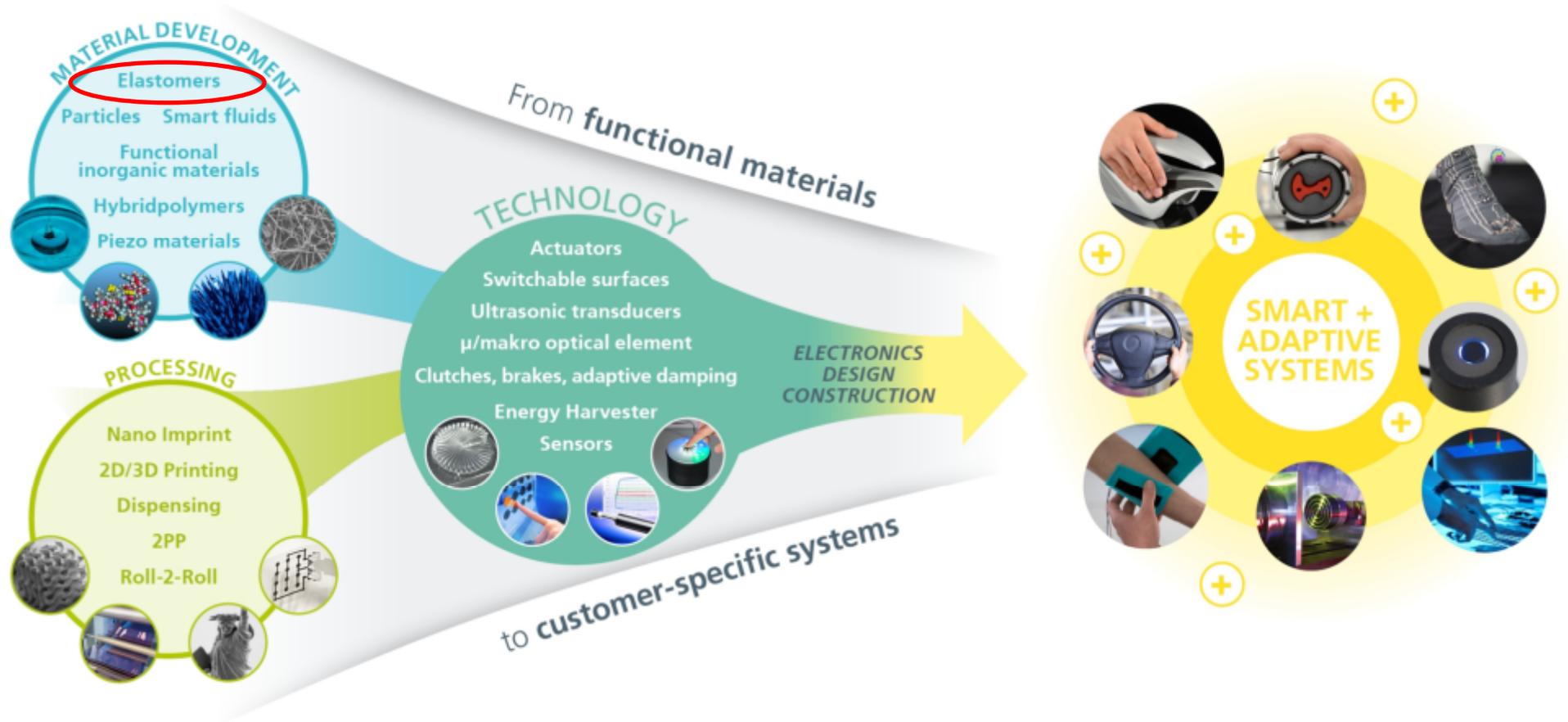
- Mikro- / Nanopartikel
- Fasern
- (Nass-) Beschichtungen (R2R | Dip | Spin | etc.)
- 3D-/ 2D-Strukturierung | 3D-Druck
- Tissue Engineering
- Reinräume | Biolabore
- Laborautomatisierung
- Digitalisierung



ANALYTIK

- Materialcharakterisierung (ausgehend von der atomaren Skala)
- Fehleranalyse
- Qualitätskontrolle
- In-situ-Testausrüstung
- 3D In-vitro-Testmodelle auf Basis humaner Gewebe
- MDR Analytik

Center for Smart Materials and Adaptive Systems: CeSMA



CeSMA: Materialien

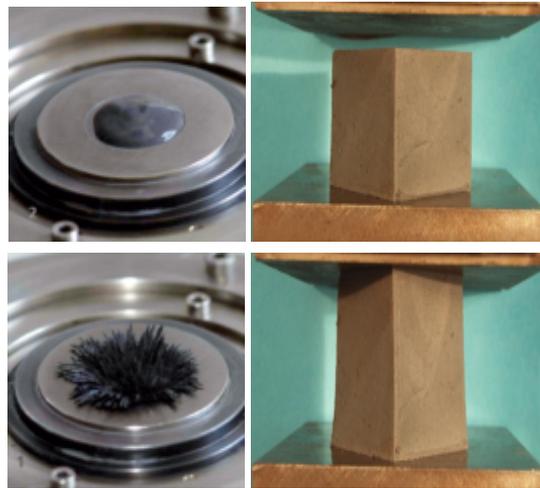
Silicon - basierte Elastomere

Einstellbare mechanische und elektrische Eigenschaften



Magneto - Rheologische Fluide und Elastomere

Änderung der Steifigkeit oder Viskosität abh. vom äußeren Magnetfeld



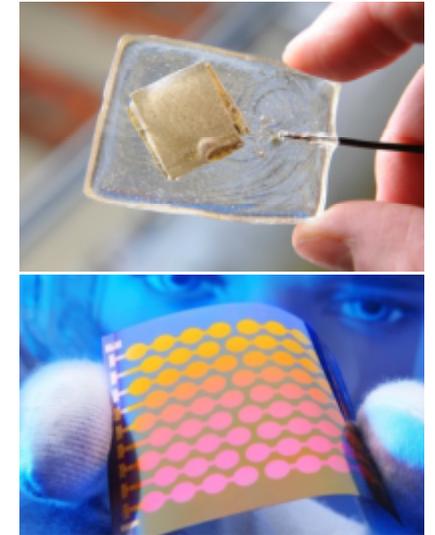
Piezoelektrische Polymere

Dünn, großflächig druckbar, transparent



Piezokeramik

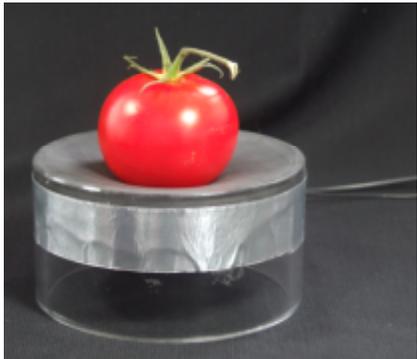
Hochtemperaturanwendungen bis zu 600 °C
Sensor Arrays



CeSMA: Technologien / Anwendungen

Aktoren

- Dielektrische Elastomeraktoren
- HAZEL
- Magnetorheologische Aktoren



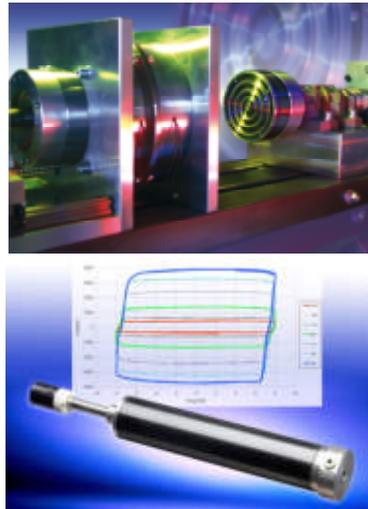
Schaltbare Oberflächen

Oberflächen-
Formänderung
durch MRE-Aktoren



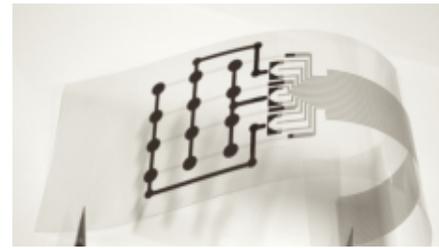
Kupplungen, Adaptive Dämpfer

- Haptische Kontrollelemente
- Adaptive Momentübertragung



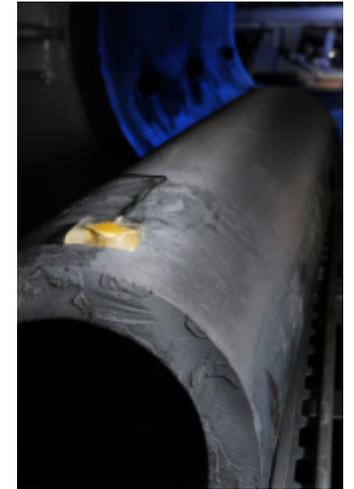
Sensoren

- Dielektrische Druck- / Dehnungssensoren
- Piezoelektrische Polymere auf Papier



Ultraschall- wandler

Strukturüberwachung
von Batterien
und Bauteilen bis zu
600 °C

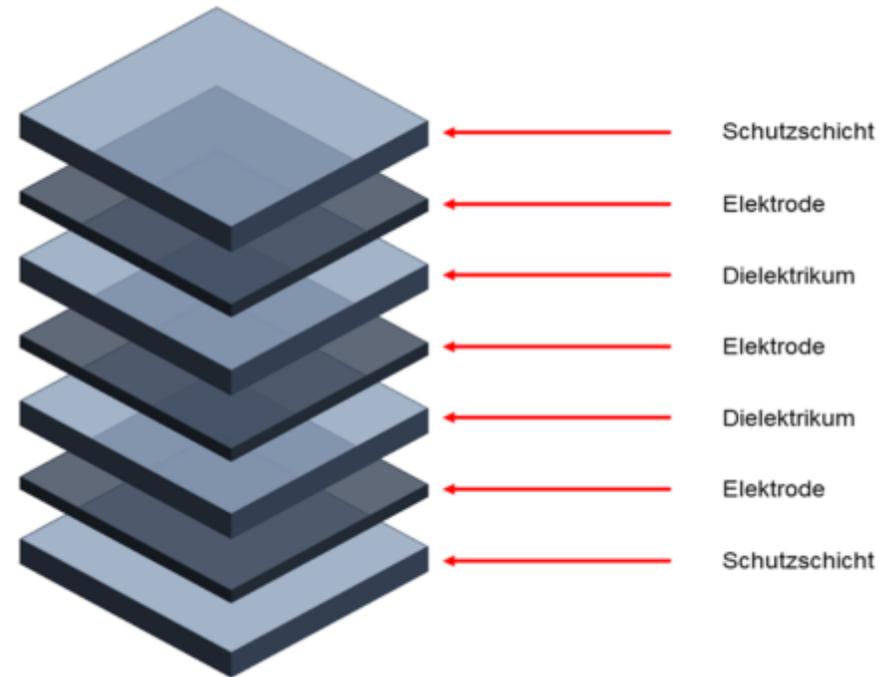


Vorteile von Silicon als Sensor- und Aktormaterial in Textilien

- **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)**
- **Geringe Kosten (~ 0,1 - 1 € / cm², abhängig von Funktion)**

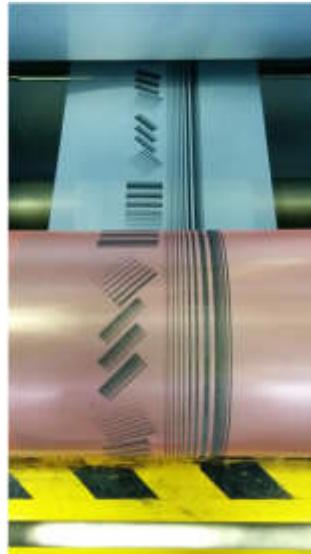
Sensorik und Aktorik: Aufbau dielektrischer Elastomerfolien

- Dielektrische Elastomere (DE) bestehen aus einer stark dehnbaren Elastomerfolie (Silicon, Acryl, Polyurethane, Naturkautschuk), die beidseitig mit dehnbaren Elektroden (Ruß, Graphit, Metallpartikel in Elastomermatrix) beschichtet wird
- als dehnbare Kondensatoren können sie als Sensoren, Aktoren oder Generatoren genutzt werden
- extrem dehnbar ($> 100\%$), dünn (0,5 mm), in großen Flächen oder als kleine Bauteile einsetzbar



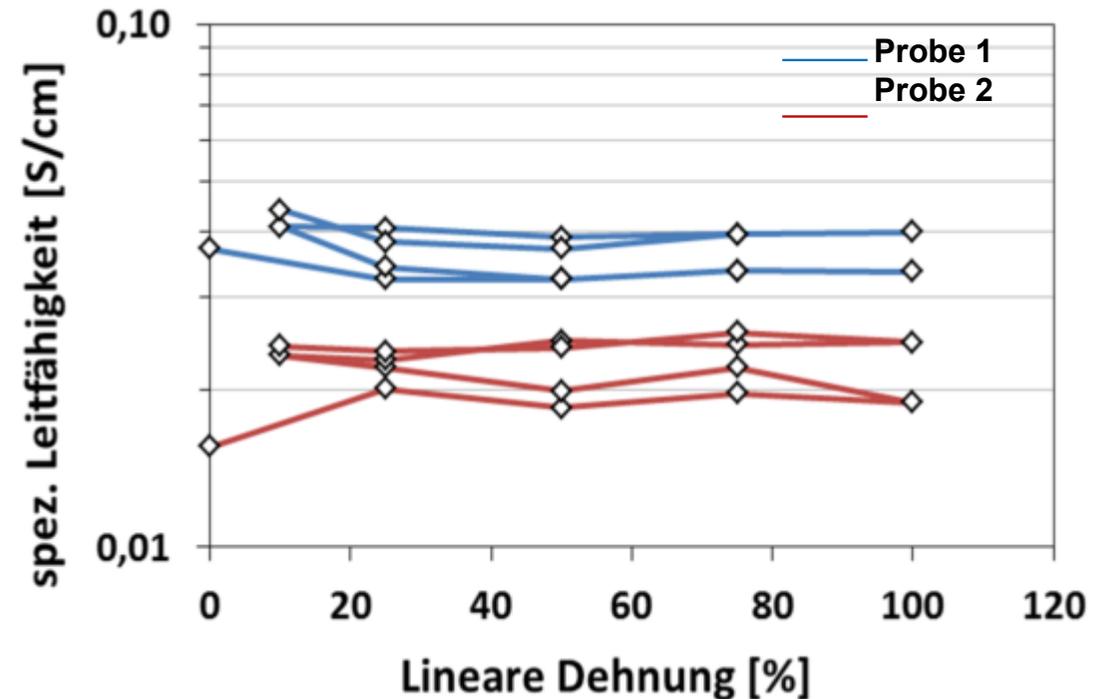
Herstellung von Dielektrischen Elastomerfolien

- **Eigene Siliconherstellung 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 Siliconlagen mit siebgedruckten Leiterbahnstrukturen**



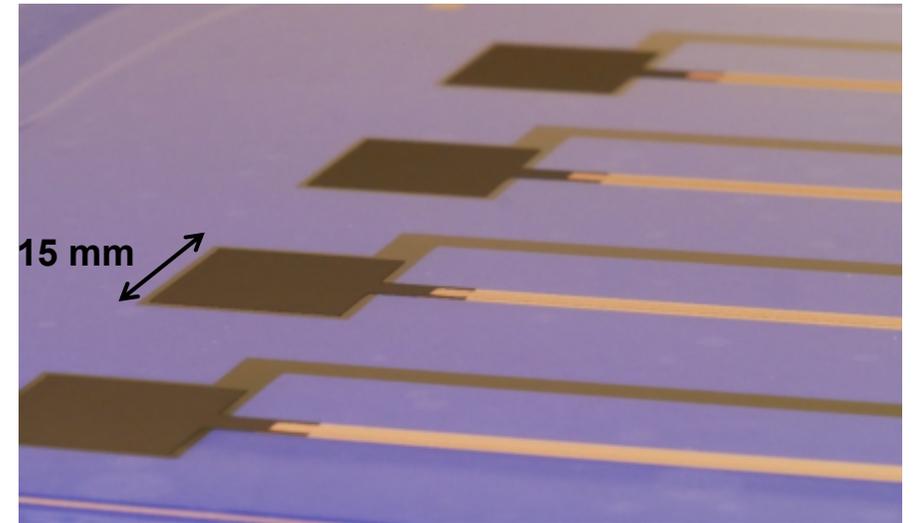
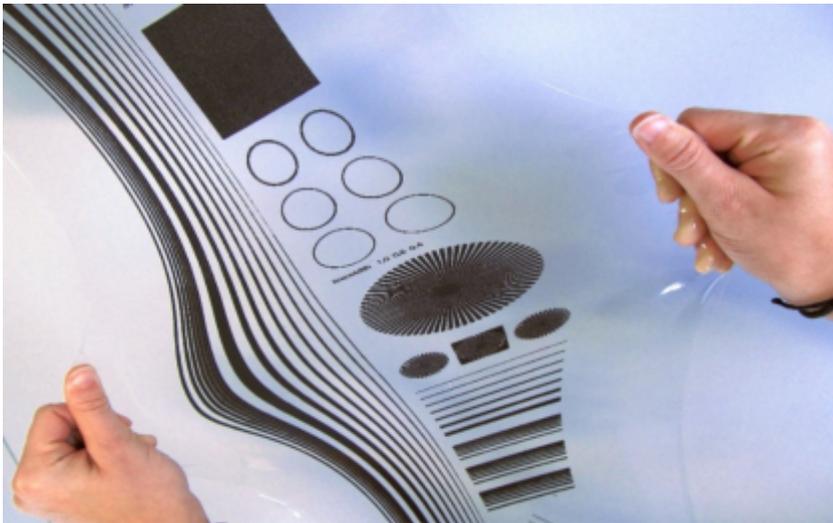
Silicon als elastische Leiterbahn

- **Spezifische Leitfähigkeiten:**
Leitruß in Silicon:
ca. 0,04 S/cm
Metallpartikel in Silicon:
ca. 100 S/cm = $10^{-4} \Omega \cdot m$
(vgl. Cu: $1,7 \cdot 10^{-7} \Omega \cdot m$)
- **Dehnungsunabhängige Leitfähigkeit bis zu 100 % Dehnung**
- **Leiterbahn – Schichtdicken ca. 30 - 40 μm**
- **Kombination mit elektrisch leitfähigen elastischen Garnen als Signalleitungen bei größeren Signallängen**



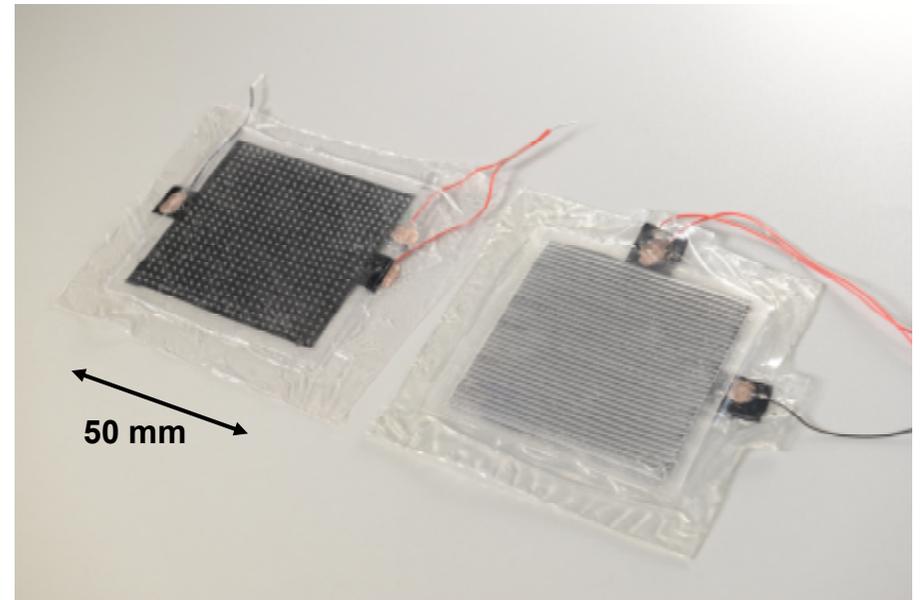
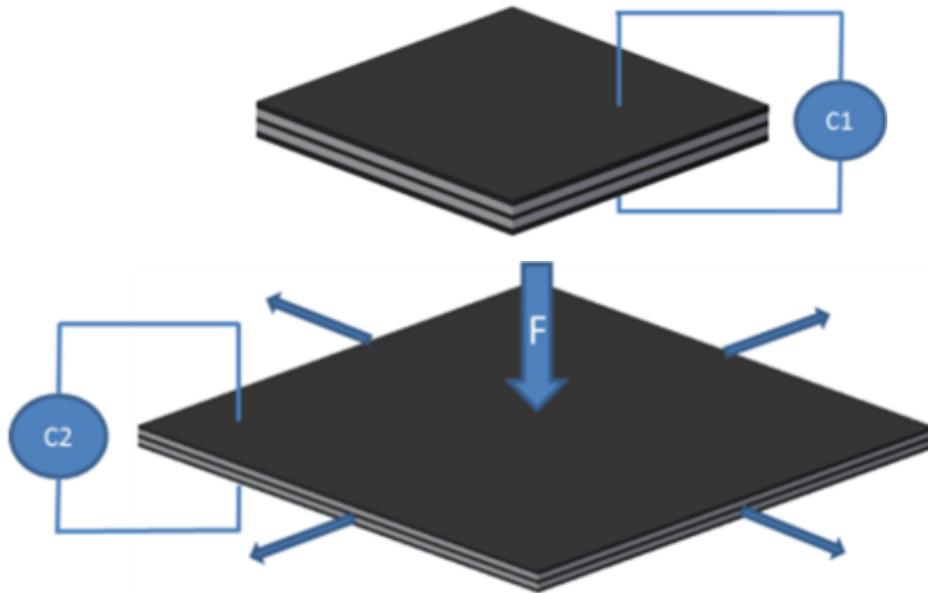
Silicon als elastische Leiterbahn

- Leitfähige Siliconstrukturen als dehnbare Leiterbahnen auf isolierenden Zwischenschichten im Mehrschichtverbund, hergestellt durch Siebdruck
- Anwendung auf stark gekrümmten Bauteilen oder bei hohen mechanischen Beanspruchungen
- Kombination von Leiterbahnen, Sensoren, Elektroden, Heizflächen, EMV – Abschirmflächen möglich



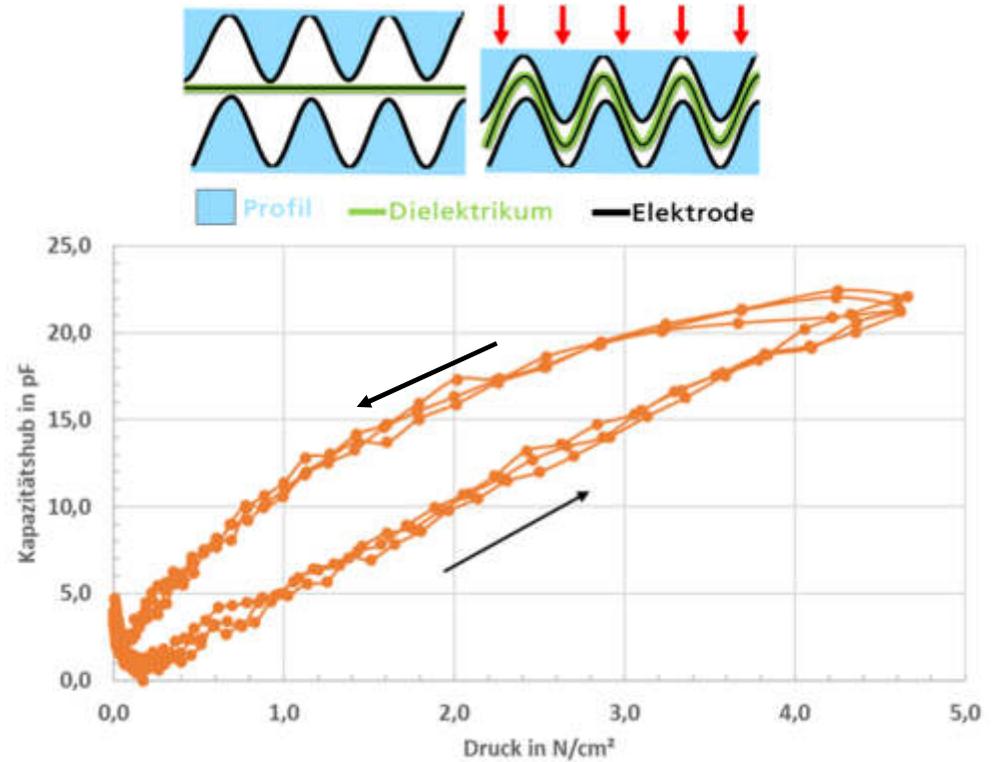
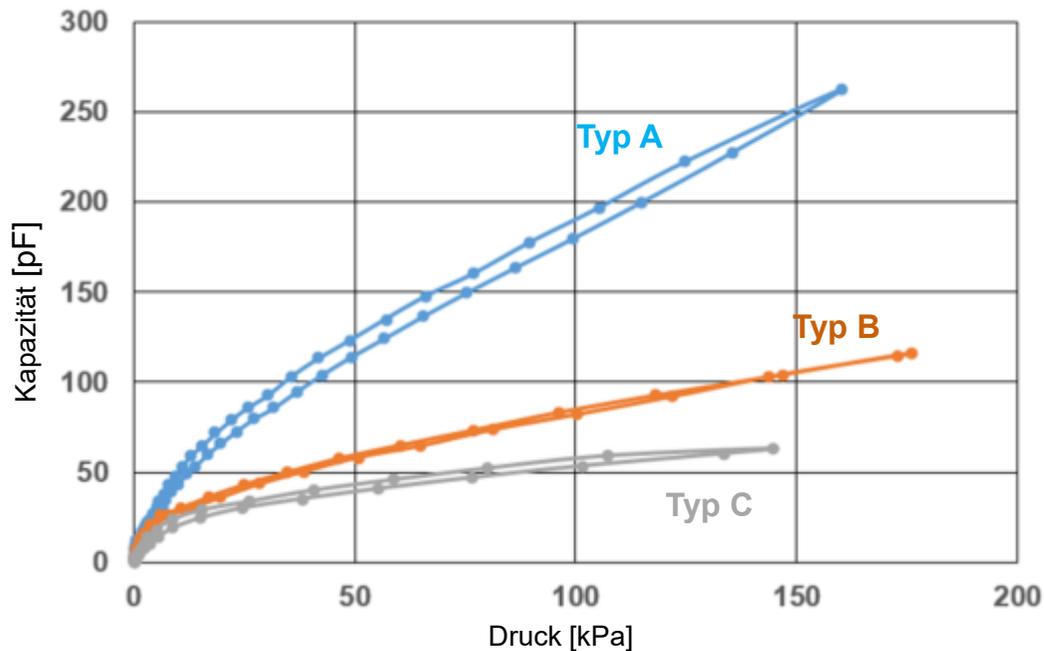
Dielektrische Elastomersensoren (DES): Druck- und Dehnungssensoren

- Bei einer Verformung durch Druck oder Dehnung verringert sich die Dicke der Elastomerfolie bei gleichzeitiger Vergrößerung der Fläche
- Dadurch vergrößert sich die elektrische Kapazität als Messgröße $C = \epsilon_0 * \epsilon_r * \frac{A}{d}$



Dielektrische Elastomersensoren (DES): Druck- und Dehnungssensoren

Einstellung des Druckmessbereiches und der Empfindlichkeit durch die „Härte“ des Elastomer-
materials und zusätzliche Noppen- / Wellenstrukturen



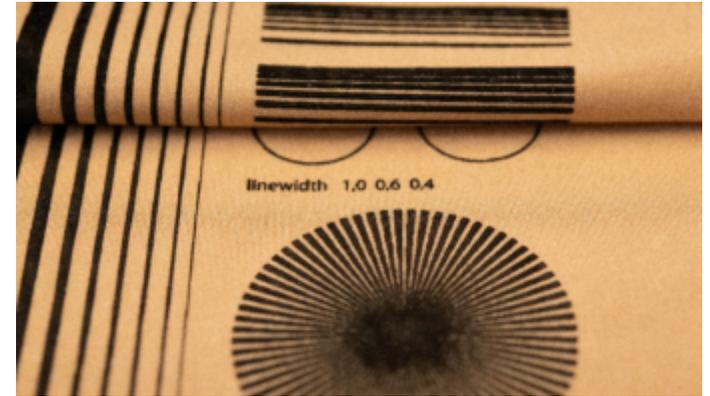
DES: Einsatzparameter

- Dünn (0,5 – 2 mm), Flächen 5 x 5 bis zu 300 x 300 mm²
- Elektromagnetisch geschirmt
- Zusatzlagen ermöglichen Näherungssensorik oder Elektroden
- Beständig gegen extreme Dehnungen (ca. 100 %)
- Sehr hohe mechanische Beständigkeit: 1 Mio. Zyklen bei 100% Dehnung
- Druckmessbereich 0,1 – 100 N/cm² (1 – 1000 kPa)
- Auflösung 0,1 N/cm² (1 kPa), Hysterese 5%
- Dynamik 0 – 100 Hz
- Temperatureinsatzbereich -40 bis 180°C, 100% rel. Feuchtigkeit

⇒ **Entwicklungsbedarf zur Reduzierung der Herstellungskosten**

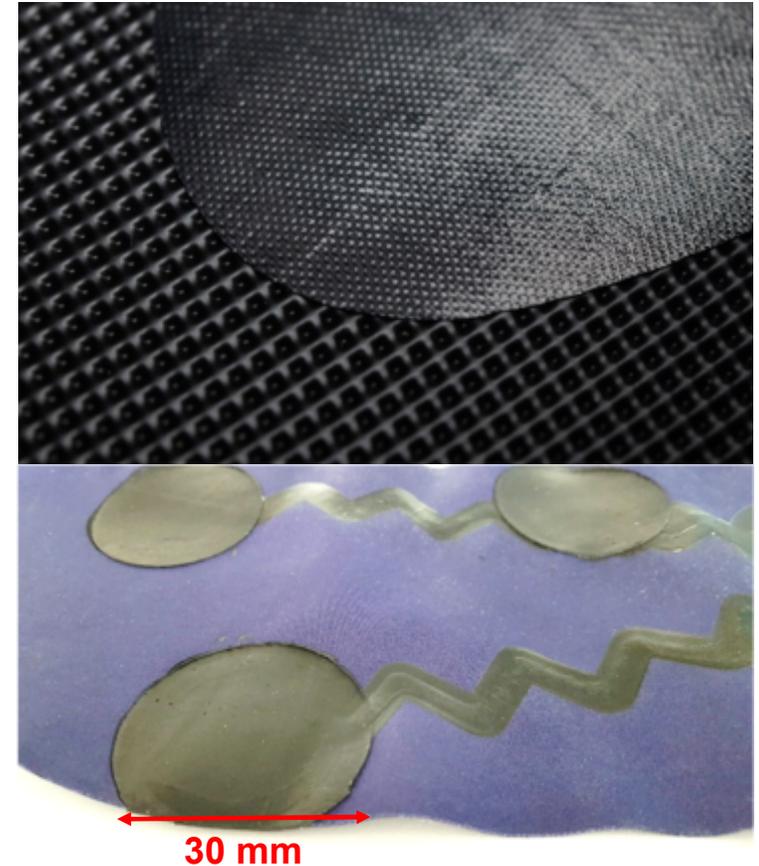
Silicon als Sensoren: Textilintegration durch Mehrlagen - Textildruck

- Die isolierenden und leitfähigen Siliconmaterialien wurden auf die **Verarbeitungsverviskosität** und **Prozessparameter** hin entwickelt
 - **Vernetzung** innerhalb von **Minuten** bei **geringen Temperaturen** unter **80 °C** erlaubt Anwendung auf **Baumwolle, Polyamid, Polyester**
 - Das **direkte Aufdrucken** auf **glatten Textilien** erfolgt im **Mehrfachdruck**, wobei die **leitfähigen** und **isolierenden** **Lagen** **nacheinander** aufgebracht werden
 - **Schnelle Verarbeitung**, **Verwendung** von **Textildruckmaschinen**
- ⇒ **Für große Stückzahlen** und **kostengünstige Massenproduktion**



Silicon als Sensoren: Textilintegration durch Thermobonding

- **Sensor- / Aktorelemente (Dehnungs- / Drucksensoren, Elektroden, Heizflächen) werden separat hergestellt**
 - **Leitfähige oder isolierende Siliconklebstoffe wurden bzgl. Verklebung bei geringem Druck und niedriger Vernetzungstemperatur entwickelt**
 - **Textilapplikation durch „Aufbügeln“: ca. 1 Minute, 80 °C angepasst an Polyester, Polyamid, Baumwolle**
 - **Vermeidung des Durchdringens der Klebstoffe durch das Textil bei geringem Druck**
 - **Individuelle Platzierung**
 - **Dehnbar bis 35%, dauerhaft stabil unter mechanische Zyklisierung bis 1 Mio. Zyklen**
 - **Elektrische Widerstände ca. 100 Ohm/m**
- ⇒ **Sinnvoll für kleine Stückzahlen Einzelanfertigungen, Nachrüstung**



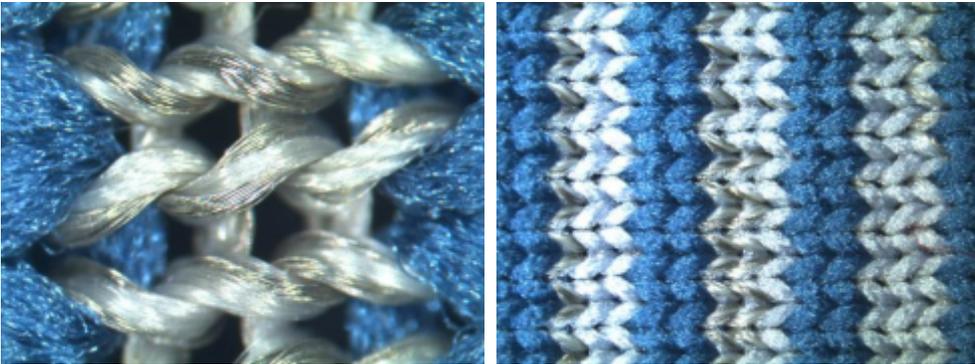
Elektrische Leiter in Textilien (Strick-Zella) <https://www.strick-zella.de/>

Realisierung durch:

- Gestrickte Kabelschächte
- Einstricken von mit Kupfer- oder Silberfäden umwickelten Polyestergeräten (0,1–0,3 mm, 14 Ω /m)

Vorteile:

- cleaneres Design
- geringerer Konfektionsaufwand → geringere Herstellungskosten



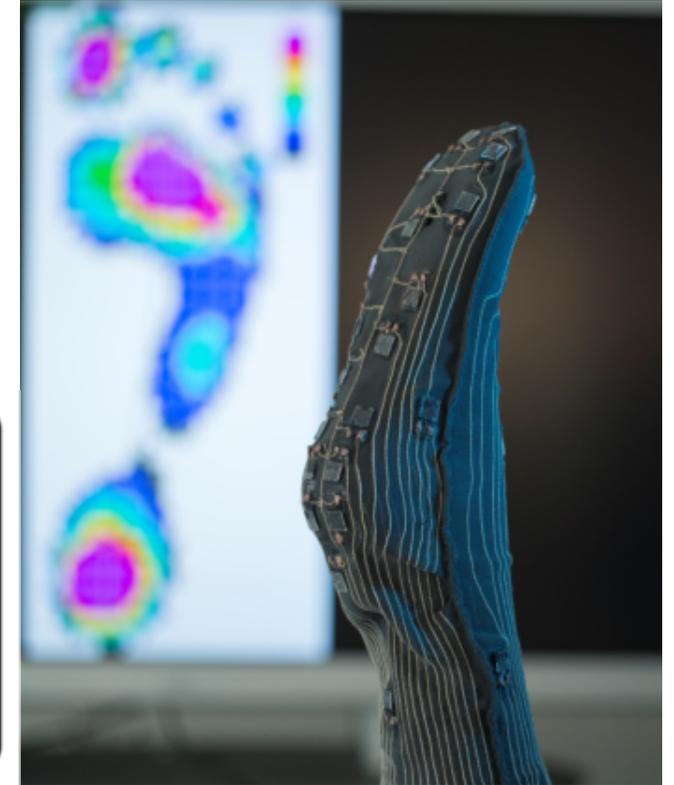
Maschenbildend
gestrickte
Buskabel
Pitch 2.5 mm



Anwendungspotentiale textilintegrierter Elastomersensorik

Druckmesstrumpf

- dreidimensionale, kontinuierliche Erfassung der Druckverteilung am gesamten Fuß mittels einer Messsocke
- Ganganalyse durch drahtlose Datenerfassung
- Langzeitdiagnose beim diabetischen Fußsyndrom
- Schuhanpassung bei orthopädischen Erkrankungen

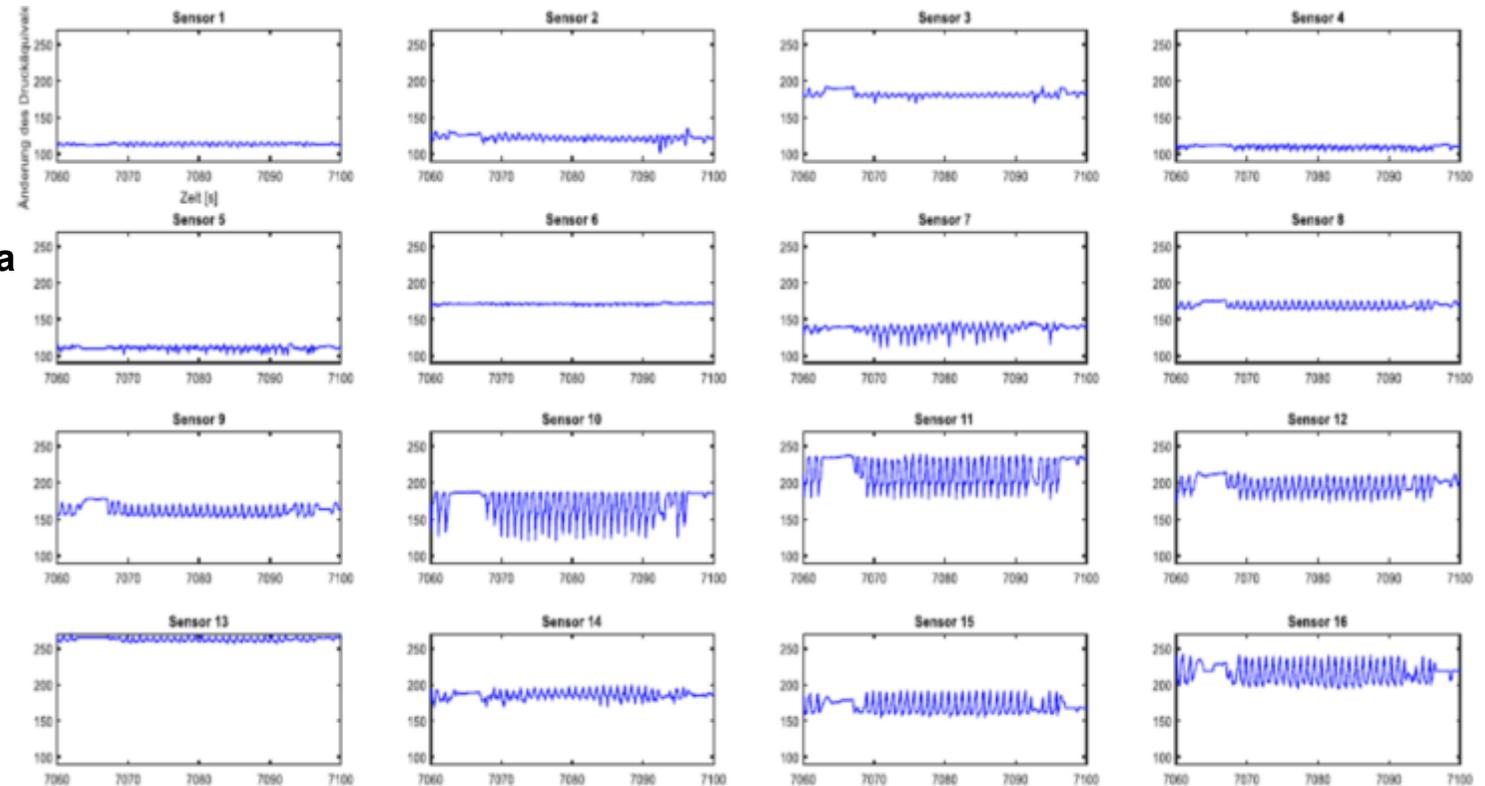


Anwendungspotentiale textilintegrierter Elastomersensoren

Druckmesstrumpf mit 16 großflächigeren DES

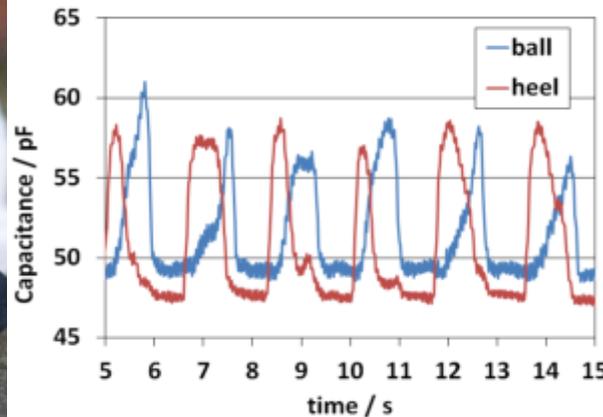
Kabelführung in gestrickten Kabelschächten

Kooperationsprojekt mit Strick-Zella und OTH Amberg-Weiden



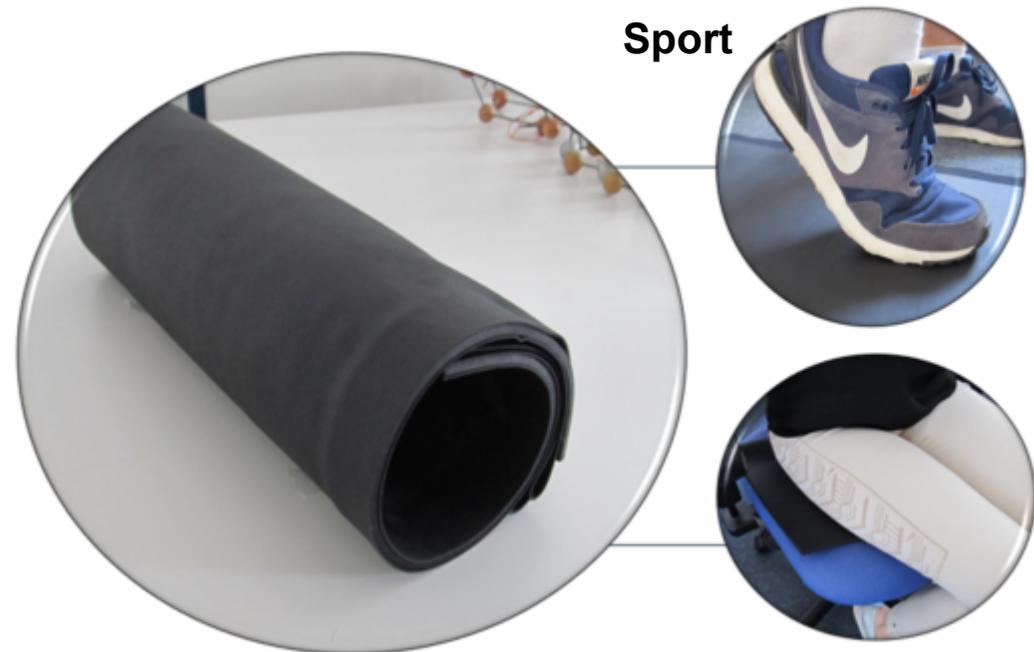
Anwendungspotentiale textilintegrierter Elastomersensorik

- (Orthopädische) Schuheinlagen mit weicher Bettung
- Weiche und elastische Sensoren (Dicke ca. 1 mm) können individuell für Patienten / Sportler platziert werden
- Anwendungen zu Langzeitdiagnosen beim diabetischen Fußsyndrom, Schlaganfallpatienten, Gewichtsbelastung nach Knie- / Hüftoperationen oder zur Laufstilanalyse bei Sportlern



Anwendungspotentiale textilintegrierter Elastomersensorik

Ortsaufgelöste Druckmessung in Stühlen, Matratzen für Haltungs- / Gang- / Bewegungsmonitoring

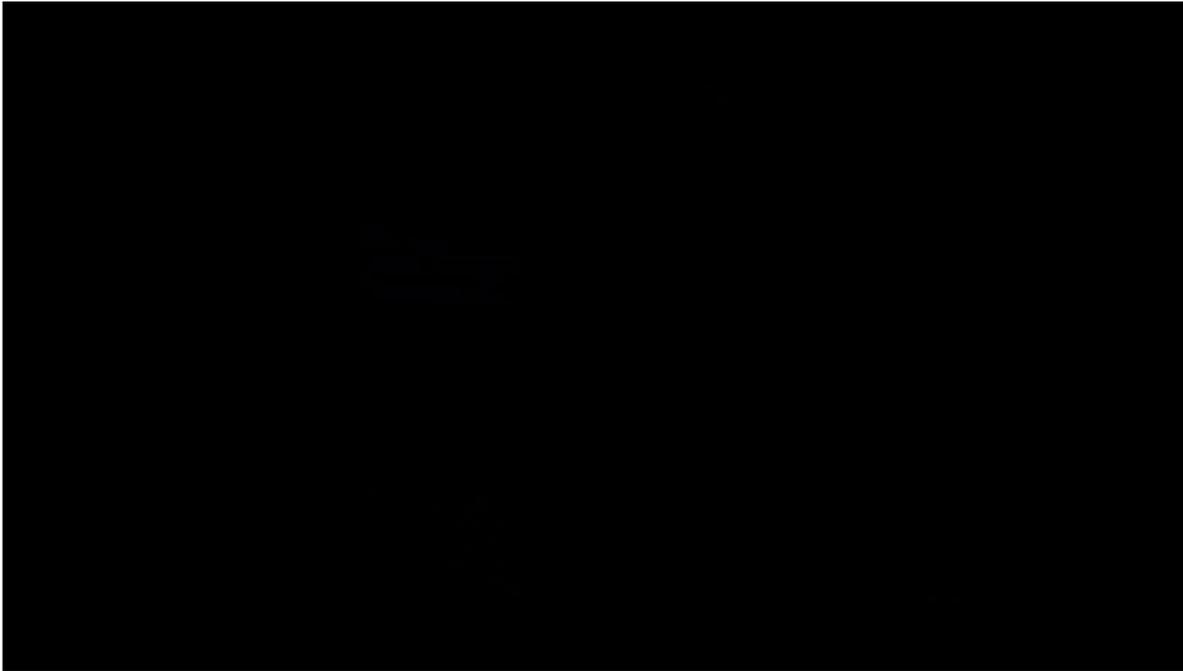


Zusammengerollte Messmatte

Bürostuhl

Anwendungspotentiale textilintegrierter Elastomersensoren

Ortsaufgelöste Druckmessung in Stühlen, Matratzen für Haltungs- / Gang- / Bewegungsmonitoring



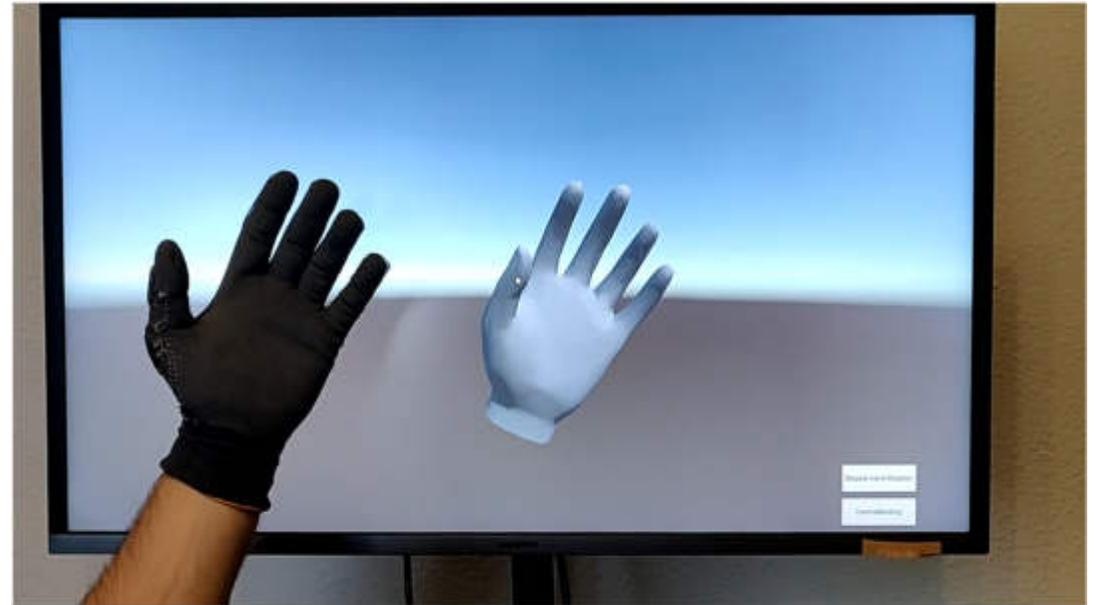
Anwendungspotentiale textilintegrierter Elastomersensorik

- Entwicklung von zwei Typen von Handschuhen (Druck- oder Haltungsmessung), die je nach Einsatzzweck kombiniert werden können
- Verwendung von sehr dünnen Garnen für einen sehr elastischen feinfühligem Handschuh mit hohem Tragekomfort



Anwendungspotentiale textilintegrierter Elastomersensoren

Anwendungsmöglichkeiten in Qualitätssicherung bei Montageprozessen, Anlagensteuerung, VR / AR



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**
 - + **sehr hohe Anforderungen an Elektronik bzgl. Tragekomfort, Waschbarkeit**
 - + **individuelle Einzelstücke als auch Massenprodukte müssen kostengünstig hergestellt werden können, wobei ein Weg eine *Standardisierung* wäre**
- **Noch höhere Anforderungen bei dehnbaren Textilien an Kabelführung und Elektronikintegration!**

Danke fürs Zuhören



Kontakt

Dr. Bernhard Brunner
Center Smart Materials and Adaptive Systems CeSMA

Tel. +49 931 4100-416
bernhard.brunner@isc.fraunhofer.de

Fraunhofer ISC
Neunerplatz 2
97082 Würzburg
www.isc.fraunhofer.de
www.cesma.de