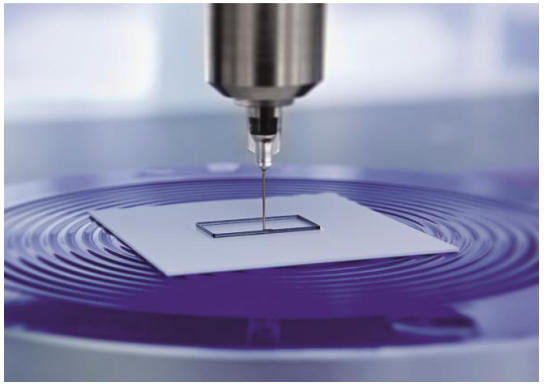
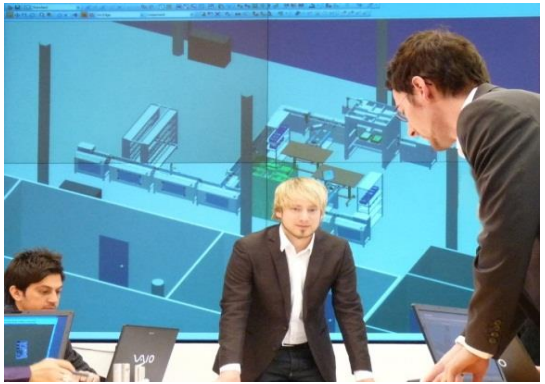
FRAUNHOFER IPA

INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG

In Kooperation mit den Uni-Instituten ISW und IFF





We produce future

Innovative. Interdisciplinary. Sustainable.

FRAUNHOFER IPA

INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK UND AUTOMATISIERUNG

Smarte Materialien & Oberflächen - Raumkonditionierung der Zukunft

Raphael Neuhaus
Projektleiter

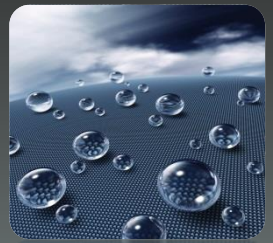
Prof. Dr. Thomas Bauernhansl
Institutsleiter IPA/IFF

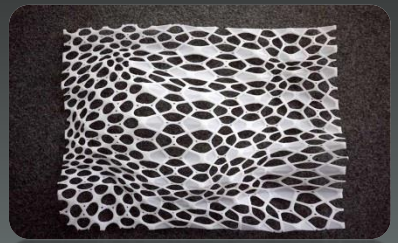
Ivica Kolaric
Abteilungsleiter

Carsten Glanz
Gruppenleiter

Abteilung Funktionale Materialien
Fraunhofer IPA Stuttgart

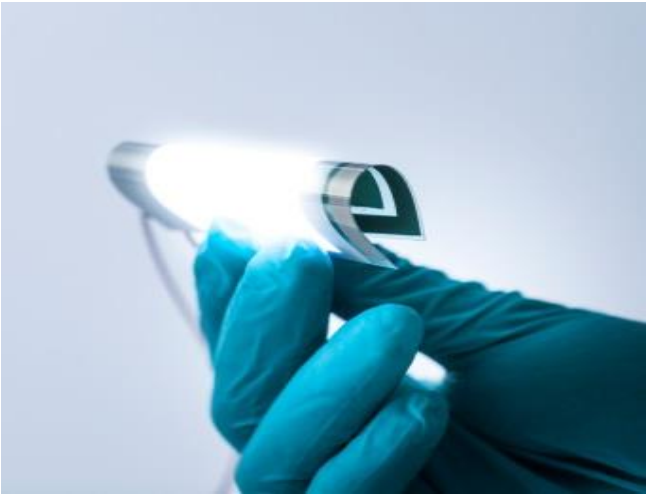
Was sind „smarte Oberflächen“ ?





Intelligente Oberflächen - Definition

Mit dem Attribut ›*funktional*‹ oder ›*intelligent*‹ werden diejenigen Oberflächen bezeichnet, die einen Unterschied der Oberfläche zum Grundwerkstoff **funktioneller Art** mit sich bringen.



Motivation – Smart Buildings

Gebäude der Zukunft

Stichwort „Smart Living“

- Gebäudeautomation
- Vernetzung von Gebäudetechnik und Elektrohaushaltsgeräten
- Übertragung der Kontrolle über Gebäudetechnik auf den Nutzer
- Stärkere Interaktion von Nutzern und Gebäuden

→ Licht, Temperatur, Feuchtigkeit, Schall, Duft, (Farben)…

Frage:
Wie lässt sich das mit zukünftigen **Leichtbau**technologien bewerkstelligen?

Übergeordnete Problemstellung

Gesellschaftliche Relevanz

1) Statistisches Bundesamt: Umweltnutzung und Wirtschaft - Tabellen zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen, Teil 4: Rohstoffe, Wassereinsatz, Abwasser, Abfall, Umweltschutz, 2017
2) Finanzierungsantrag SFB 1244 - Adaptive Hüllen und Strukturen für die gebaute Umwelt von morgen, kap. 1.2.2. Seite 20 - Universität Stuttgart, 2016
3) W. Haase, W. Sobek et al.: Adaptive mehrlagige textile Gebäudehüllen, Zukunftsinitiative ZukunftBAU F2798, 2011

Das Bauwesen steht heute weltweit für

- 60 % des Ressourcenverbrauchs,
- 50 % des Massenmüllaufkommens,
- 35 % der Emissionen
- 35 % des Energieverbrauchs[1,2] (inkl. Graue Energie)

Trend:

Textile Außenhüllen und Funktionsmembranen[2]

- **Leichtbau**, Formenvielfalt, Nachhaltigkeit
- **Aufenthaltsqualität?**

Bauphysikalische Anforderungen[2,3]:

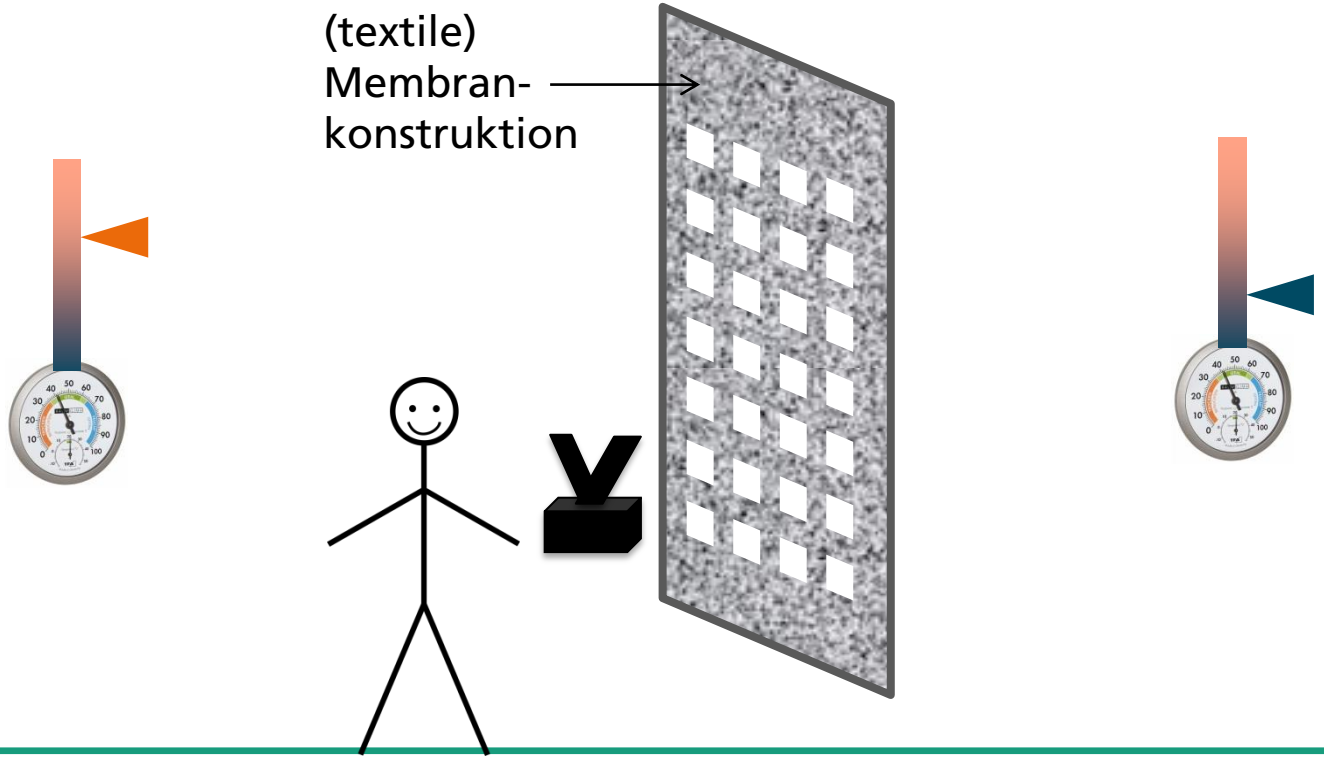
Luftdicht UND atmungsaktiv -> Adaptivität

Burj al Arab, Dubai
© wikiarquitectura.com.

Flughafen Bangkok-Suvarnabhumi, Thailand, © Airport of Thailand Plc.

Übergeordnete Problemstellung

Aufenthaltsqualität



Begriffsdefinition

Atmungsaktivität = Wasserdampfdurchlässigkeit[1)]
Fähigkeit eines Stoffes, **Feuchtigkeit** zu transportieren
(häufig in Interaktion mit Lufttransport / Ventilierung)

Feuchteregulierung durch:

Konvektion
- Makroskopischer Luftaustausch (Fenster auf)
- Entweichen von Raumluft durch Fugen und Ritzen
- Einhergehend mit Wärme-/ Energieverlust

➡ **Unerwünscht**

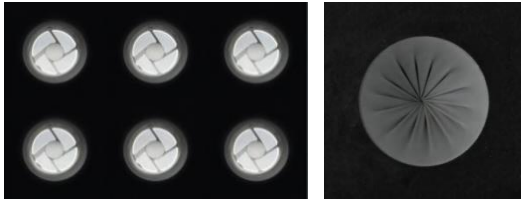
Diffusion
- Mikroskopischer Luftaustausch (brown'sche Molekularbewegung)
- Luft/Wasserdampf durchdringt Dämmschicht langsam
- Kein/kaum Wärmeverlust

1) http://info.cat.org.uk/questions/ecobuild/what-breathability/

Stand der Technik – Schaltbare Atmungsaktivität

Problem heutiger Ansätze:

- Raumeinnehmende Mechanik,
- Komplexe Installationstechnik
- Hohes Gewicht durch externe Aktuierung (Seilzüge, Wellen, Druckluft, Motoren)
- Fast ausschließlich KONVEKTIV

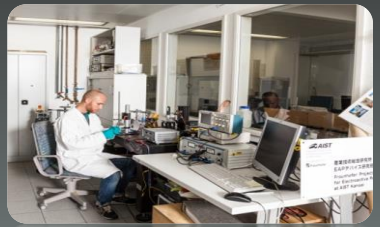


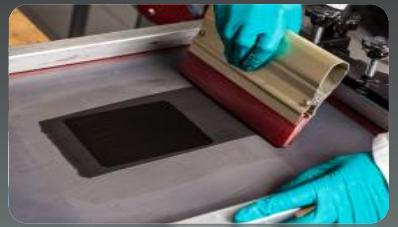
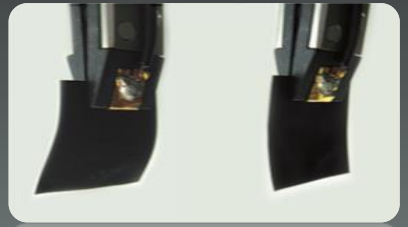
Vorstudien zur Atmungsaktivität textiler Hüllen.
Aktordurchmesser 100mm
Aktor: Seilzugmechanik
(Quelle: ILEK)

Textile Gebäudehülle mit öffenbaren Schlitzen zur Steuerung der Hinter- bzw. Durchlüftung.
Aktor: pneumatische Schläuche
(Quelle: ILEK)

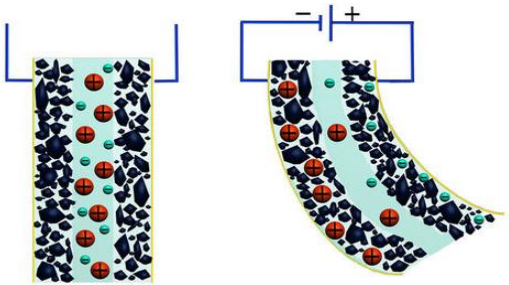
Wand-Element „FLOW“ (Flexible Lightweight Operable Wall)
(Quelle: ILEK)

Idee: Künstliche Muskeln

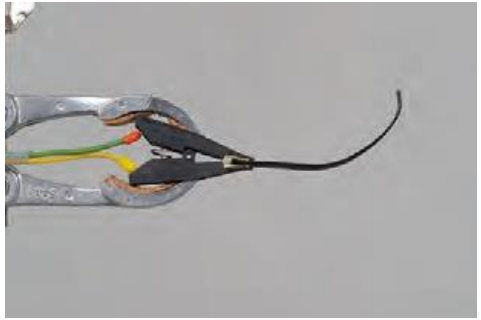


Stand der Technik – Elektroaktive Polymere



© Scientific Reports volume4, Article number: 6673



© Fraunhofer IPA

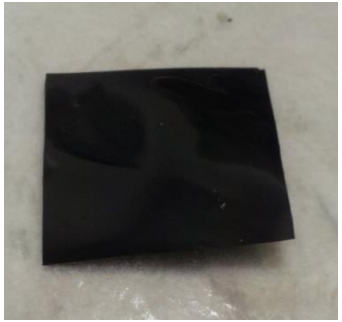
- **Schaltbare** Verformung
- Sehr kleine elektrische Spannungen erforderlich (bis ca. 3 Volt)
- Geräuschfreiheit
- Schichtsystem-intrinsische Formänderung -> keine externe Mechanik
- Können drucktechnisch hergestellt werden

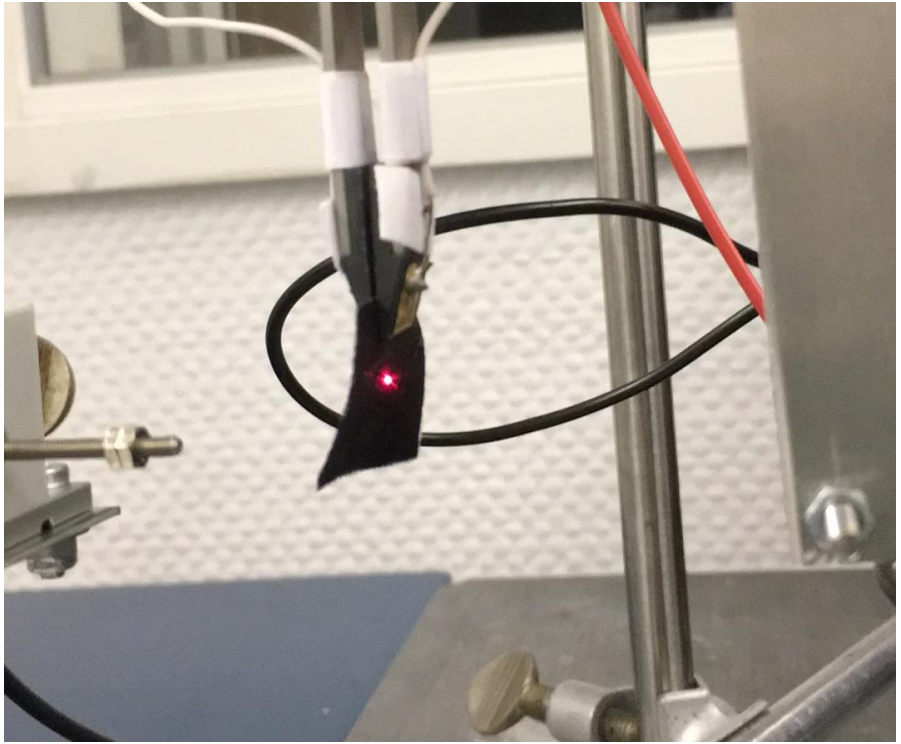
https://www.dezeen.com/2015/11/04/mit-media-lab-tangible-media-group-biologic-material-bacteria-fashion-design/

https://www.dezeen.com/2015/11/04/mit-media-lab-tangible-media-group-biologic-material-bacteria-fashion-design/

Gedruckte elektroaktive Polymere

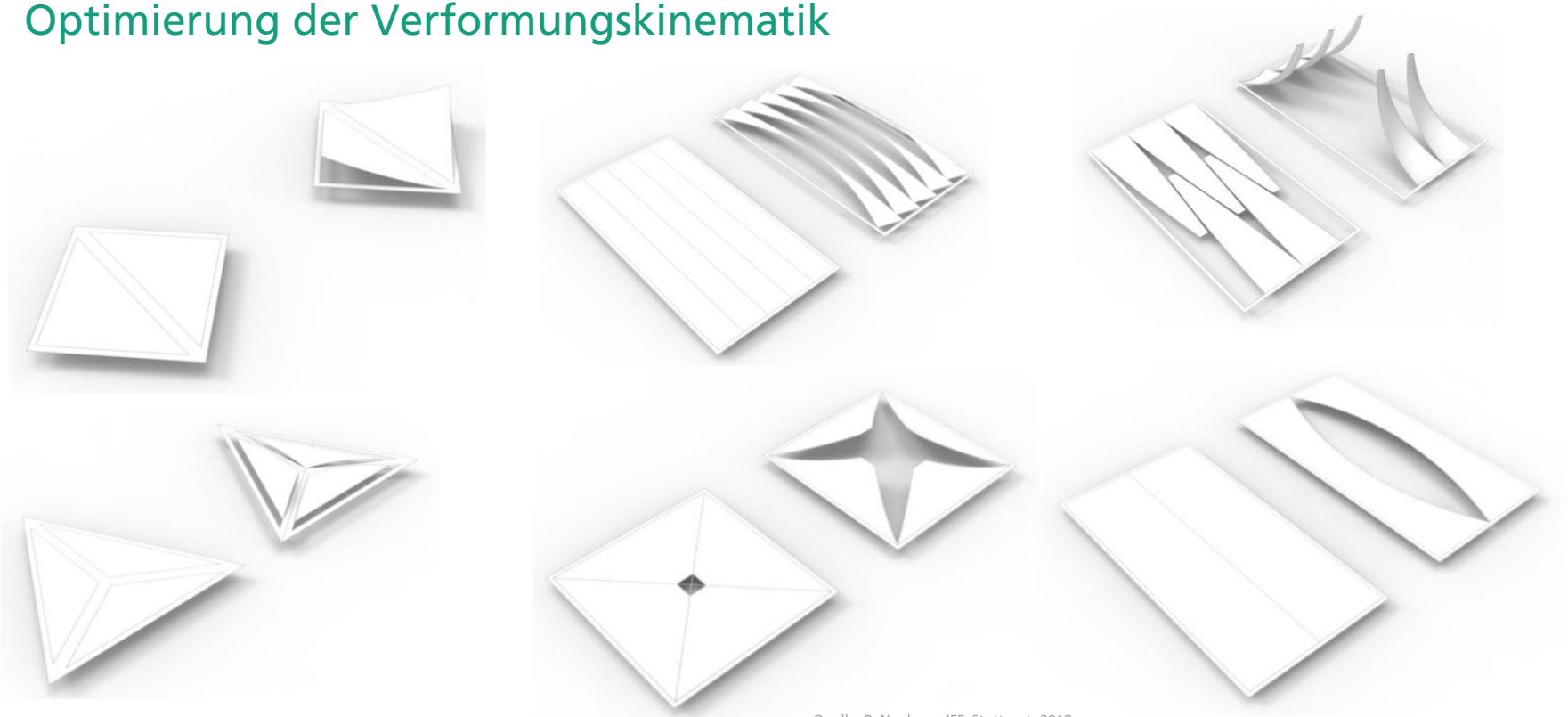
Auf dem Weg vom Labor in die Industrie





Mögliche Bewegungsprinzipien

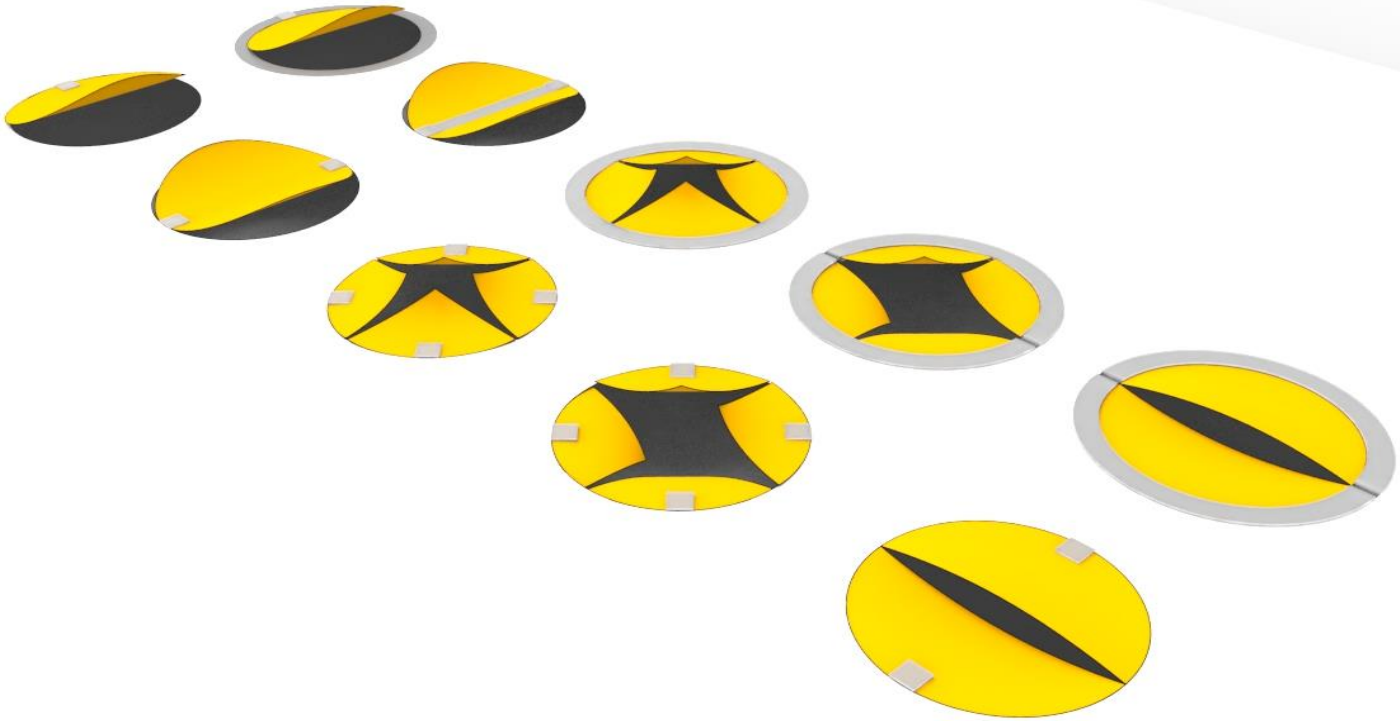
Optimierung der Verformungskinematik



Quelle: R. Neuhaus, IFF, Stuttgart, 2018

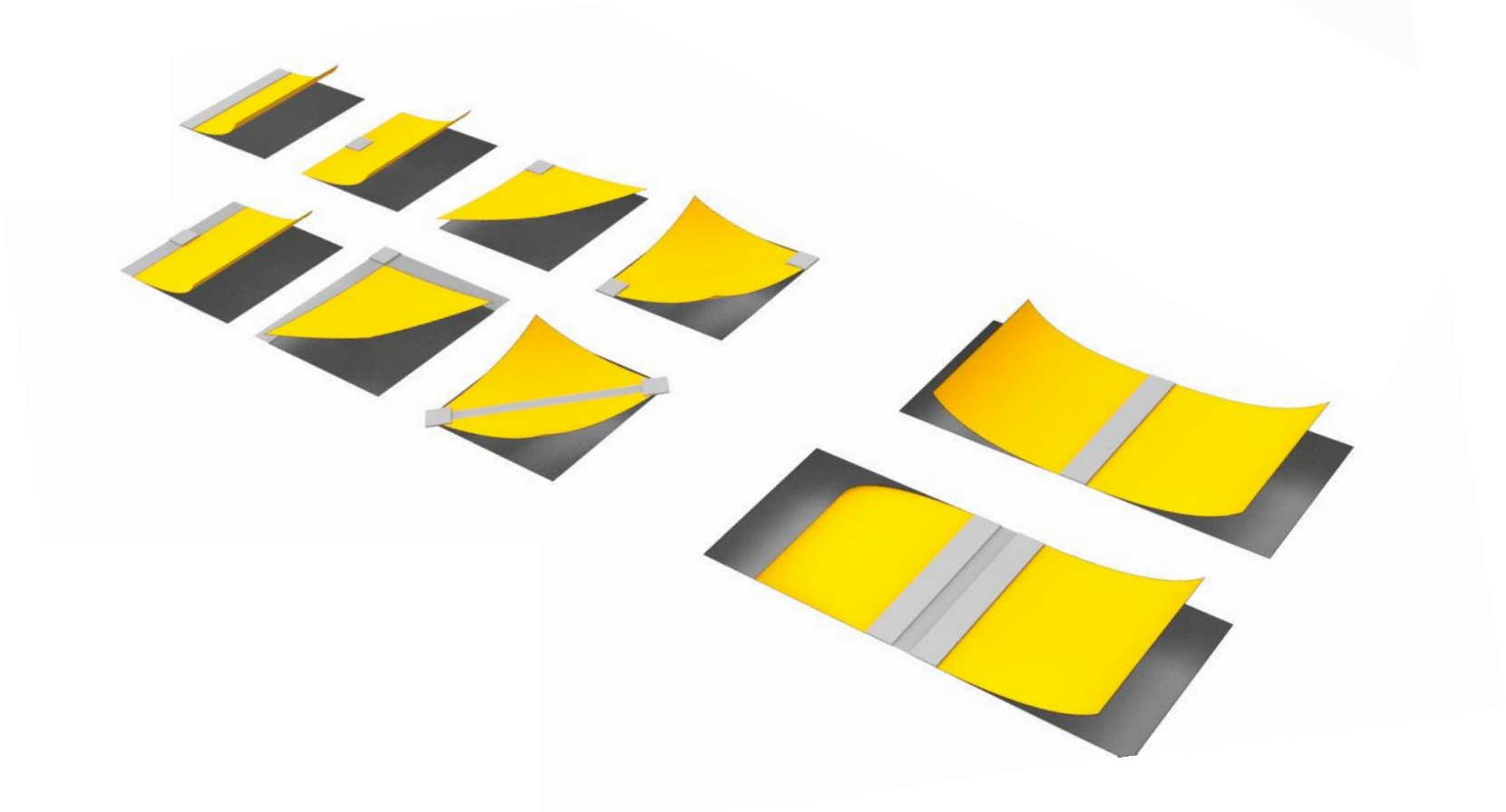
Kinematikstudien

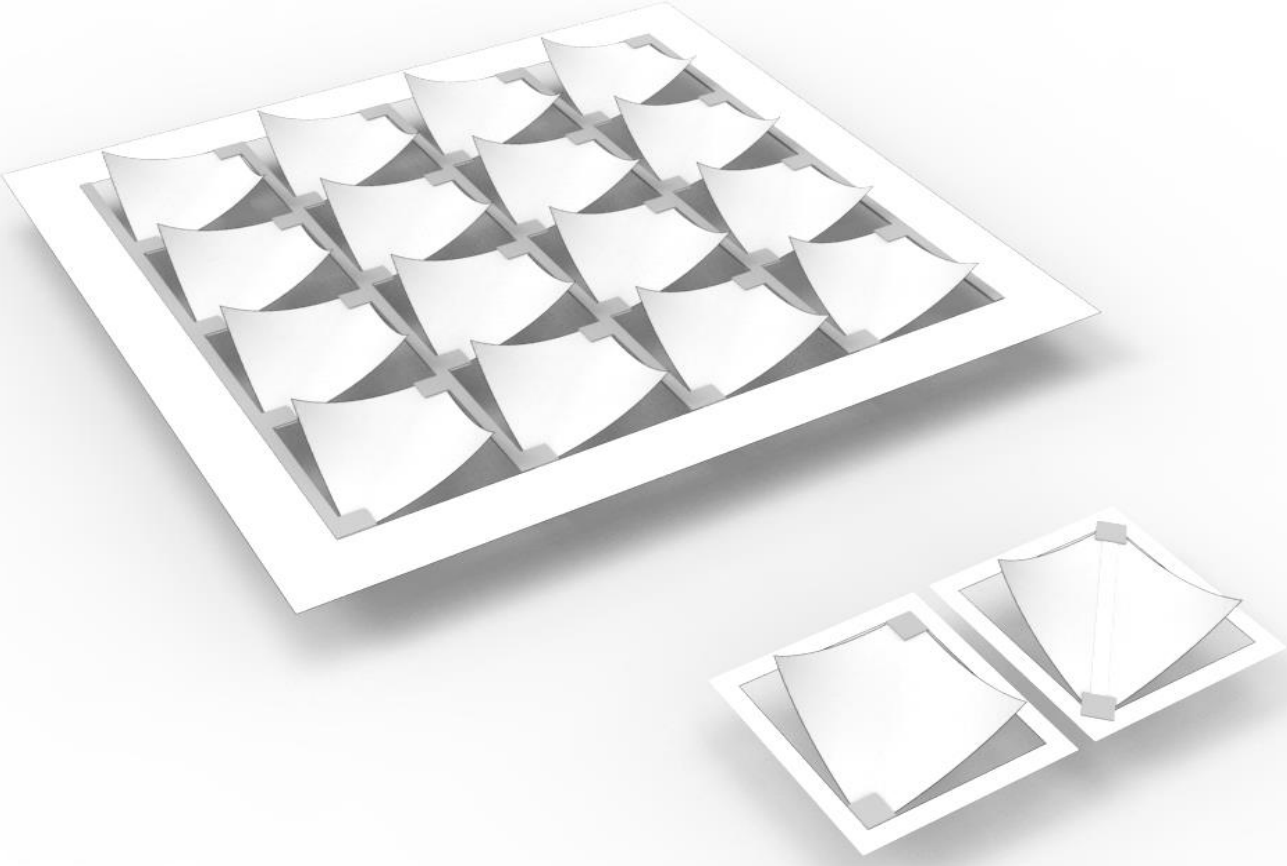
Rund-Aktoren

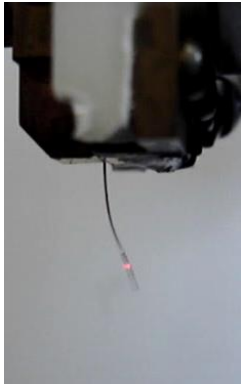


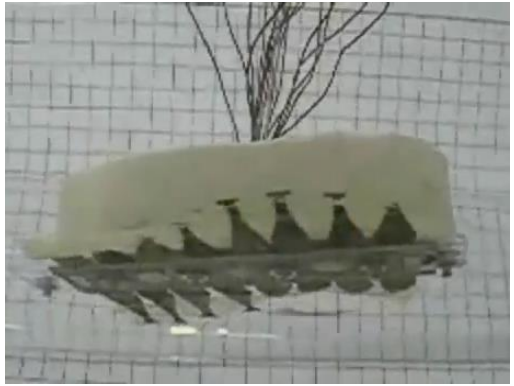
Kinematikstudien

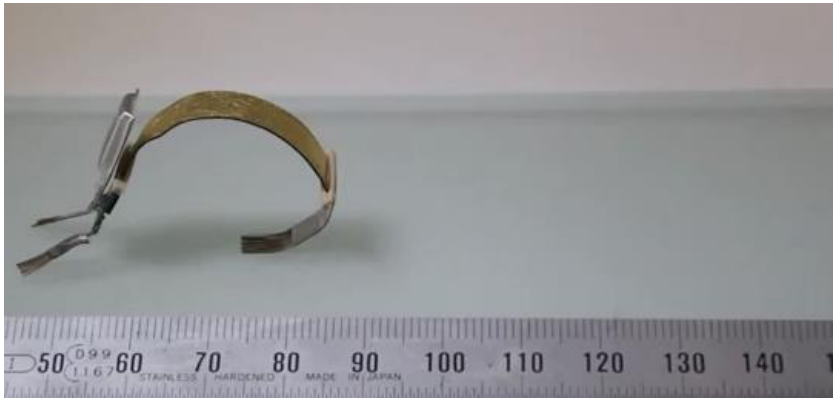
Rechteck-Aktoren










50 60 70 80 90 100 110 120 130 140

Sensorische Funktionen für Gebäudeoberflächen

Sensorik in der Oberfläche

Biologische Natur als gedankliches Vorbild

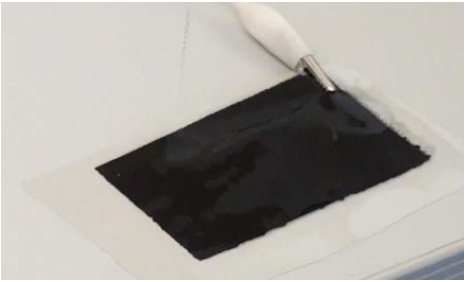
- aktive elektrische Orientierung (Elektrolokation) bei Haien, Insekten und einigen Süßwasserfischen
- Nilhecht mit aktiver Elektrorezeption
  - passive Elektrosensorik von Blütenpflanzen zur Optimierung der Blütenöffnung bei Bestäubung durch Insekten
  - schalldruck- oder thermosensitive Sinnesorgane bei Fledermäusen.

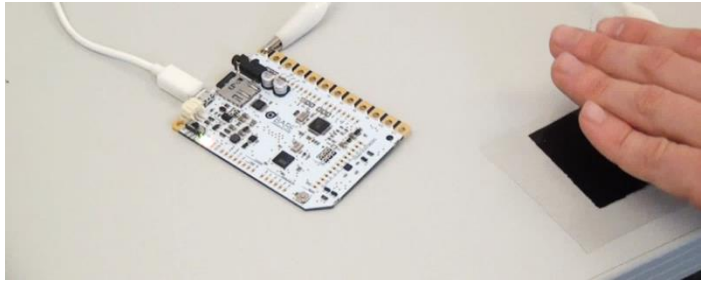
Beispiel „Smart Skin“

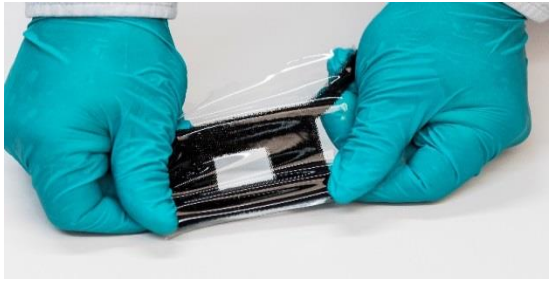
Mensch-Roboter-Kooperation

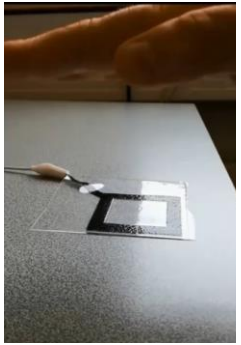
Näherungssensor

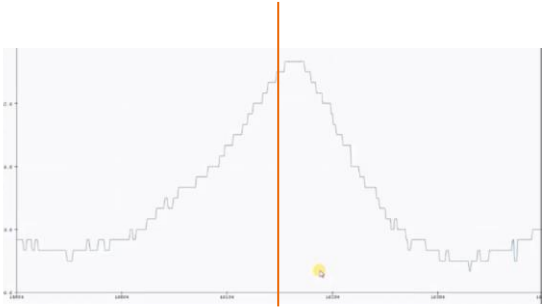
Gedruckt, flexibel, elastisch

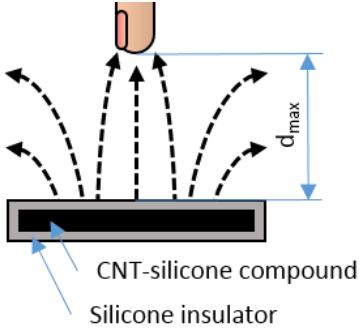






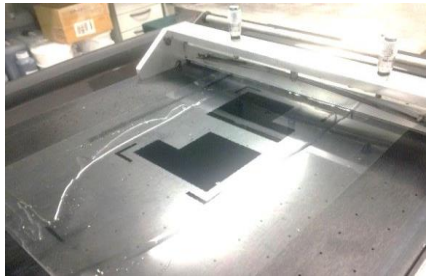


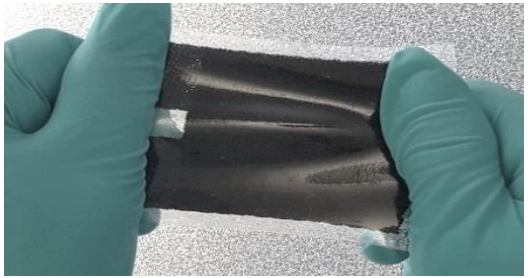


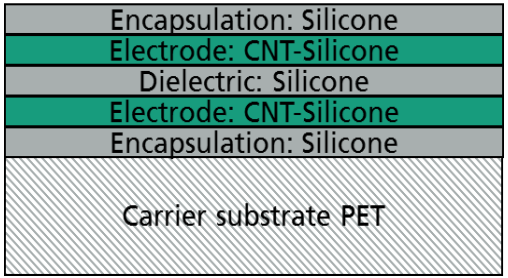


Drucksensor

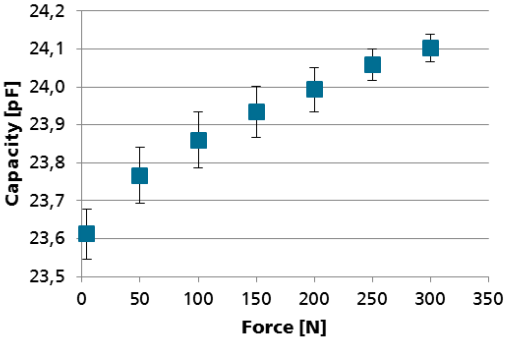
Kapazitiv, flexibel, gedruckt







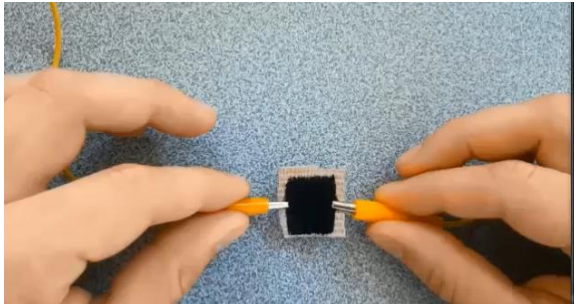
- **Umsetzung:**
  - Detektion durch Änderung der elektrostatischen Kapazität
  - Applizierbar auch auf (doppelt) gekrümmten Oberflächen

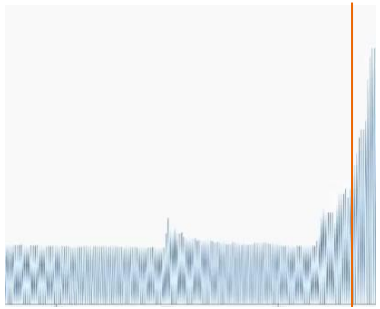


- **Mögliche Anwendungen:**
  - Windlast-Detektion in (textilen) Fassadenelementen

Dehnungssensor

Reversible resistive Dehnungssensorik



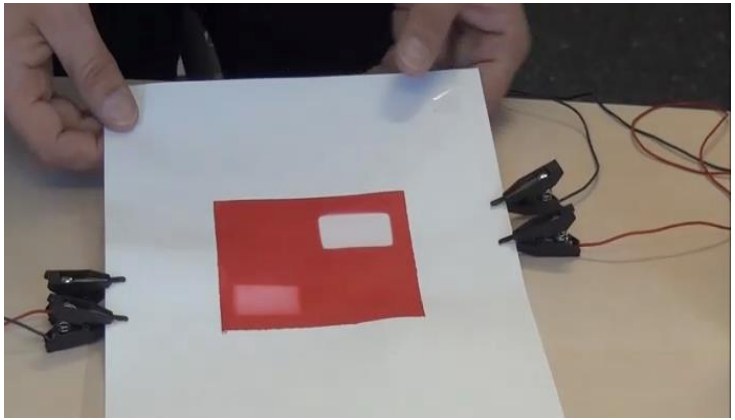


- **Umsetzung**
  - Herstellung von elastischen und elektrisch leitfähigen Schichten mit Nanomaterialien
  - Realisierbar auf einer Vielzahl von verschiedenen Substraten (Grundstoffen)

- **Anwendungsgebiete**
  - Messung der Dehnung auf stark dehnungsfähigen Materialien (z.B. textile Fassadenelemente)

Thermochrome Oberflächen

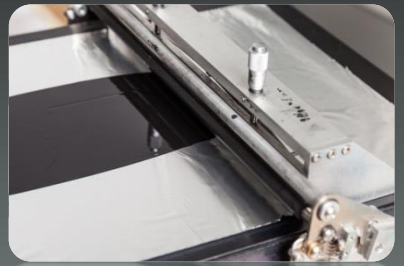
Intelligente Farbwechsel



- **Umsetzung**
  - Veränderung der Molekülstruktur spezieller Lack-/Farbpigmente
  - Einarbeitung in Kunststoffe & Textilien möglich!
- **Mögliche Anwendungsgebiete**
  - Thermochrome adaptive Fassadenelemente zur Regulierung der Strahlungsenergie bzw. Sonnenreflexion

Anhang

Materialien & Beschichtungstechnik

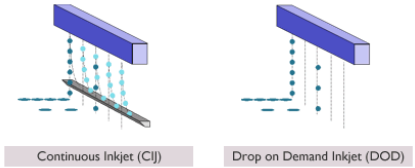


Gedruckte Elektronik

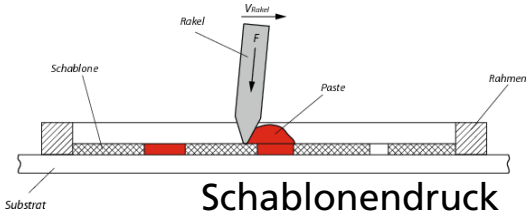
Neue Märkte

- Human-Machine Communication
- Healthcare
- Wellness and Fitness
- Smart Packaging
- **Smart Surfaces**
- Automotive
- Industrial
- **Smart Buildings**
- Design
- Security
- Anti-counterfeiting
- Robotics

Beschichtungsverfahren für flächige Sensorik/Aktorik

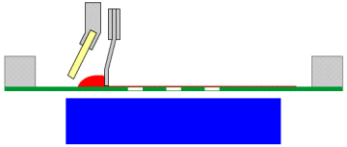


Inkjet

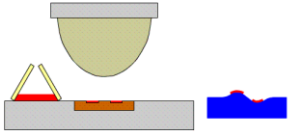


Schablonendruck

Simultane Vielfachbeschichtung

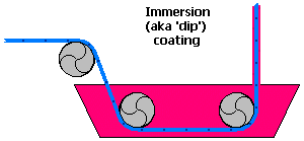


Siebdruck

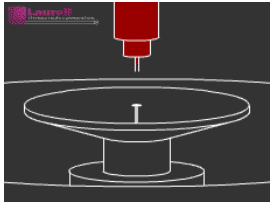


Tampondruck

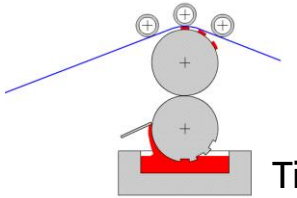
Breitschlitzdüsen-Beschichtung



Tauchverfahren

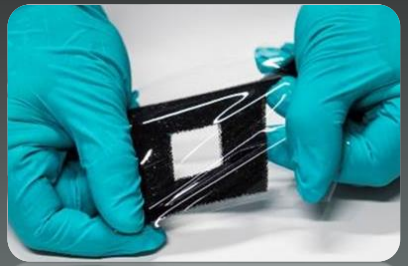


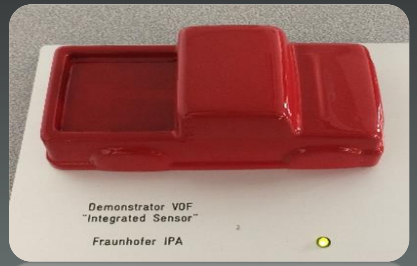
Spin coating



Tiefdruck

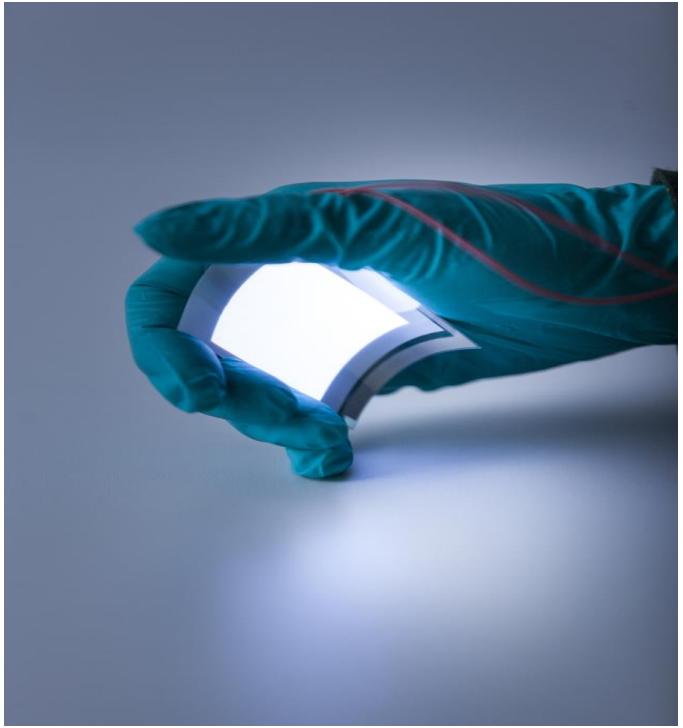
Weitere Anwendungen





Gedruckte Elektronik

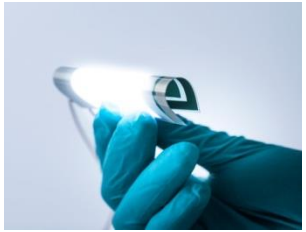
Light Emitting Devices



Technologien aus der gedruckten Elektronik

Prozesskette

Auch: Dispergieren

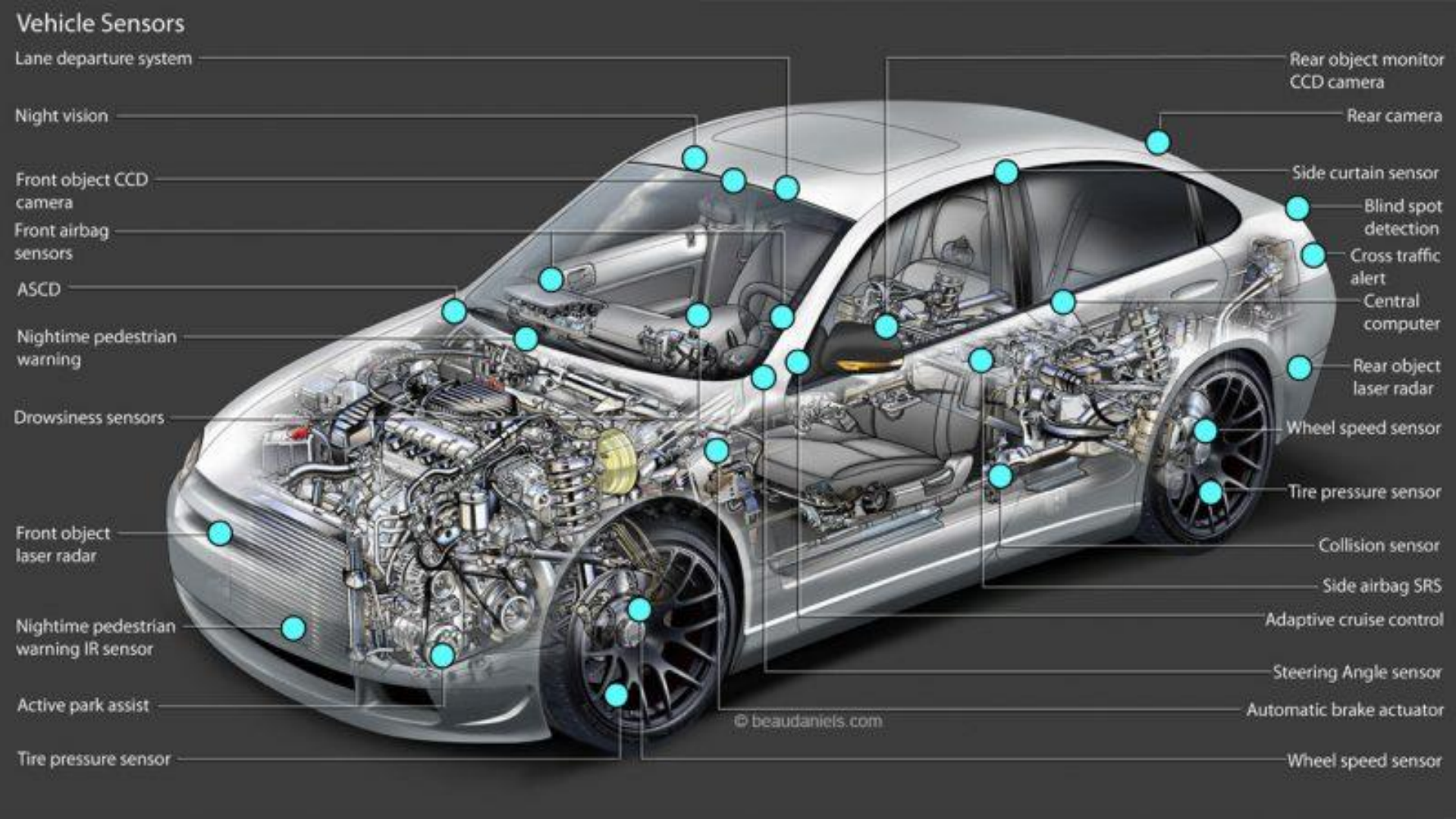


Mischen → Drucken → Trocknen → Härten → Schneiden → Kapseln

Motivation

Übertragung auf technische Systeme

Vehicle Sensors



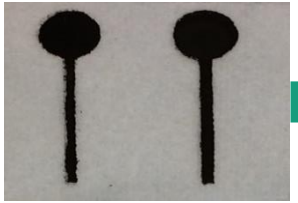
15m² ungenutzte Oberfläche

Source: Ford

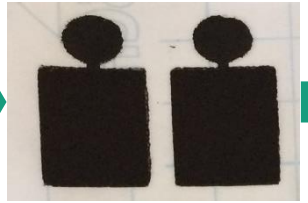
Intelligenter Lack

Integration gedruckter Näherungssensoren

Substratmaterial: Klebefolie

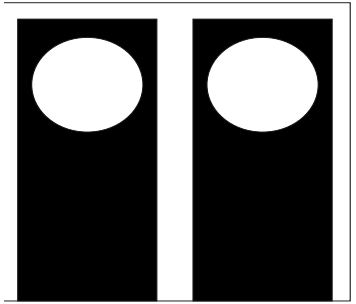


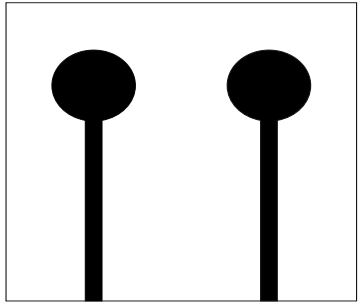
Sensorelektroden

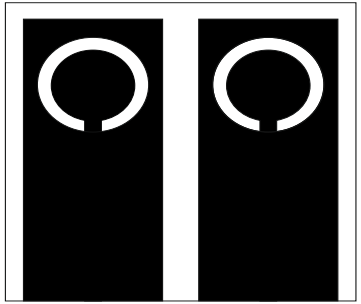


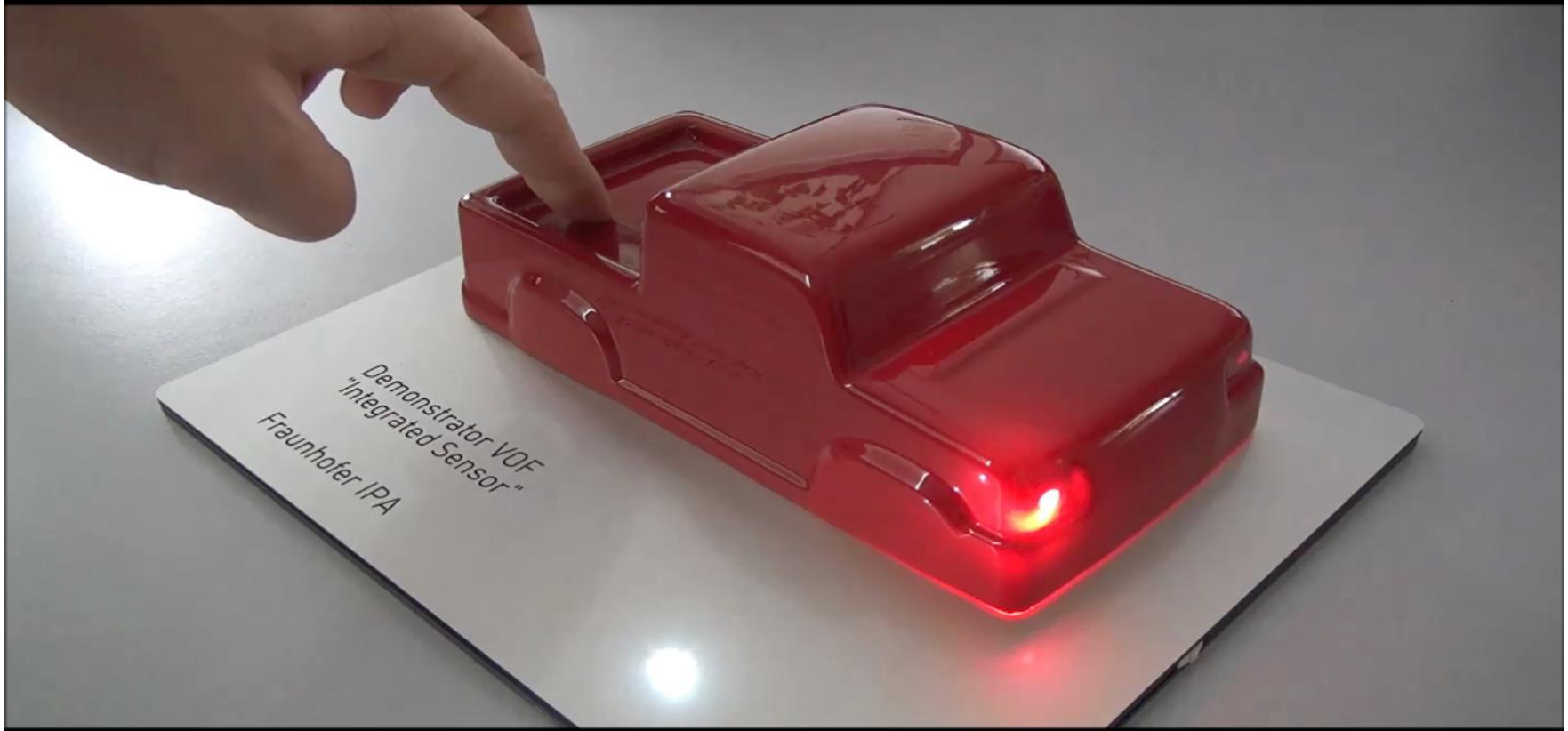
Abschirm-Elektroden

Aufkleben auf Substrat

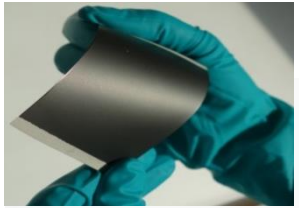




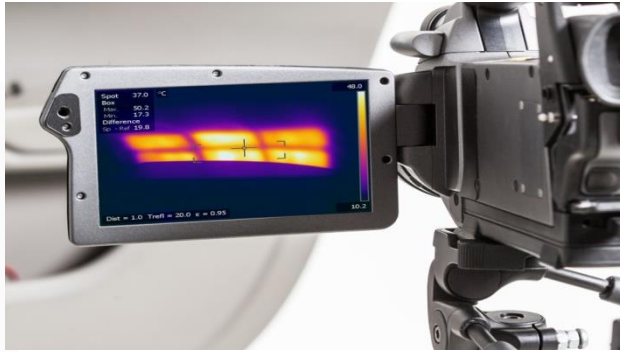


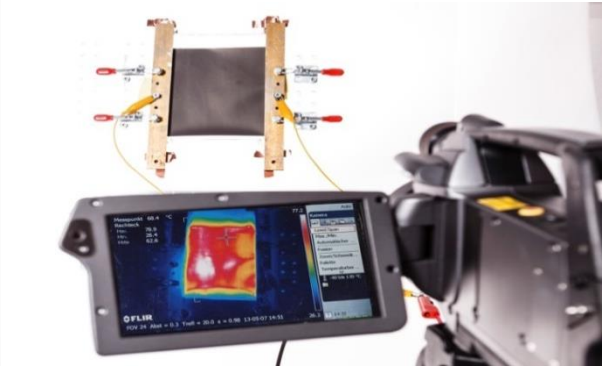

Demonstrator VOF
"Integrated Sensor"
Fraunhofer IPA

Gedruckte flächige Heizelemente



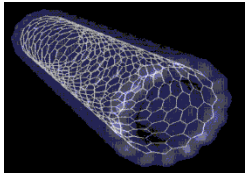
- Dünne, flexible Widerstands-Heizelemente für gekrümmte Oberflächen
- Auftragung mittels Siebdruck oder Sprühtechnologie





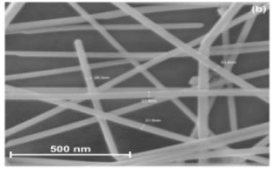
Materialien für intelligente (sensorische) Oberflächen

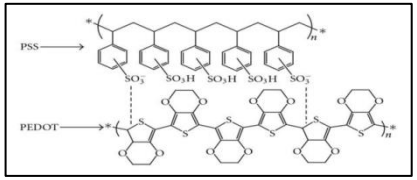
Funktionale Tinten und Pasten aus der Nanotechnologie



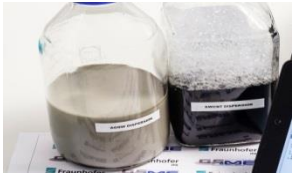
Aktivmaterialien für Tinten und Pasten:

- Leitfähige Materialien:
  - Metalle (Silber Nanodrähte, Metallpartikel-Tinten, Kupfersprays)
  - Kohlenstoff-basierte Nanomaterialien (**Carbon Nanotubes**, Carbon Black)
  - Polymere (PEDOT:PSS, P3HT,…)
- Isolatoren
  - Oxide, Nitride (dielektrisch)
- Lumineszente Materialien (Phosphor)
- Lösungsmittel, Binder…
- Additive (UV, Feuchte, Temperaturresistenz)





[1]



Sources: [1] https://www.researchgate.net/publication/338[illegible]/56@1452527766052/Molecular-structure-[illegible]EDOTPSS-a-and-schematic-structure-of-PEDOT-doped-PSS-b-12.png