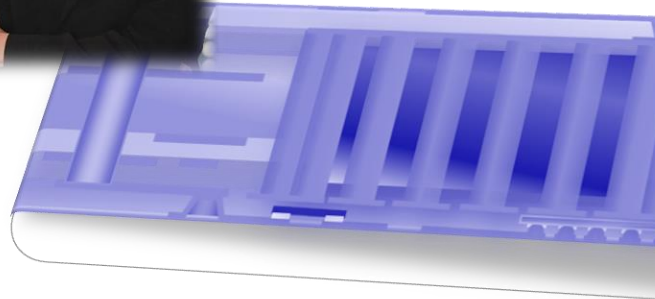
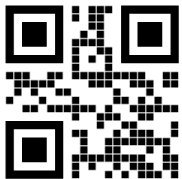


TEBKO

**TEBKO****Technologie- und Beratungs- Dienst  
Kostelnik****Dr. Jan Kostelnik**[jan.kostelnik@tebko.de](mailto:jan.kostelnik@tebko.de)<https://TEBKO.de>

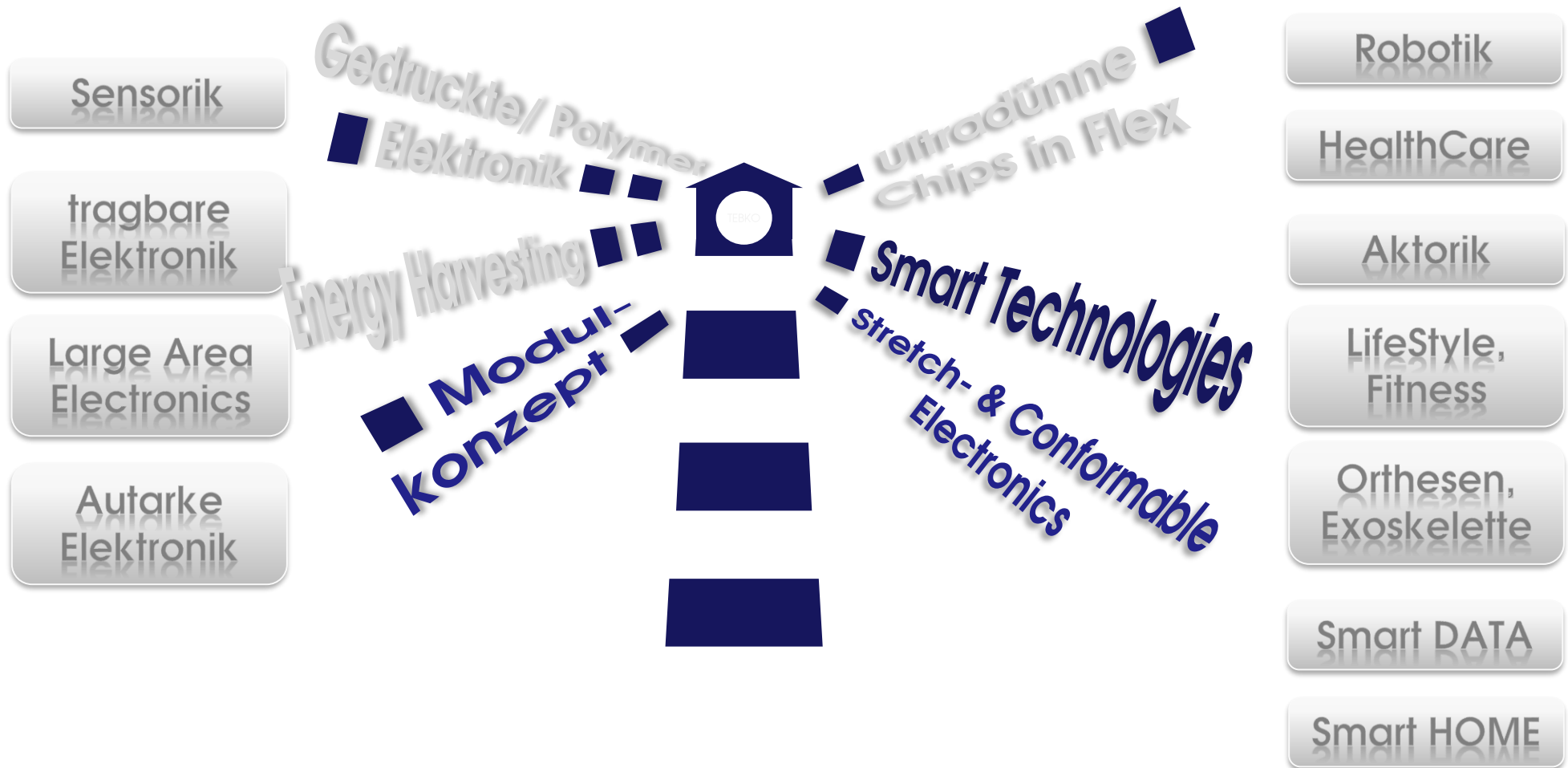
Elektronik der Zukunft  
Smart World – SmartMaterials –  
Smarte Elektronik

## Trends in der AVT – von 3D gedruckten Kupferstrukturen bis Stretchable und Conformable

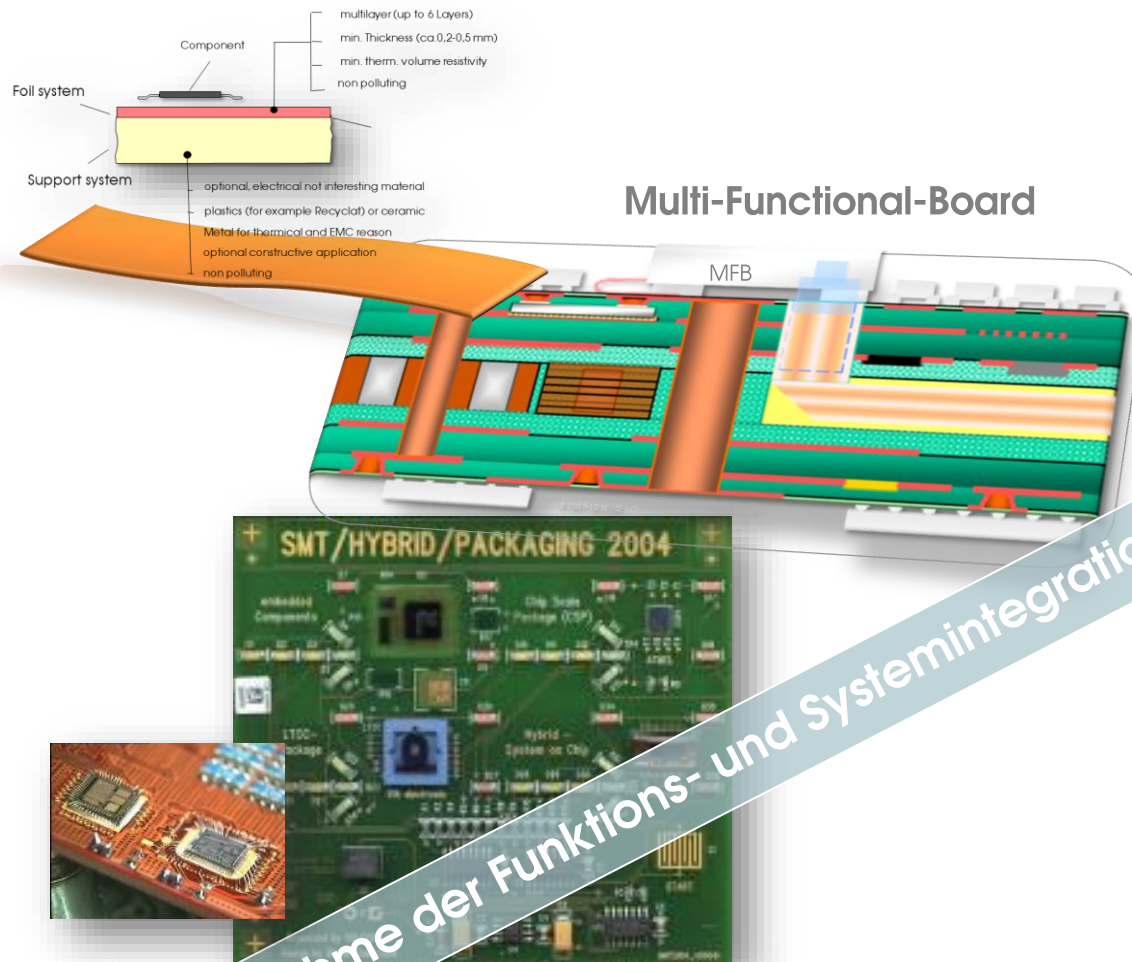
Dr. Jan Kostelnik

**77. Arbeitskreis SAET in Kooperation mit dem FED – Der Norden grüßt**

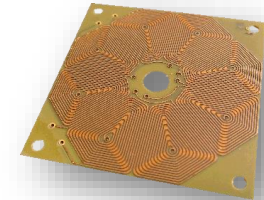
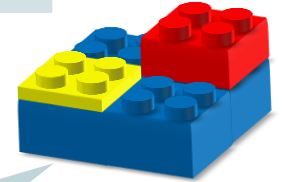
Dresden, 08.12.2021



# Technologietrends – Funktions- und Systemintegration



Hard + Software + APP



Zunahme der Funktions- und Systemintegration / Modularisierung

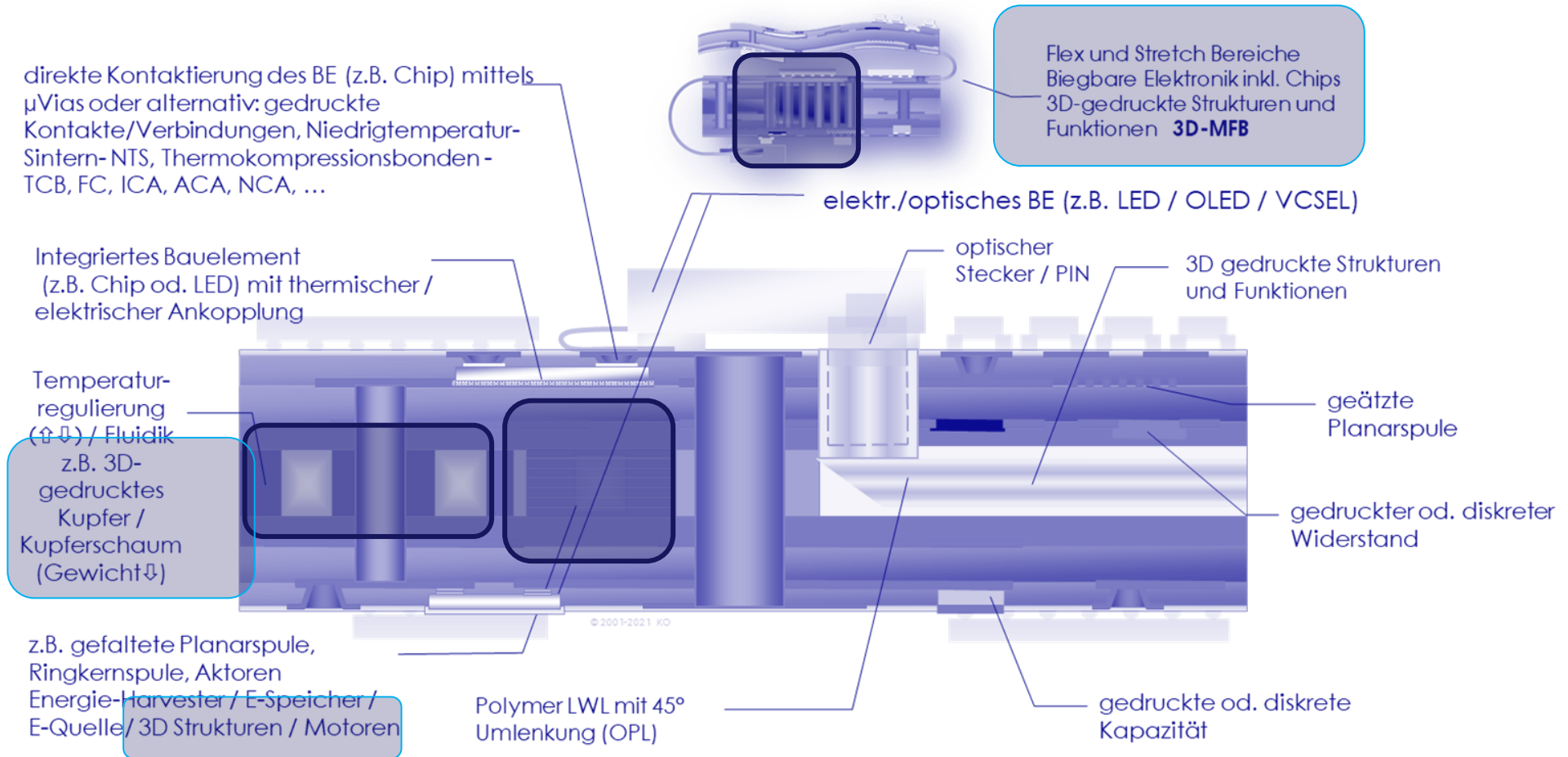
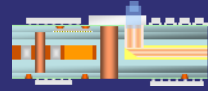
2000

2010

2025

Ref: Fh IZM, SMT&Hybrid, WE, KO

# Das Multifunktionale Board (MFB)



# Das Multi-Funktionale-Board (MFB)

## 3D-printed Copper/Metal Structure 3D-PMS

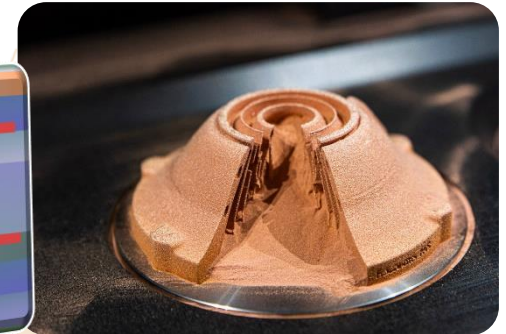
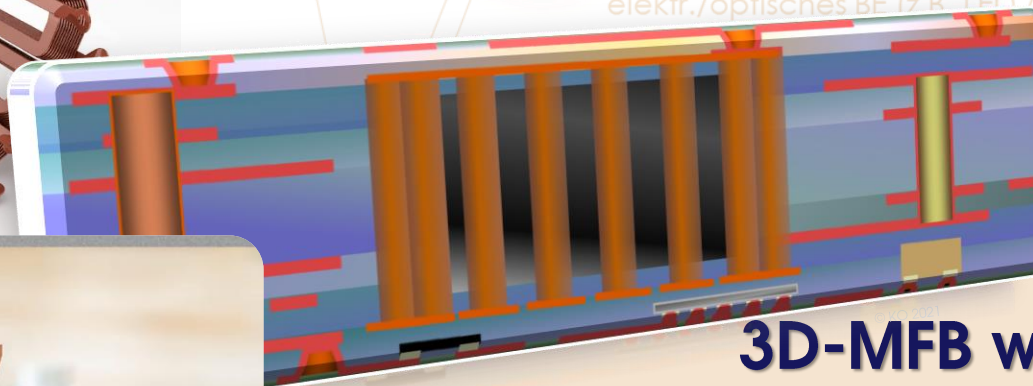
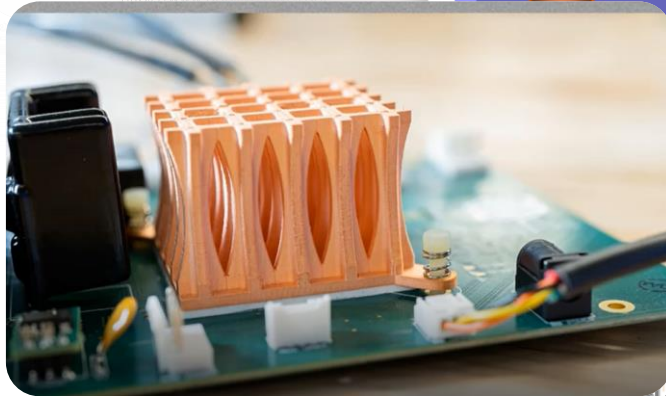


Foto: Fraunhofer IWS Dresden

## 3D-MFB w/ PMS



Markforged Kupfer Druck-Filament -  
Mark3D Markforged 3D Drucker

ITA im Forschungsprojekt  
„3D-CopperPrint“.



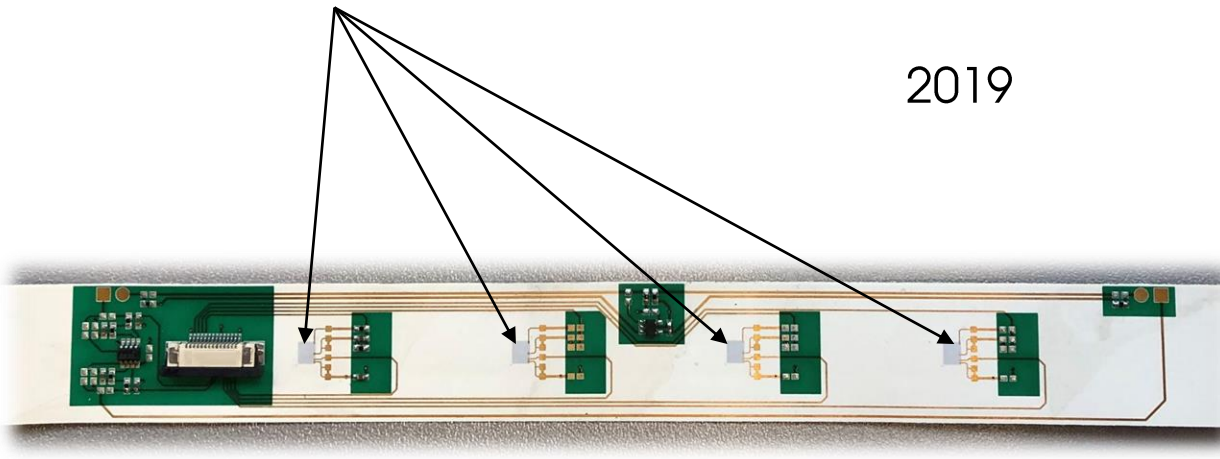
<https://www.pzh.uni-hannover.de/>

Multi-Functional Board (MFB) / Multi-Functional-Package (MFP) / M

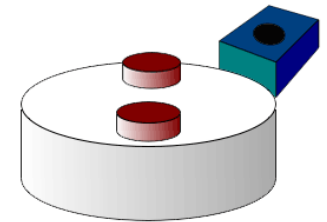
# Netzwerk: Magnetfeld-Sensoren

HALL-Sensoren: als Halbleiterbauelement

2019



Ref: BMBF-Projekt PARSIFAL

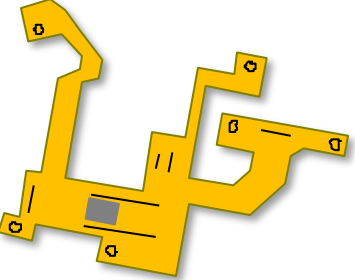
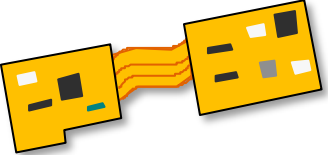
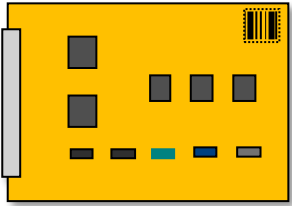
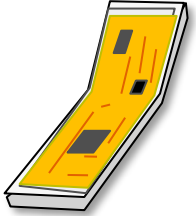


<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=477535>

eHALL-Sensoren: eingebettet in eine Folie

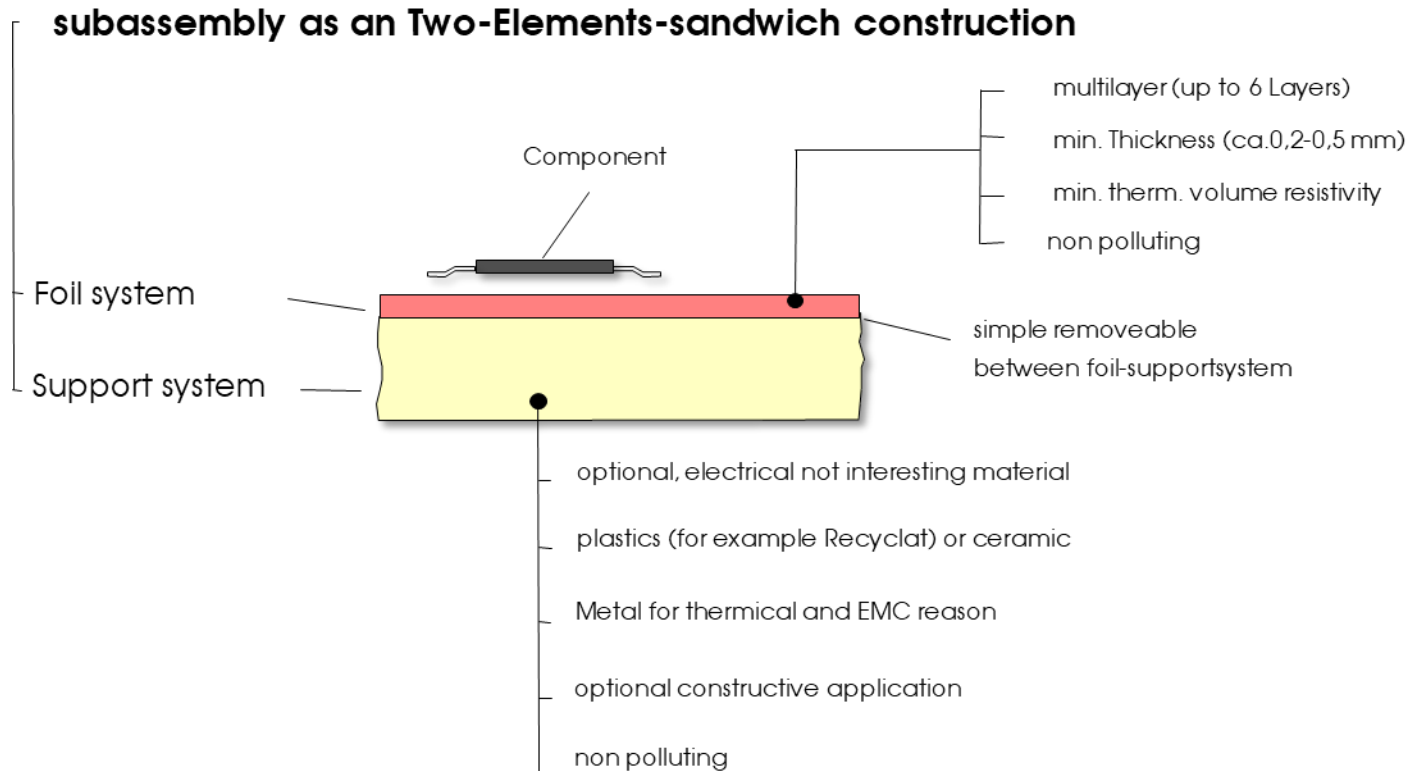
# Konzept einer Recyclinggerechten Leiterplatte

## Multilayer based on flexible material

Flexible Board	Rigid-flex Board	Rigid Board	
			
no carrier	partial rigid carrier	flat rigid carrier	3-D carrier
mechanical stabil carrier / support-system / stiffener w/ different functions			

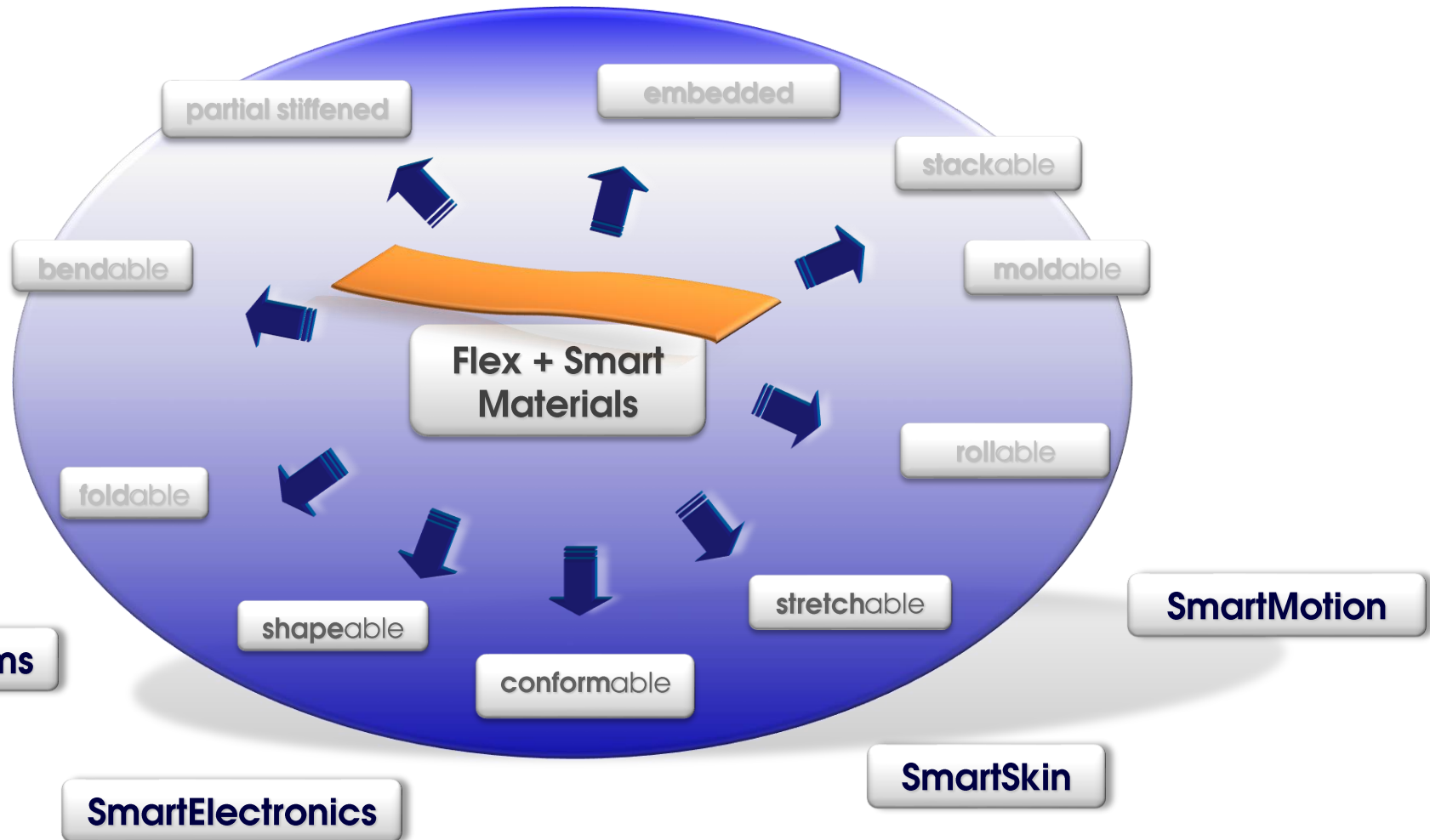
*Ref: Dissertation J. Kostelnik, 1995*

# Konzept einer Recyclinggerechten Leiterplatte

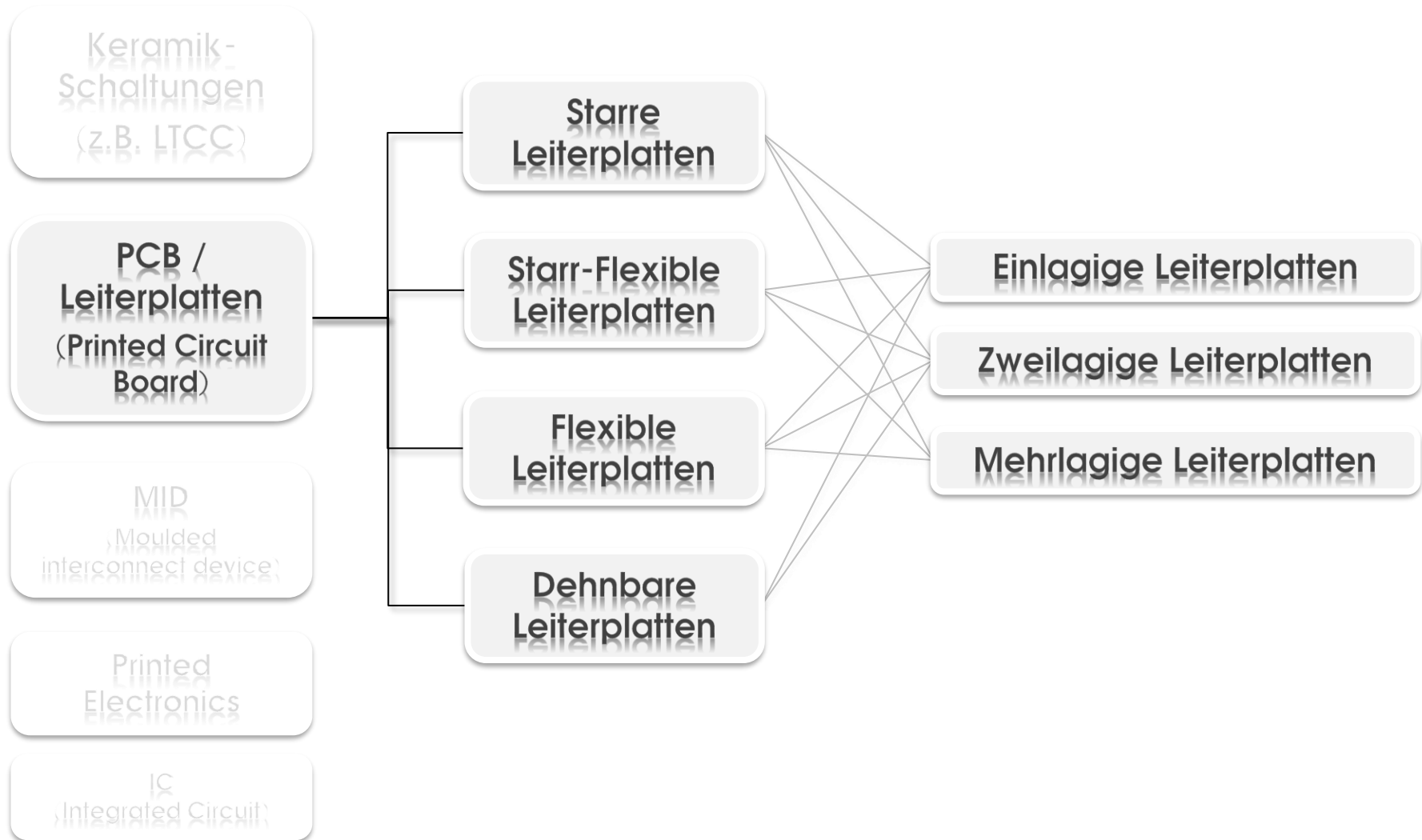


Ref: Dissertation J. Kostelnik, 1995

# System in Foil



# Leiterplatten - Aufbau-Arten / Technologien



# Niedrig-Temperatur-Bestückung mit Sn/Bi-Lot

- Aufgrund der niedrigen Erweichungstemperatur von Polyurethan werden die Stretch-Leiterplatten in einem Niedrigtemperatur Reflowprozess bestückt
- Ein Lot auf Zinn/Wismut (Sn/Bi) Basis, welches bei ca. 140 °C (Schmelztemperatur: 138 °C) verarbeitet wird, kann hier eingesetzt werden
- Erste Abschätzungen zeigen, dass beim Einsatz von Zinn-Wismut-Lot zwei wesentliche Vorteile den herkömmlichen bleifreien SAC-Loten gegenüberstehen.

Wesentliche **Vorteile** von **SnBi-Lot** sind dabei (15), (16):

- geringerer Stress auf die Baugruppe beim Löten
- geringerer Energie-Verbrauch von bis zu 30% (dies bedeutet gleichzeitig weniger CO<sub>2</sub>-Ausstoß)

Dehnbare  
Leiterplatten

Mittels Sn/Bi-Lot bestückte  
Polyurethan Leiterplatte



# Entwicklung der AVT ab Morgen

## System- und Funktions- Integration auf Schaltungsträger-Basis

**Elektronik der Zukunft – Smart World**

Dr. Jan Kostelnik



**CO<sub>2</sub> Neutral**

- **Energie-Effizienz**
- **Ressourcen-Effizienz**
- ...
- **Geschlossene Kreisläufe**

# Was kommt als Nächstes

# Konzept einer Recyclinggerechten Leiterplatte

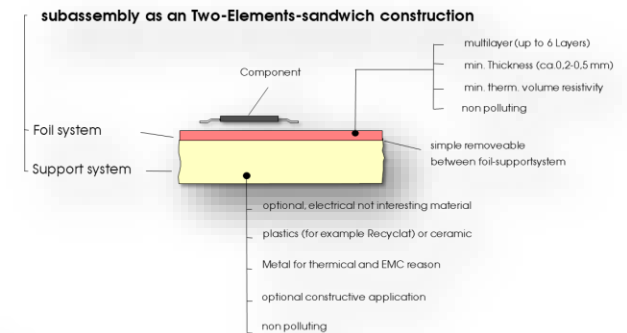
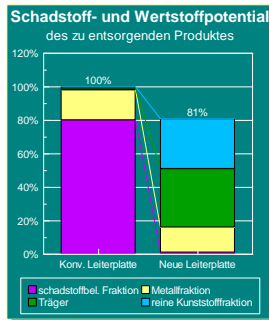
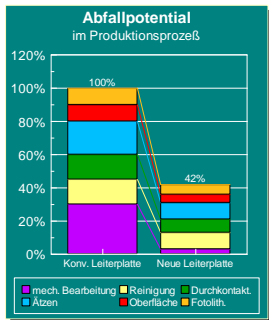
Als ökologischer Grundsatz gilt:

**Vermeiden**

vor **Reduzieren**

vor **Stofflichem Verwerten**

Ökologische Bilanzen im Vergleich



vor **Thermischem Verwerten**

vor **Deponieren.**

Q: Dissertation J. Kostelnik 1995



# CO<sub>2</sub> Neutral

- **Energie-Effizienz**
- ...
- **Geschlossene Kreisläufe**
- **Wiederverwendung**
- **Additive Prozesse**



*... ist es Zeit für einen  
Paradigmen-Wechsel?*

- Energiesparendere Prozesse ⇒ Beispiel AVT

## ***Rückkehr zum bleihaltigen Löten?***

⇒ weniger CO<sub>2</sub> intensive Prozesse in der gesamten Wertschöpfungskette

# Niedrig-Temperatur-Bestückung mit Sn/Bi-Lot

- Aufgrund der niedrigen Erweichungstemperatur von Polyurethan werden die Stretch-Leiterplatten in einem Niedrigtemperatur Reflowprozess bestückt
- Ein Lot auf Zinn/Wismut (Sn/Bi) Basis, welches bei ca. 140 °C (Schmelztemperatur: 138 °C) verarbeitet wird, kann hier eingesetzt werden
- Erste Abschätzungen zeigen, dass beim Einbau Vorteile den herkömmlichen bleifreien SAC

Wesentlich

— ge  
—  
(die

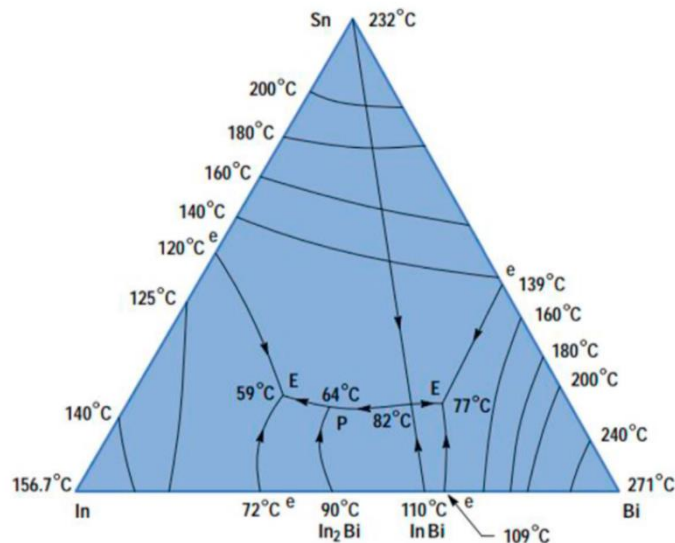


Fig. 26. Sn-Bi-In ternary phase diagram.

Ref.: Y. Liu, et.al (19), N. Badwe, et.al (20)

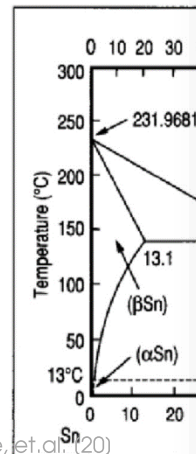


Fig. 2. Sn-Bi binary phase diagram.

## 1. Introduction

As we enter the big data era, mobile consumer electronic products are ubiquitous. At the moment, due to the pandemic of COVID-19 virus, distance teaching and home office have increased greatly the need of advanced consumer electronic products, demanding a smaller form factor, larger memory, more function, cheaper cost, and superb reliability. Yet, at the same time, the Moore's law of miniaturization is near ending. To go to more-than-Moore and to fulfill the needs is challenging the microelectronics industry [1–3]. A promising way to sustain Moore's law is by the development of electronic packaging going from 2D IC to 3D IC, in which interposer, through-Si-via (TSV) and micro-bump are introduced to achieve the vertical stacking of chips, as shown in Fig. 1 [4]. Thus, a hierarchy of solder joints is needed, so the melting point of solder is of concern. This is because the first level of solder joints should have the highest melting point, so during the processing of the second-level solder joints, the former will not melt.

\* Corresponding author.

E-mail address: [yingxia.liu@bit.edu.cn](mailto:yingxia.liu@bit.edu.cn) (Y. Liu).

# Niedrig-Temperatur-Bestückung mit Sn/Bi-Lot

- Aufgrund der niedrigen Erweichungstemperatur von Polyurethan werden die Stretch-Leiterplatten in einem Niedrigtemperatur Reflowprozess bestückt
- Ein Lot auf Zinn/Wismut (Sn/Bi) Basis, welches bei ca. 140 °C (Schmelztemperatur: 138 °C) verarbeitet wird, kann hier eingesetzt werden
- Erste Abschätzungen zeigen, dass beim Einsatz von Zinn-Wismut-Lot zwei wesentliche Vorteile den herkömmlichen bleifreien SAC-Loten gegenüberstehen.

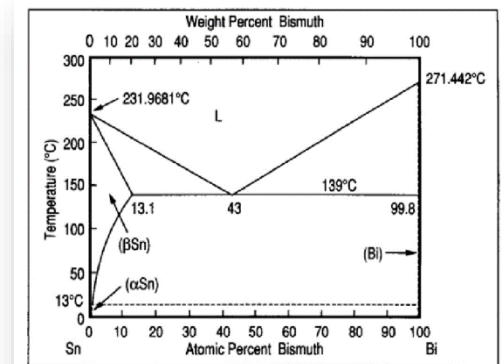
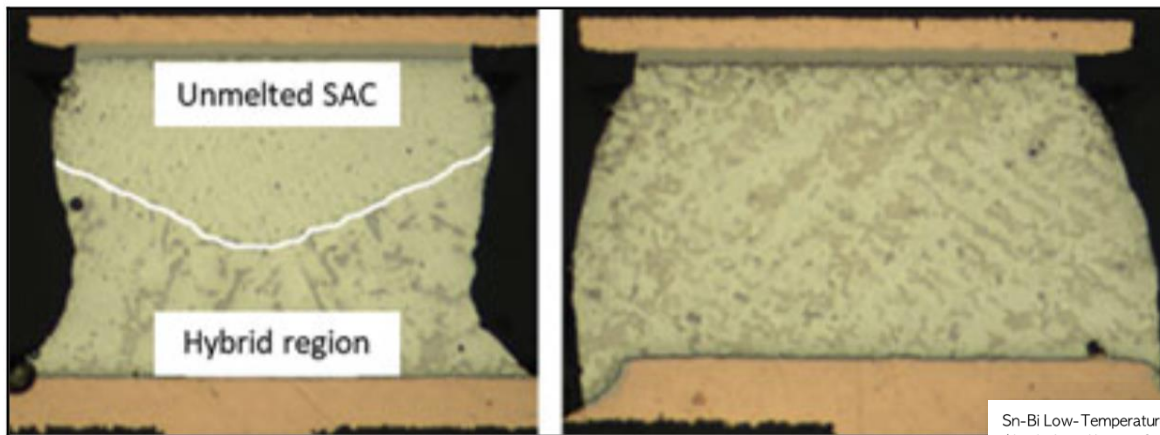


Fig. 2. Sn-Bi binary phase diagram.

Sn-Bi Low-Temperature Homogeneous Solder Joint Microstructure, Reliability and Failure Mechanism  
 (/ca/editorial/menu-features/32850-sn-bi-low-temperature-homogeneous-solder-joint-microstructure-reliability-and-failure-mechanism.html)

Published: 21 January 2020  
 by Nilesh Badwe, Kevin Byrd, Qi Jin and Pubudu Goonetilleke

**FIGURE 1.** Cross-sectional image of a SAC-LTS hybrid joint (left) and a homogenous LTS joint (right).

Ref.: Y. Liu, et.al (19), N. Badwe, et.al. (20)

# Stretchable und Conformable Electronics

## Vorteile dehnbarer Schaltungsträger auf Basis von Polyurethan:

- noch mehr **geometrische Gestaltungs- und Miniaturisierungsoptionen** als bei flexiblen Leiterplatten
- mit den etablierten Bestückprozessen weiterverarbeitbar (unter Berücksichtigung der richtigen Lote und Temperaturen)
- viele **neue Möglichkeiten** der **Weiterverarbeitbarkeit**  
(3D-Form, zusätzliche Funktionalität, mehr Anwendungs-Komfort)
  - Beispiele: Stretch-Folien können auf unterschiedliche Substrate wie Textilien, Polymere oder Metalle laminiert, gelötet, geklebt oder geschweißt werden
- Kombination mit einem **thermischen Umformprozess**
  - elektronische 3D-Strukturen relativ einfach realisierbar.
  - Dieses sogenannte „**Conformable**“ **Konzept** (12) für die Integration der Komponenten und Funktionen direkt in ein Gehäuse oder Gehäusedeckel schafft weiteres Miniaturisierungspotential.
  - Schaltungsträger können nach der Bestückung von 2D in eine 3D-Form gebracht werden. Flache gedruckte Funktionen (z.B. Antenne) aber auch diskrete Komponenten könnten auf diese Weise direkt im Gehäuse oder Deckel untergebracht werden.
  - Anwendungsbereiche der Freiformbarkeit:
    - medizintechnische Applikationen (exzellente Passgenauigkeit)
    - Diese Technologie könnte z.B. die bisherige **3D-MID** Technik **ergänzen** und ist besonders für großflächige und gleichzeitig leichtgewichtige Elektronik geeignet (1).



# Technologien und Märkte

Interesse im Markt steigt  
Beispiele Medizin / Health Care /  
Service Robotik

Sensorik

tragbare  
Elektronik

Large Area  
Electronics

Autarke  
Elektronik

Gedruckte/ Polymer  
Elektronik

Energy Harvesting

Modul-  
konzept

ultradünne  
Chips in Flex

Smart Technologies  
Stretch- & Conformable  
Electronics

Robotik

HealthCare

Aktorik

LifeStyle,  
Fitness

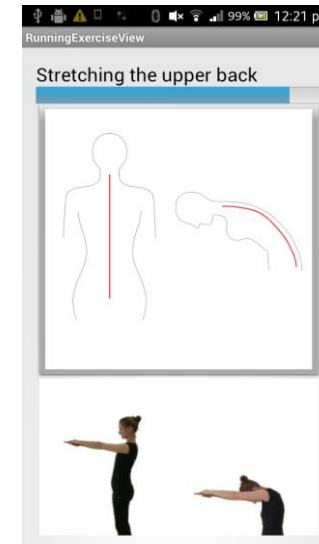
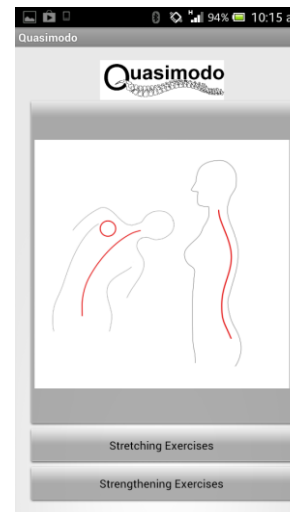
Orthesen,  
Exoskelette

Smart DATA

Smart HOME

Kombination mehrerer und auch verschiedener Technologien, Materialien, ...

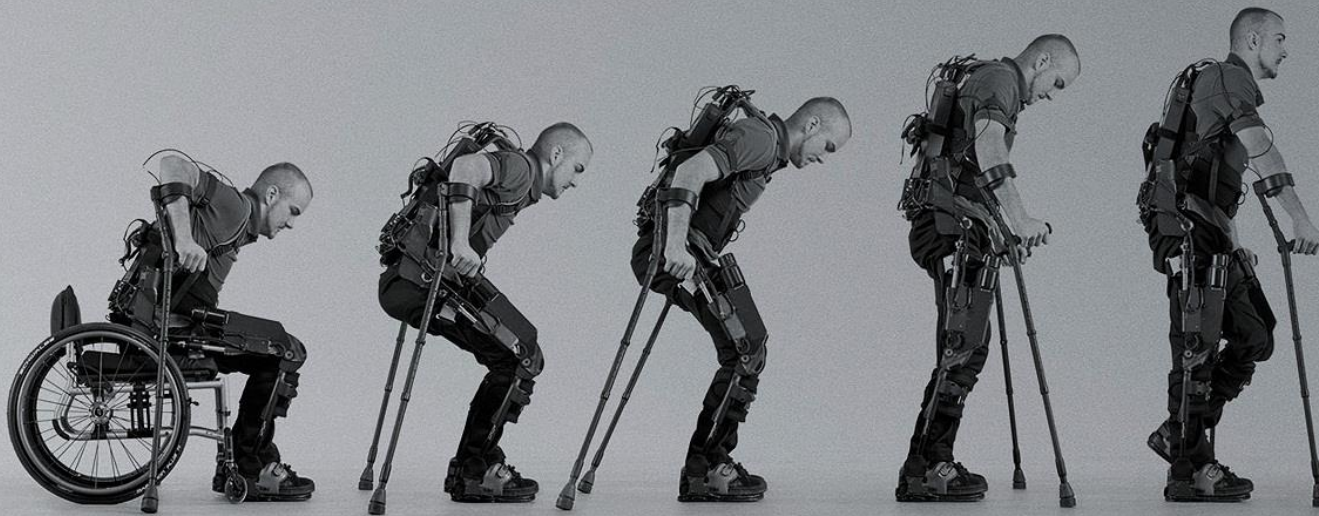
# Tragbare Elektronik Medizin/Reha/Sicherheit



Q: COSIMA Studenten-Team - Quasimodo

## Medizin / Reha / Sicherheit

# Realität: Exoskelett



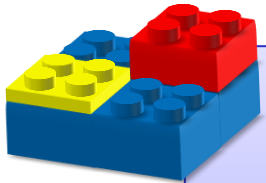
Q: Ekso Bionics

# Realität: Exoskelett



Q: Ekso Bionics

# These für die allgemeine Entwicklung von Schaltungsträgern + Systemen (elektrisch, optisch, sensorisch, aktorisch, ökologisch, ...)



## Das CircuitBoard-System der Generation X:

ist charakterisiert durch einen Standard-“Kern“

(def. Aufbau und def. Schnittstellen)

welcher durch Programmierung (Soft-/Firmware) und äußere Details, optische, taktile, akustische,

=> d.h.: kundenspezifisch, an die jeweiligen individuelle Bedürfnisse angepasst wird.

*Zwischenstufen dahin  
sind gekennzeichnet durch eine Vielfalt verschiedenster  
Aufbauten, Materialien, Funktionen und Technologien.*

# Trends in der AVT - Zusammenfassung

## Kurzfristig / ShortTerm:

Lötprozesse mit Energieeinsparungspotential (Eff.↑ / CO<sub>2</sub>↓)



Stretchable for Medical Applications

## Mittelfristig / MidTerm:

Conformable Applications (Automotive, Health, Robotics, SmartSensors)

3D Printed Copper/Metal Structures

## Langfristig / LongTerm:

Quantensensoren (Beyond MEMS) mit NTL/LTS + Liquid Interconnect Technologies

Heterogene Systemintegration

## Literatur

1. J. Kostelnik: Flexible and Stretchable PCBs for Smart Electronics - TWINflex-Concept; Visions to Products – MID and Beyond, Stuttgart, 10.10.2017
2. A. Schreivogel, J. Kostelnik: More than flexible – Stretchable Electronic Solutions; BE-FLEXIBLE, Munich, 11.2016
3. T. Someya: Stretchable Electronics, Wiley VCH, 2013
4. ULTIMUM - UltraThin flexible Microsystems – BMBF-Projekt (16SV5136)
5. KoSiF – Komplexe Systeme in Folie – BMBF-Projekt (16ES00016)
6. J. Kostelnik: Die funktionelle Integration von aktiven und passiven Komponenten in die Leiterplatte im industriellen Umfeld; Systemintegration in der Mikroelektronik: Embedding-Technologien und ihre Wertschöpfungskette bei elektronischen Baugruppen; Kongress, Nürnberg 8. - 10. Juni 2010; SMT Hybrid Packaging. Hrsg.: H. Reichl, VDE Verlag GmbH, Berlin/Offenbach; ISBN 978-3-8007-3226-5
7. S. Saller, C. Harendt, J. Kostelnik, A. Schreivogel, Y. Mahsereci, J. Burghartz: "SmartSkin - Eine intelligente Haut für adaptiv bionische Greifer", Mikrosystemtechnik Kongress 2015, Karlsruhe, 26. – 28. Oktober 2015.
8. K. F. Becker et al., "Embedding technologies for an automotive radar system," 2009 59th Electronic Components and Technology Conference, San Diego, CA, 2009, pp. 1453-1459. DOI: 10.1109/ECTC.2009.5074203
9. A. Kugler, M. Koyuncu, A. Zimmermann, J. Kostelnik: Chip Embedding in Laminates. pp 159-165, In: Ultra-thin Chip Technology and Applications. Springer, New York, NY, ISBN 978-1-4419-7275-0, DOI 10.1007/978-1-4419-7276-7\_14.
10. Method for manufacturing a spool and a spool, EP2056309 (B1) - Kallenbach, Kallenbach, Otto, Kostelnik, 2010-05-05
11. N. Philippin, A. Schreivogel, I. Kühne, J. Kostelnik, „Elektronik einer neuen Dimension - Potenziale dehnbarer Foliensysteme bei der Entwicklung interaktiver Mikroimplantate“, EBL 2020, Fellbach.
12. Kallmayer, C., Schaller, F., Löher, T., Haberland, J., Kayatz, F. & Schult, A.: Optimized Thermoforming Process for Conformable Electronics. In: 2018 13th International Congress Molded Interconnect Devices (MID) IEEE (2018), S. 1–6.
13. K.-P. Hoffmann, et al.: Technical, Medical and Ethical Challenges in Networks of Smart Active Implants. 41st Annual Intern. Conference IEEE EMBC (2019), S. 1484-1487
14. K. Birkner: "SnBiAg1 in der Serienfertigung" (SnBiAg1 for serial production); DVS-Berichte 273; Fachtagung Weichlöten – Forschung & Praxis für die Elektronikfertigung; Hanau 2011
15. M. Nowotnick, A. Novikov, J. Trodler: Possibilities and Limits of Bismuth Solders, P.195-200, SMTA International, Rosemont, IL, USA, Sep. 17 - 21, 2017
16. Mooney, M.: A Theory of Large Elastic Deformation. Journal of Appl. Physics. 11 (1940) H.9, S. 582-592
17. Schwarzmann, P.: Thermoforming: A practical guide. 2. Aufl. Hanser Publications, 2019.
18. J. Kostelnik, A. Schreivogel: Stretchable + Conformable – New Solutions for Medical Applications, Neue Ansätze in der Medizintechnik productronic, Hühthig Verlag, Heidelberg, 03-2021.
19. Y. Liu, et.al.: Low melting point solders based on Sn, Bi and In elements, Materials Today Advances, Elsevier, 29,10.2020.
20. N. Badwe, et.al.: Sn-Bi Low-Temperature Homogeneous Solder Joint Microstructures, circuitsassembly.com, 21.01.2020.
21. J. Kostelnik:
22. R Hackbart, J Kostelnik, J Kuschan, et.al.: SmartSensX: Ein Konzept für vernetzte tragbare Sensoren zur Anwendung in der Softrobotik und Mensch Maschine Interaktion Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen, 289
23. J Kostelnik, G Rohrs: Die " Neue Leiterplatte-TWINflex"-ein umweltgerechtes Leiterplattenkonzept, Galvanotechnik 86 (7), 2290-2298, 7-1995.
24. W Schmidt, G Roehrs, J Kostelnik : Neue Dimensionen in der Leiterplattentechnik, Metalloberfläche 48 (4), 260-264, 1994.



# Trends in der AVT – von 3D gedruckten Kupferstrukturen bis Stretchable und Conformable

"Die Technik entwickelt sich vom Primitiven über das Komplizierte zum Einfachen."

(Antoine de Saint-Exupery)

## TEBKO

Technologie- und Beratungs- Dienst  
Kostelnik

Dr. Jan Kostelnik

[jan.kostelnik@tebko.de](mailto:jan.kostelnik@tebko.de)

<https://TEBKO.de>



<p><b>START</b> Starten Sie ein Neues Projekt. Wir unterstützen Sie.</p>	<p><b>EXPERTISE</b> Lernen Sie uns kennen. Hier gibt es detaillierte Informationen</p>	<p><b>DIE DREI BAUSTEINE</b> Ein paar Dinge die uns auszeichnen</p>
--	--	---

Starten Sie mit uns ein neues Projekt

Nutzen Sie unsere Erfahrung und Expertise für  
Ihre *Projekte* und Ihren *Erfolg*

GET STARTED NOW

Beratung	Recherche	Projektmanagement
TECHNOLOGIE PROJEKTE FINANZIERUNG	PATENTE TECHNOLOGIE PARTNER	KOOPERATIONS-PARTNER PROJEKTRÄGER TRANSFER

Kontaktieren Sie uns direkt per  
E-Mail  
oder über die social media  
Plattformen

