Drucktechnik und Additive Fertigung in der Elektronik für Lehrende

OES/Infinite + HTWK-Workshop

Ingo Reinhold

HTWK Leipzig, 2025

Funded by the European Union

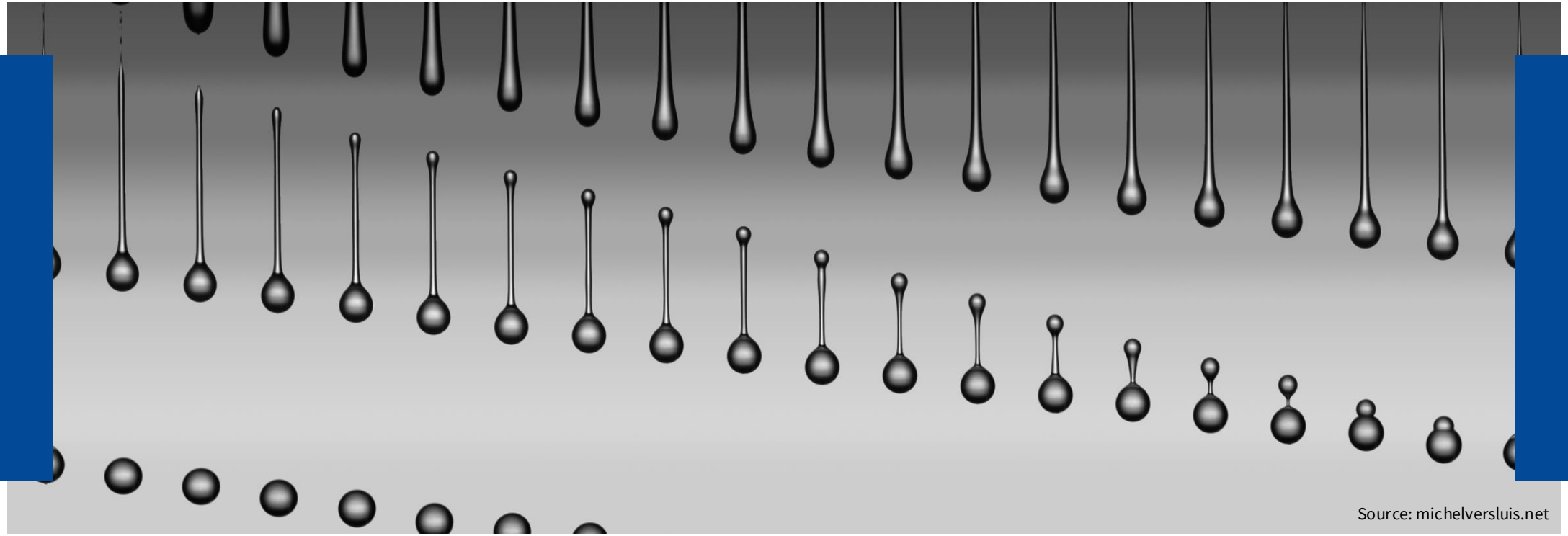
Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

This project has received funding from the European Union's Erasmus+ 2027 programme under grant agreement No. 101143955.

IP³ Institute for Printing, Processing and Packaging Leipzig

CS² Center for Smart Surfaces Leipzig

HTWK Leipzig University of Applied Sciences



Source: michelversluis.net

Drucktechnik und Additive Fertigung in der Elektronik für Lehrende

OES/Infinite + HTWK Workshop, Ingo Reinhold ingo.reinhold@htwk-leipzig.de
HTWK Leipzig, 2025

#hallo

→ HTWK Leipzig in Zahlen

6 Fakultäten
decken ein breites Spektrum ab – von Architektur bis Wirtschaftswissenschaften

44 Studiengänge
decken ein breites Spektrum ab – von Architektur bis Wirtschaftswissenschaften

176 Professuren
garantieren eine vielfältige Lehr- und Forschungs-kompetenz

6.431 Studierende
lernen an Sachsens größter HAW (Hochschule für Angewandte Wissenschaften)

1992 gegründet
als Fortsetzung technischer Bildungseinrichtungen in Leipzig

85 Promotionen
wurden 2023 kooperativ an der HTWK Leipzig betreut

20,2 Mio. Drittmittel
wurden 2023 zusätzlich für Forschung und Lehre eingenommen

629 Stellen
gibt es in den Bereichen Lehre, Forschung und Verwaltung

© Feines Bild

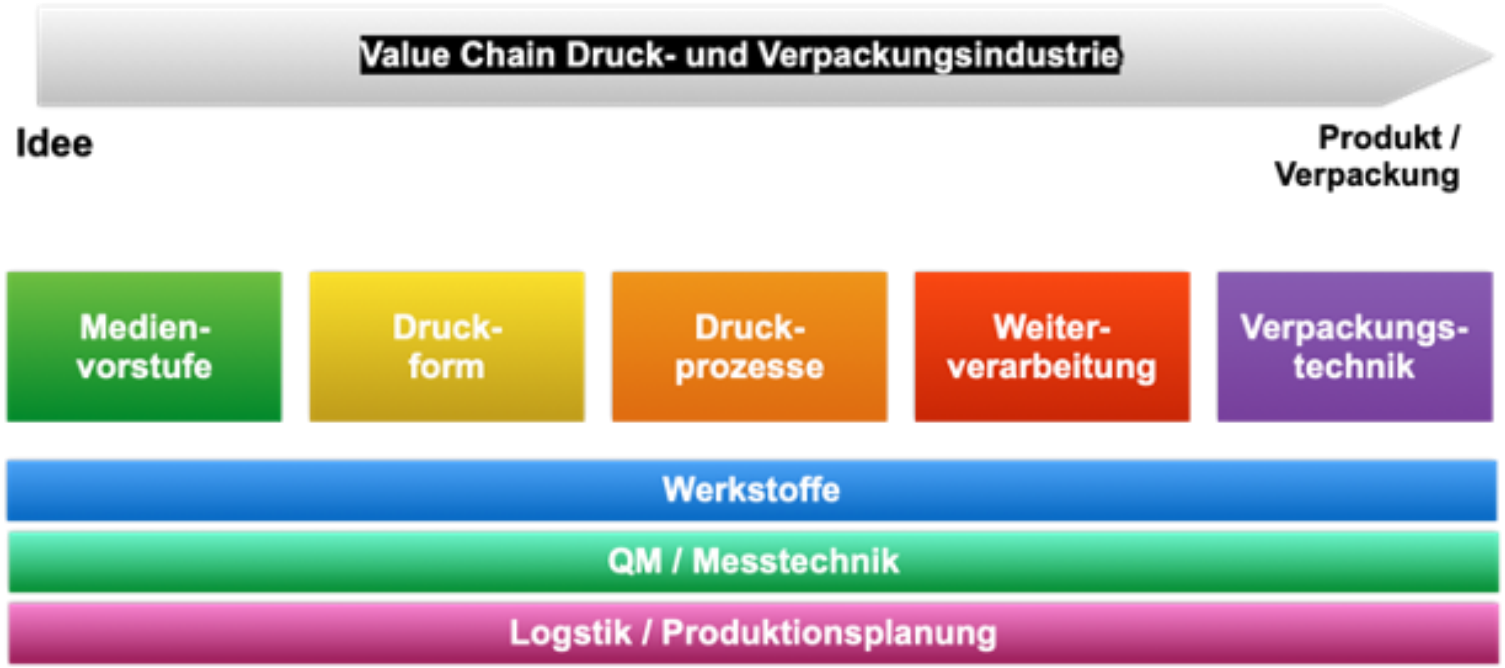
Drucktechnik in Leipzig



- Drucktechnik hat eine lange Tradition in Leipzig
- Bachelor-Ausbildung:
  - B.Eng. 3D-Druck und Funktionale Oberflächen
  - B.Eng. Verpackungstechnik
- Master-Ausbildung:
  - M.Eng. Druck- und Verpackungstechnik
- Immatrikulation: 75 Studierende pro Jahr

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

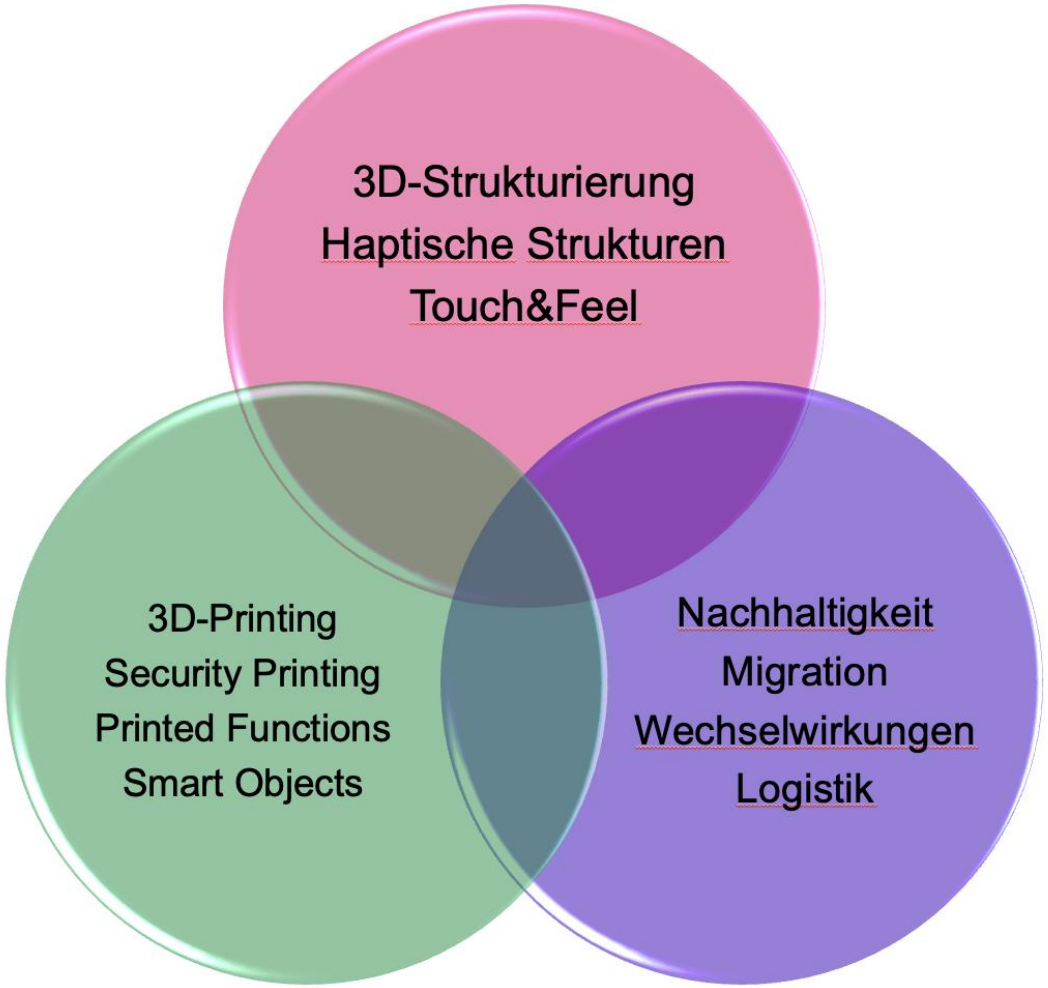
Institute for Printing, Packaging and Processing (iP³) Leipzig



Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

iP³ Leipzig

Forschungsschwerpunkte



Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

CS² IP³

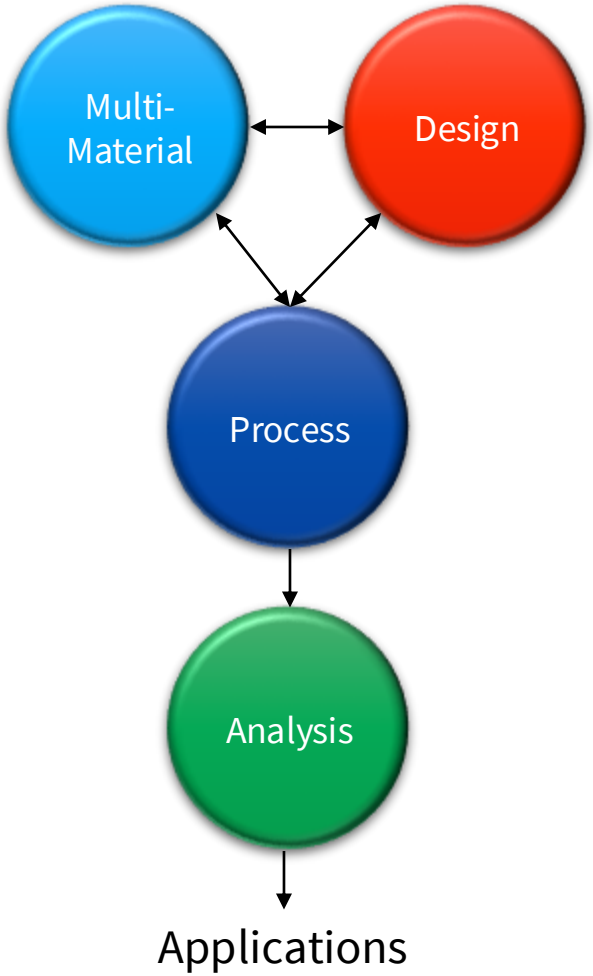
Forschung am iP³

- Projekt: PaperRock
  - Herstellung von faserbasierten Point-of-Care Tests
  - Verwendung von Präge- und Druckverfahren für die Herstellung und biologische Funktionalisierung von faserbasierten Oberflächen
- IntelliSeal: Gedruckte Sensorik auf PTFE-Wellendichtungen
- Projekt: Deinking/Deglueing von postindustriellen Druckabfällen
- Projekt: iSECURE
  - Evaluierung neuartiger Sicherheitsmerkmale für den Verpackungsbereich
- Projekt: µBOSS
  - Entwicklung polymerisierter Prägeformen (GRAVOmer)
- Projekt: SecuSeal
  - Herstellung von Diebstahlssicherung in bedruckten Transportverpackungen

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Center for Smart Surfaces (CS^2)

- Bündelung der Kompetenzen zur additiven Fertigung mit Beschichtungsverfahren an der HTWK
  - Fakultät FIM
  - IP^3
  - MNZ
  - Kompetenzzentrum Werkstoffforschung
  - Fakultätsübergreifend
- Wissenschaftliche Untersuchung von Materialien, Prozessen und Produkten
- Entwicklung von nachhaltigen und kosteneffizienten Verfahren für 2 – 2.5D Anwendungen und Transfer in die Industrie
- Frühe Einbindung von *Young Talents* in die Entwicklung



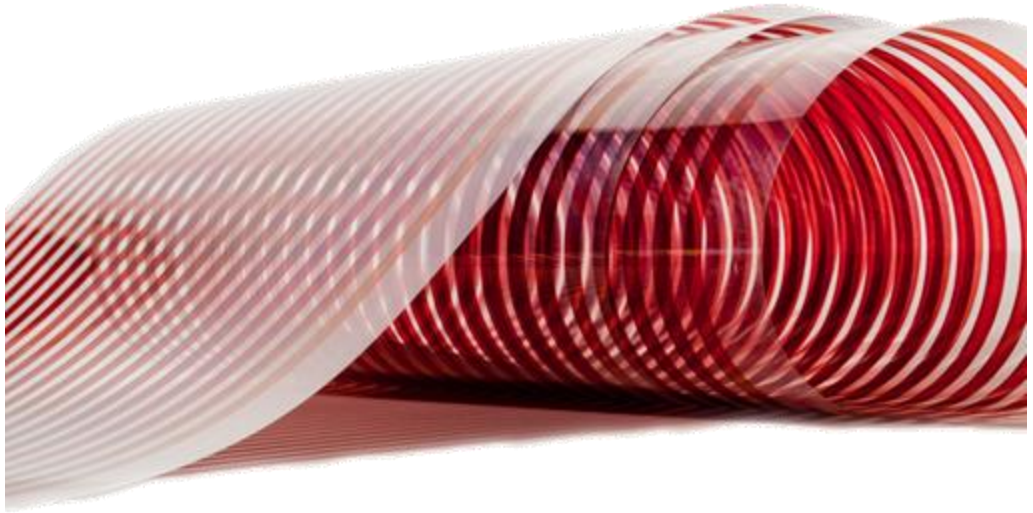
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Center for Smart Surfaces (CS^2)

Anwendungsschwerpunkte - Gedruckte Elektronik

- Strukturierte und unstrukturierte Aufbringung von Schichten im nm/µm-Bereich
- leitende, halbleitende und isolierende Materialien
- Anwendungsgebiete:
  - Sensoren/Aktoren
  - Antennen/NFCs
  - Smart Packaging
  - OPVs





Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Quelle: network-king.net, coatema.de

Center for Smart Surfaces (CS^2)

Anwendungsschwerpunkte – Barrieren für nachhaltigere Verpackungsmaterialien

- Entwicklung von Beschichtungslösungen für die Verpackungsindustrie
- Einstellbare Eigenschaften von Packstoffen:
  - Barriereeigenschaften
  - Öffnungseigenschaften
  - Recyclingfähigkeit
- Anwendungen:
  - Food Packaging
  - Flexible Packaging
  - Pharma & Cosmetics
  - Smart Packaging



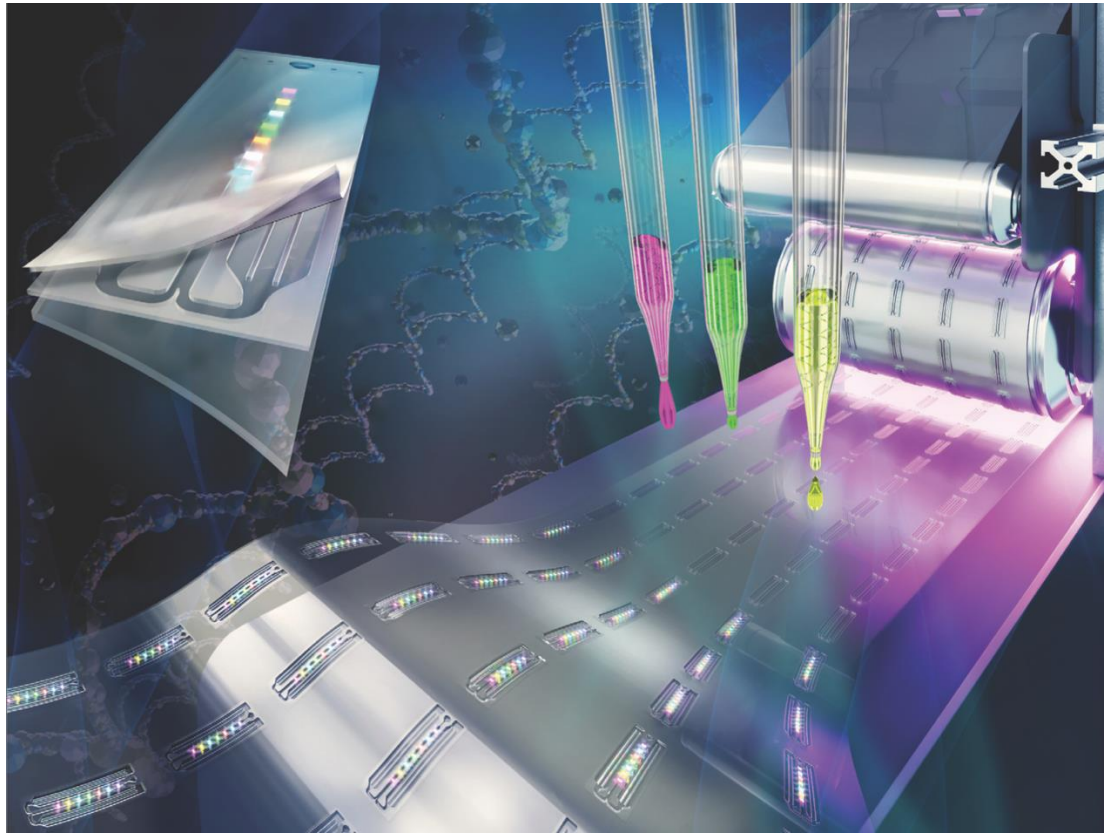
Quelle: prakarsauretan.com

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Center for Smart Surfaces (CS^2)

Anwendungsschwerpunkte - Point-of-Care Diagnostische Systeme

- Erzeugung lokaler, mikrofluidischer Komponenten durch Präge- oder Beschichtungsprozesse
- Einbringung von Analyten mittels Inkjet-Technologie zur gezielten Diagnostik
- Anwendungen:
  - Point-of-Care Tests
  - Assays
  - Glucose-Sensoren



Quelle: Cover *Lab-on-Chip: Devices and applications at the micro- and nanoscale,* ISSN 1473-0197, 2020.

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

GRAVOmer - Kompetenzzentrum

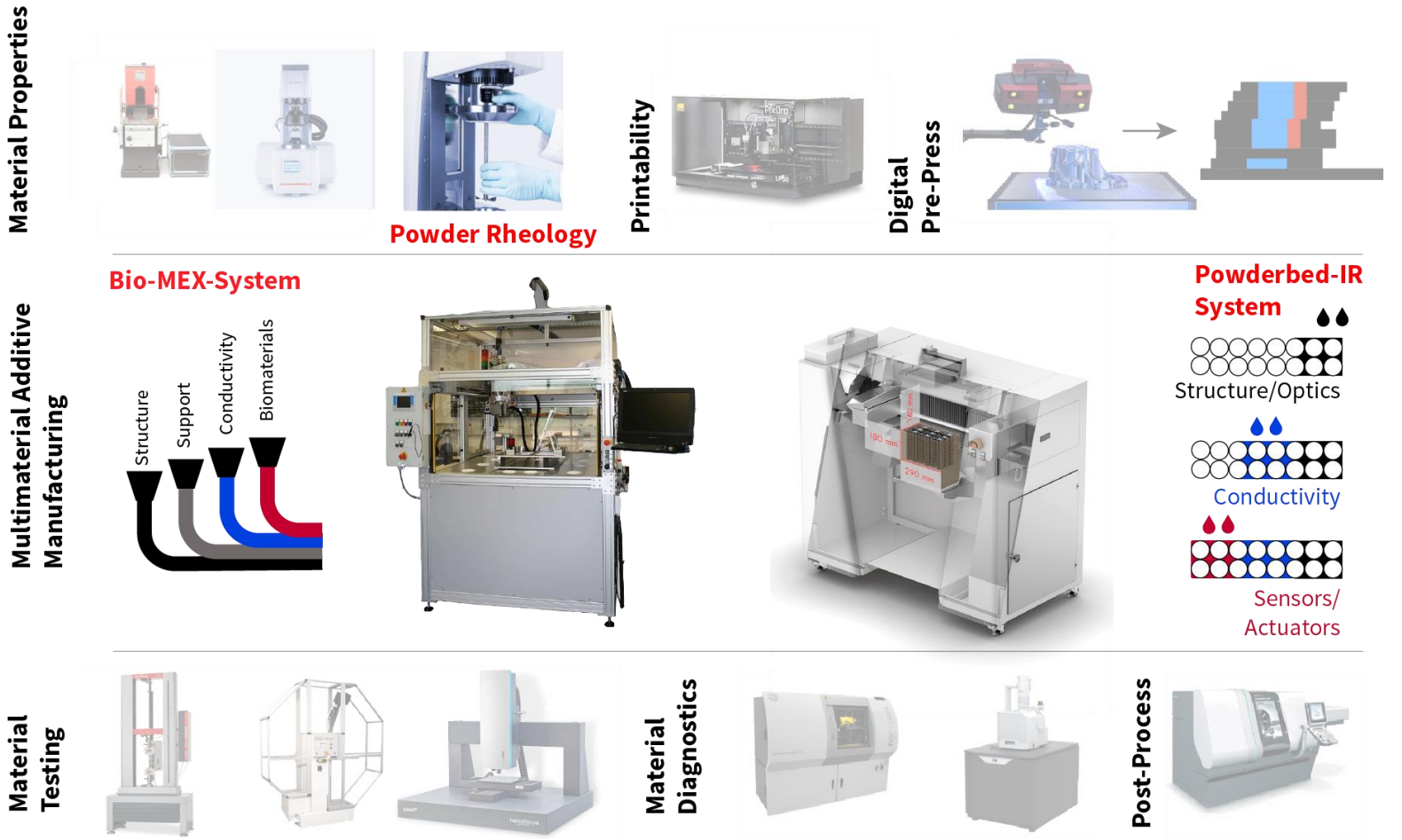
- Kernelement des Verstetigungs- und Verwertungskonzepts ist das GRAVOmer-Kompetenzzentrum, ein:
  - virtuelle, kooperative Plattform zum Technologie- und Wissenstransfer
  - digitaler Wissensspeicher
  - kooperatives Entwicklungs-, Versuchs-, Test- und Produktionsmodul
  - Wertschöpfungsgenerator
  - Qualifizierungsplattform

- Das Konzept des Kompetenzzentrums basiert auf dem Zusammenwirken verschiedener Netzwerkpartner mit ihren unterschiedlichen sich ergänzenden Kompetenzen und Ressourcen, die allesamt für die Erfüllung der Zielstellung bzw. Erbringung der Leistung notwendig sind.



Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

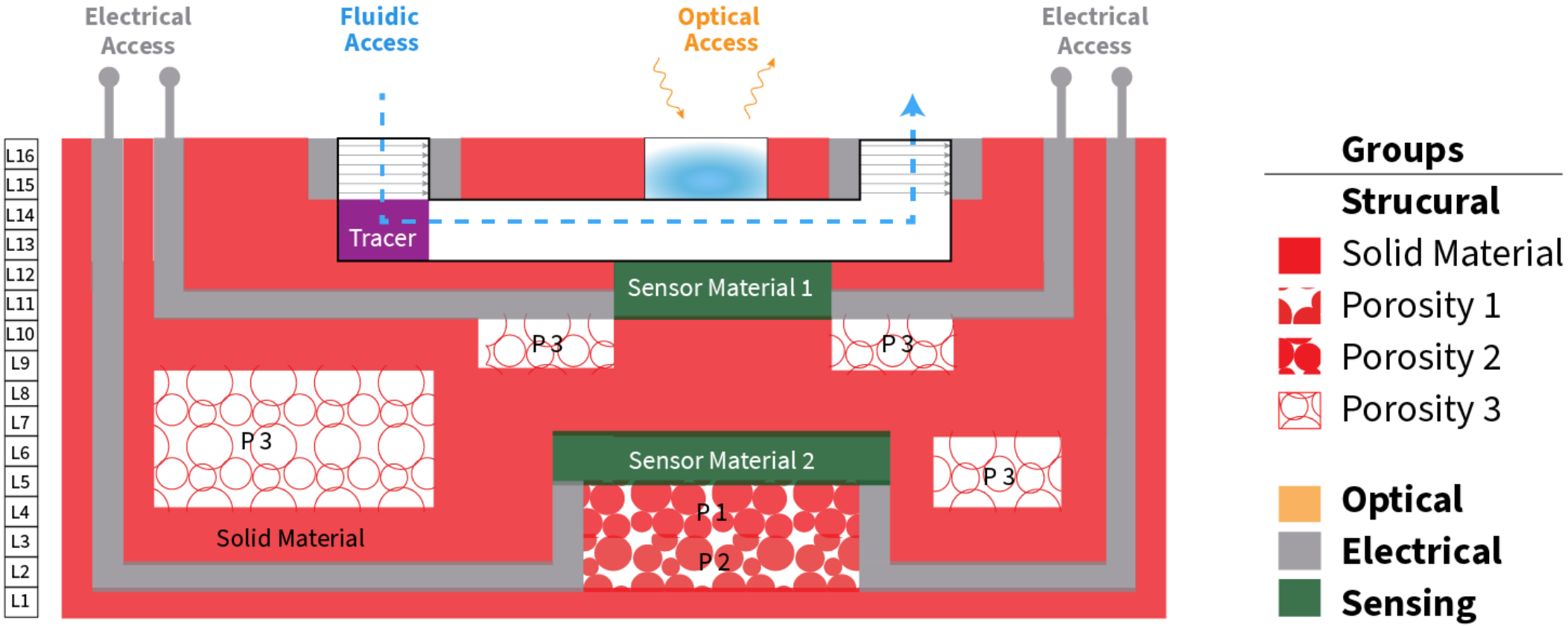
Leipzig's Additive Multi-Material Manufacturing (AM^3) Plattform



Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 533332757

Leipzig's Additive Multi-Material Manufacturing (AM^3) Plattform



Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

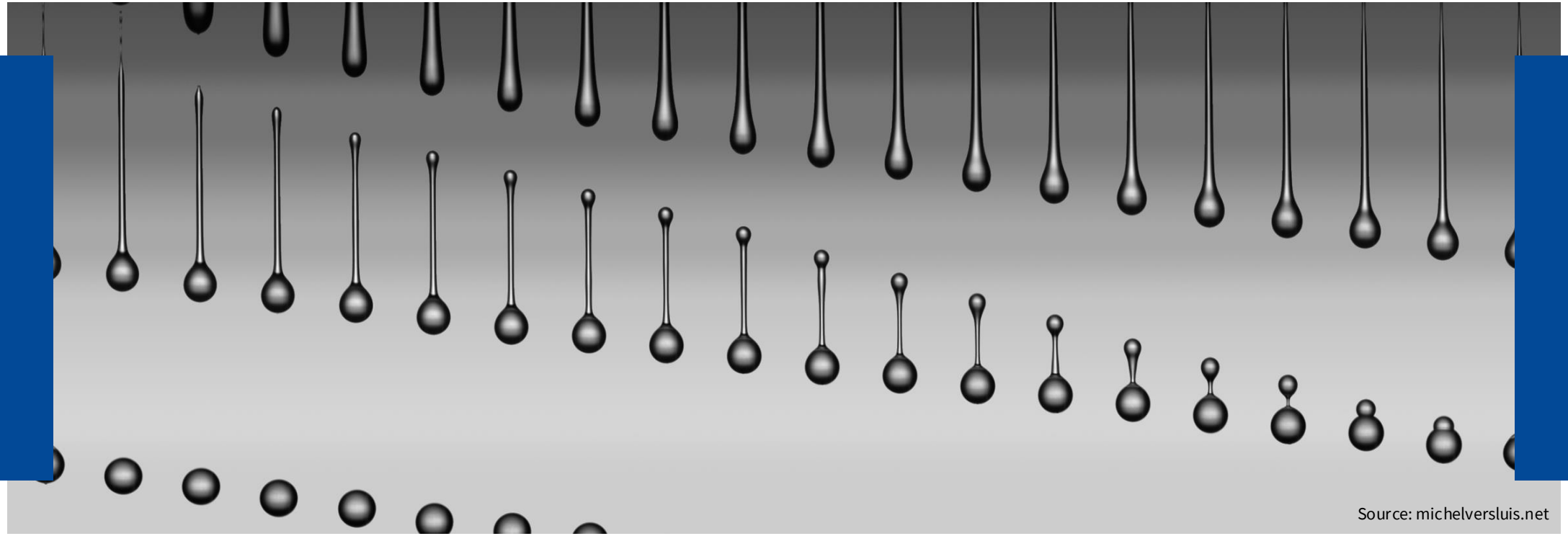
Funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) - 533332757

CS² IP³

IP³ Institute for Printing, Processing and Packaging Leipzig

CS² Center for Smart Surfaces Leipzig

HTWK Leipzig University of Applied Sciences



Source: michelversluis.net

Drucktechnik heute und morgen

Ingo Reinhold

Druck ist eigentlich schon überall!



Grafischer Druck



Verpackungs-druck



Textil-druck



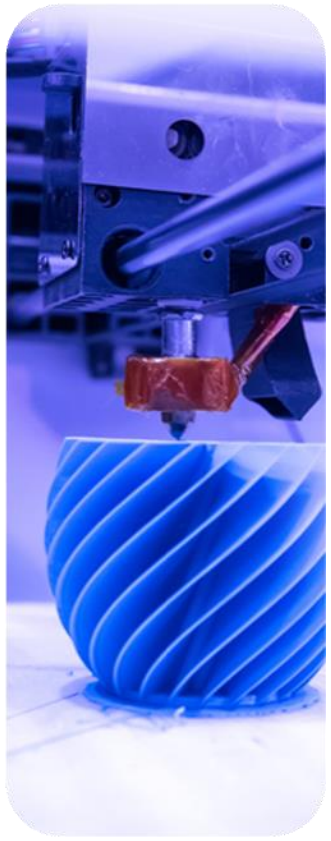
Dekor-druck



Industrie-Druck



Funktions-druck



Additive Manufacturing

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Sources: Schattdekor, Xyrec, vialite.com, 3Dnatives.com , Europa.eu

CS² IP³

IP³ CS²

HTWK Leipzig University of Applied Sciences

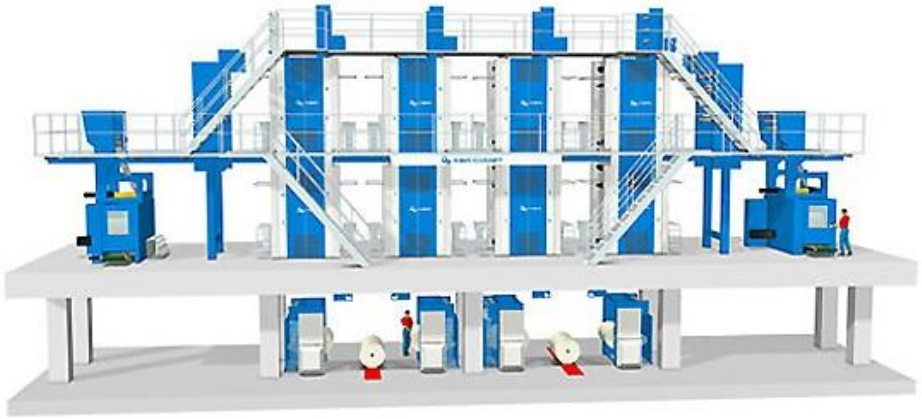
2D-Drucktechnik

Druckmaschinen





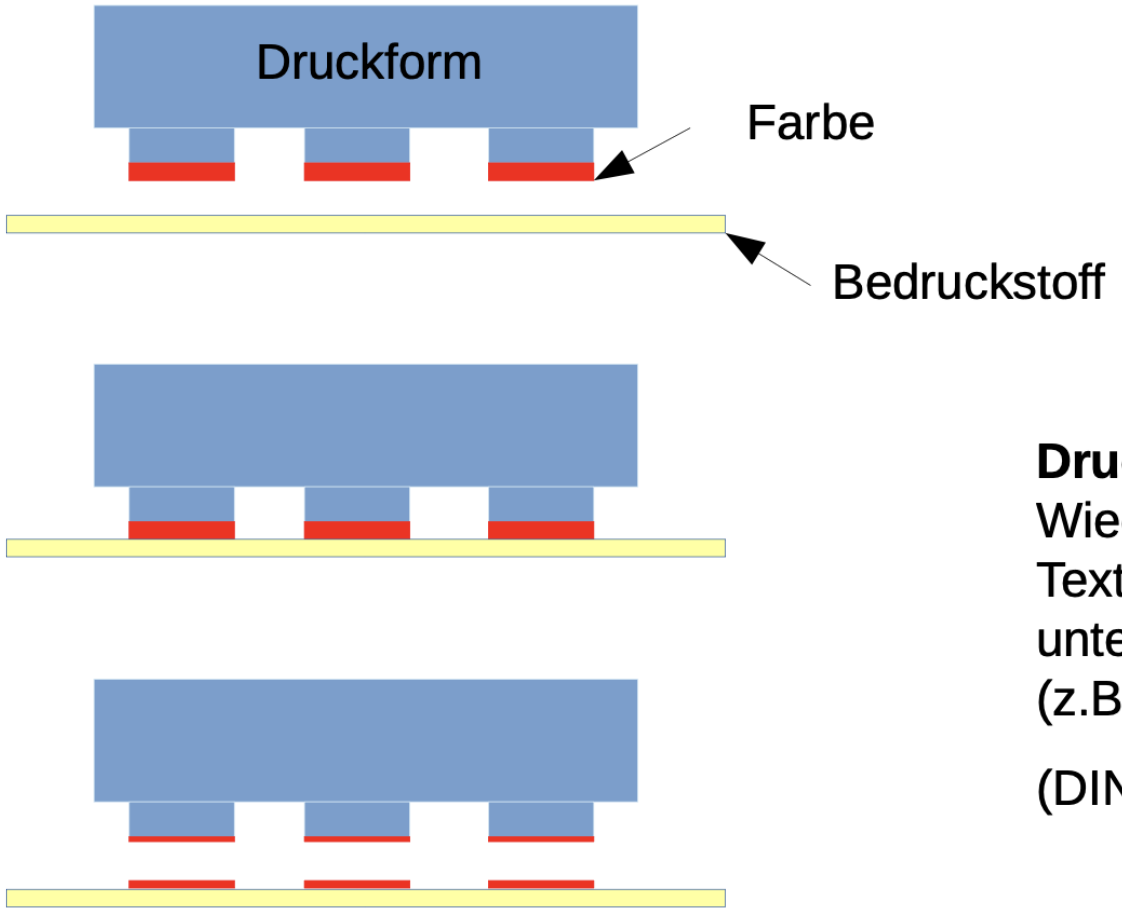




Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Quellen: Canon, Ricoh, Heidelberger Druckmaschinen, Bosch Rexroth

Drucken



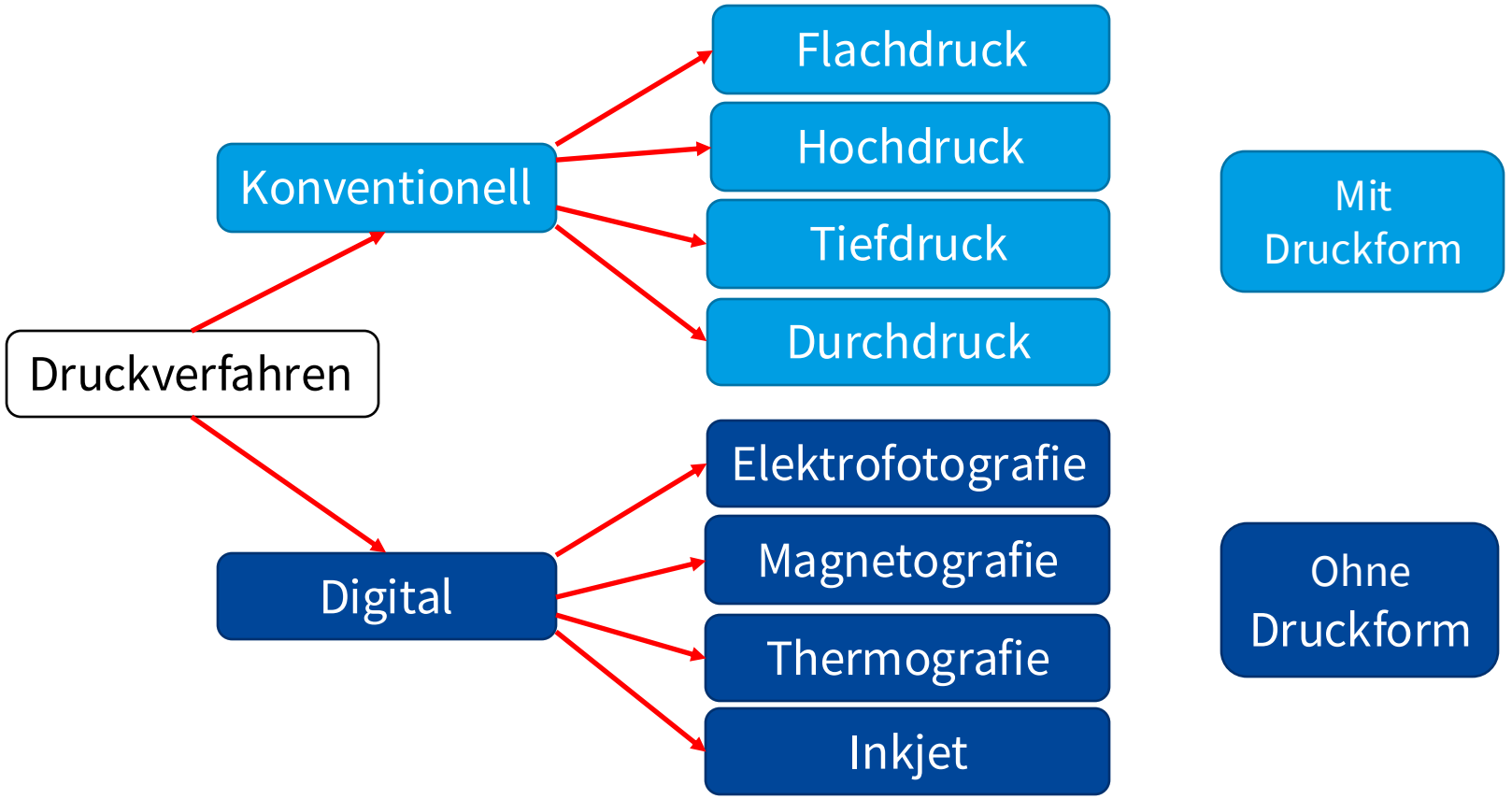
Drucken ist Vervielfältigen, bei dem zur Wiedergabe von **Information** (Bild und oder Text) **Druckfarbe** auf einen **Bedruckstoff** unter Verwendung eines Druckbildspeichers (z.B. einer Druckform) aufgebracht wird

(DIN 16 500).

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

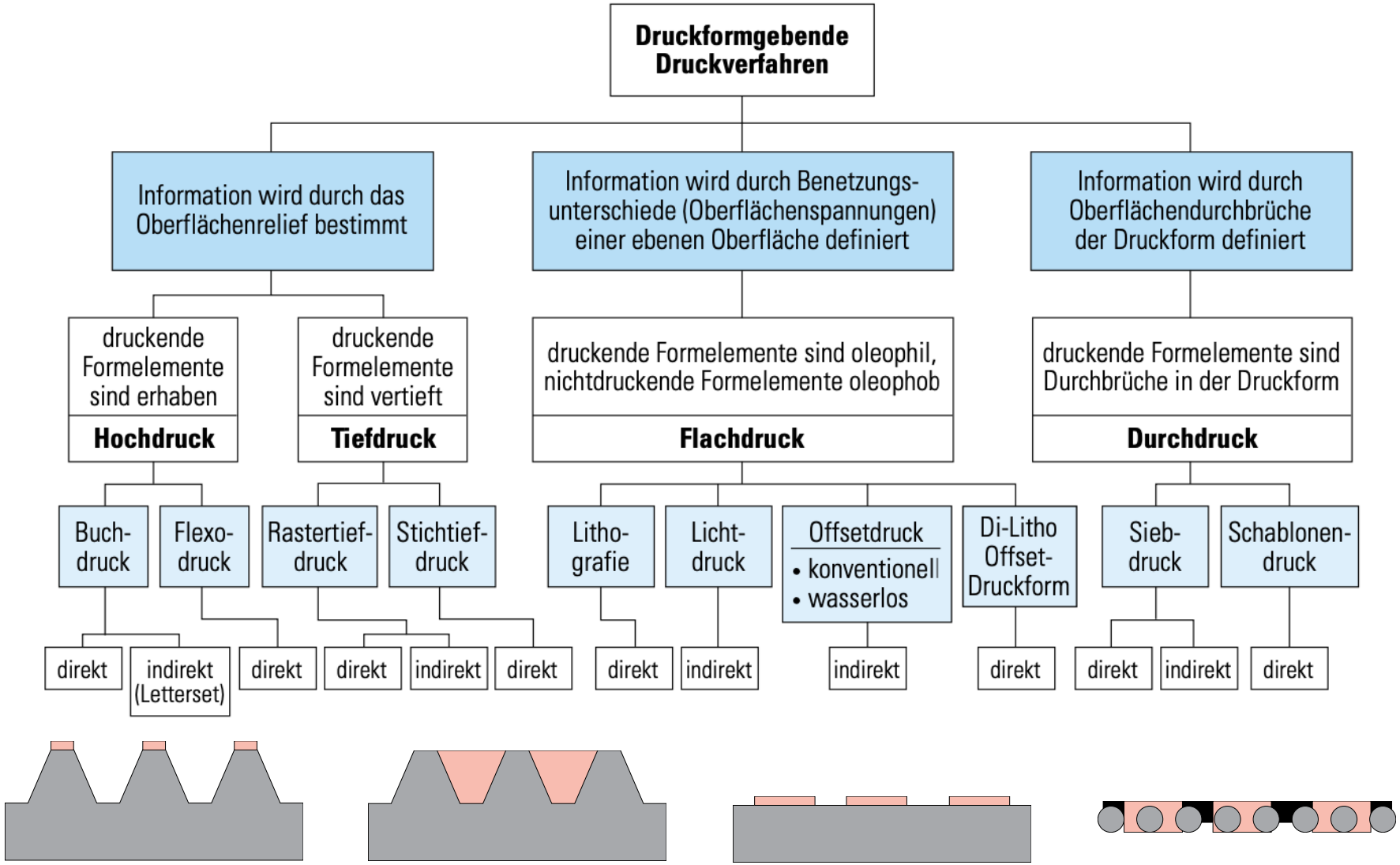
Strukturiertes Beschichtung durch Drucken

Besonderheiten der Druckverfahren (Zustand der Druckform)



Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Systematik der konventionellen Druckverfahren

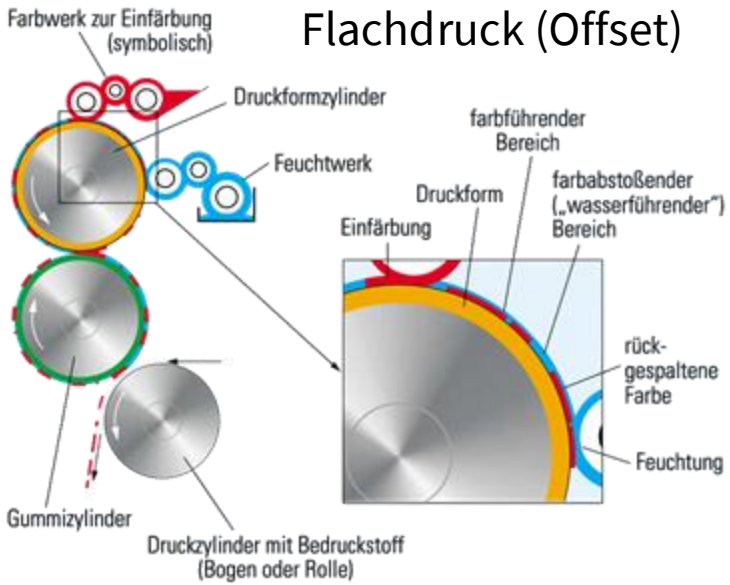


Quelle: Kipphan, H. (Ed.). (2000). *Handbuch der Printmedien : Technologien und Produktionsverfahren*. Springer.

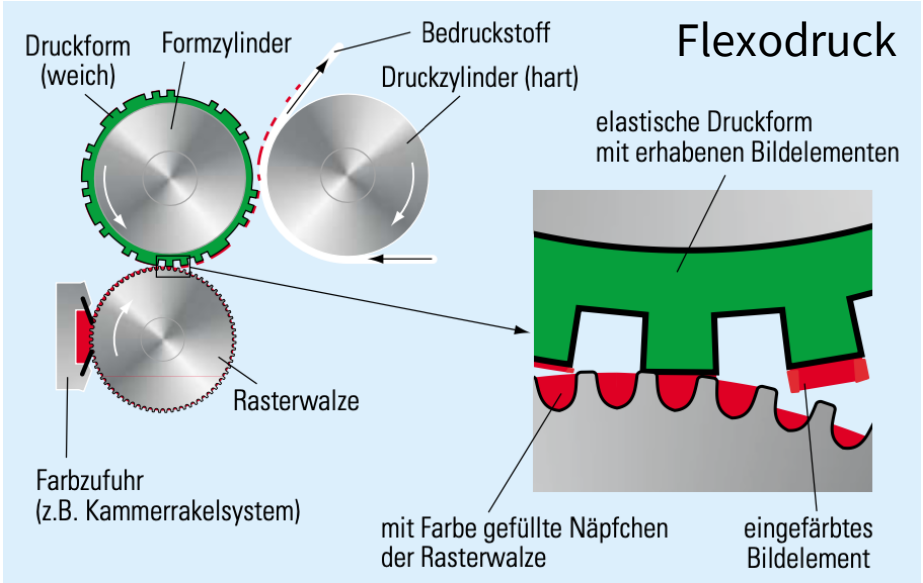
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Konventionelle Druckverfahren

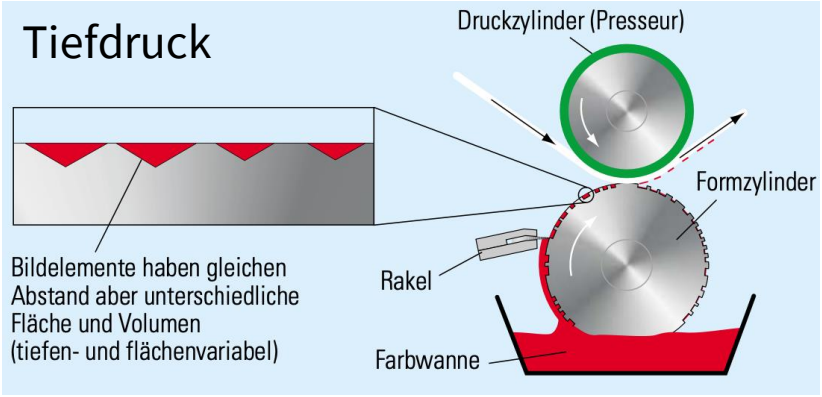
Flachdruck (Offset)



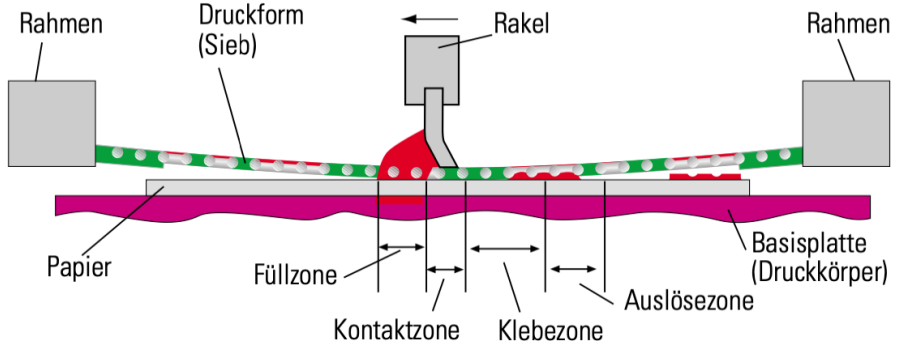
Flexodruck



Tiefdruck



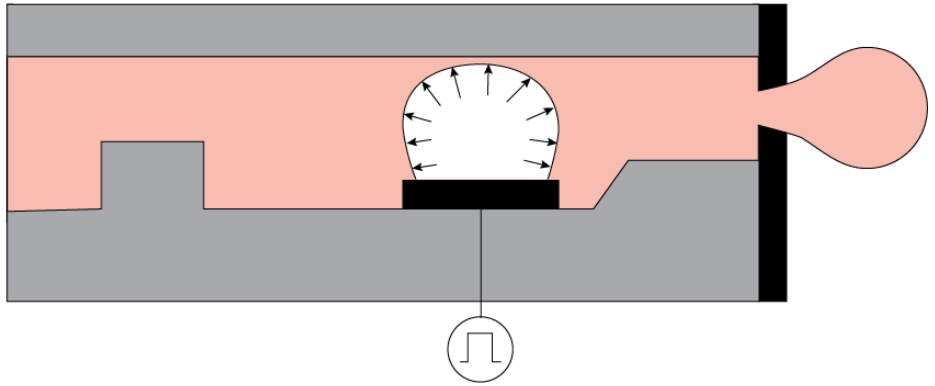
Siebdruck



Quelle: Handbuch der Printmedien. Ed. H. Kipphan. Springer. 2000.

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

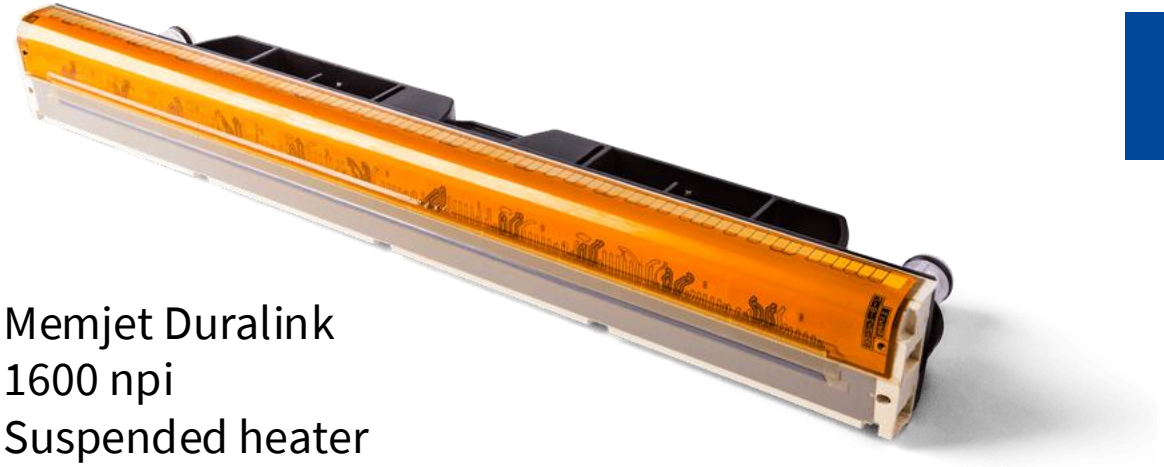
Thermal Inkjet



- typ. wasserbasierte Tinten
- Viskosität 1-5 mPas
- <40 kHz Tropfenraten
- i.A. binäre Tropfen

- Bis zu 2400 NPI (MEMS) -- Günstige Herstellung

- z.B. HP, Memjet, Canon



Memjet Duralink
1600 npi
Suspended heater

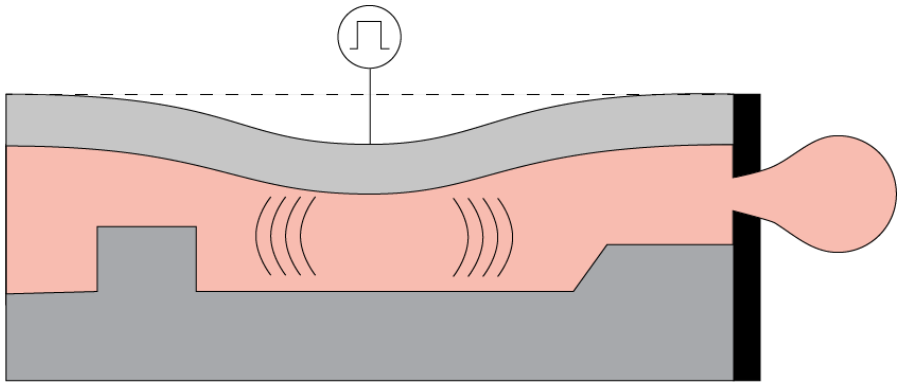


HP Pagewide
1200/2400 npi
Optional: 2 Tropfengrößen, Zirkulation

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Quelle: Memjet, HP

Piezo Inkjet



- Wasserbasierte, Lösemittel-, UV-Tinten
- Viskosität 5-25 mPas
- <120 kHz Tropfenraten
- Graustufen

- Bis zu 1200 NPI (MEMS)
- Vergleichsweise kostenintensiv

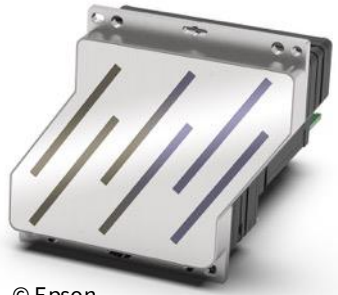
- z.B. Dimatix, Ricoh, Xaar, Seiko Instruments, Epson, Brother, Konica Minolta



© Xaar



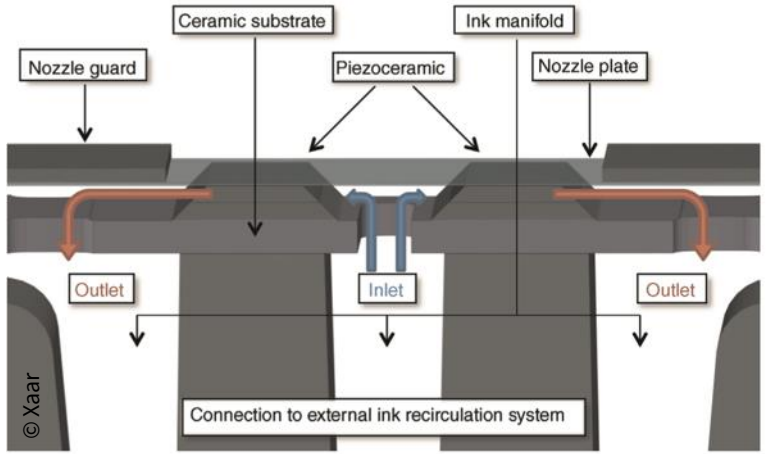
© Kyocera



© Epson



© Fujifilm



Quelle: Xaar plc

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

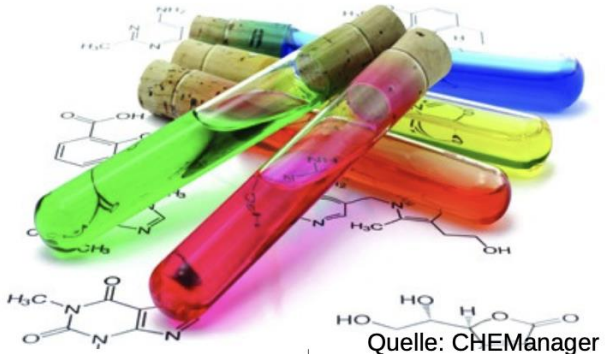
Farben

Pigmente

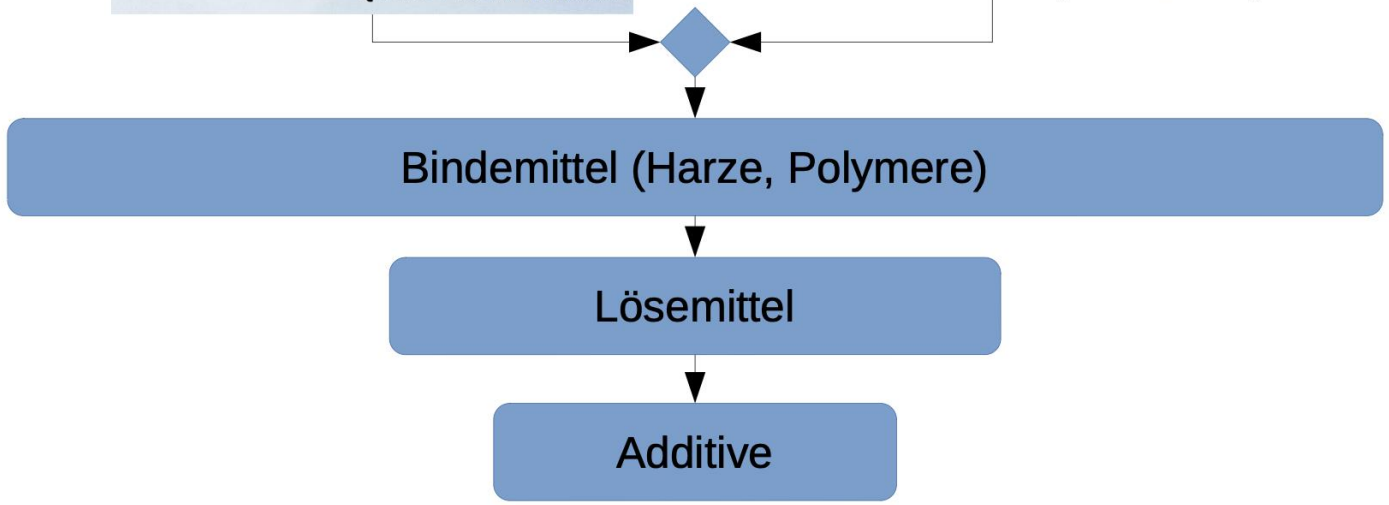


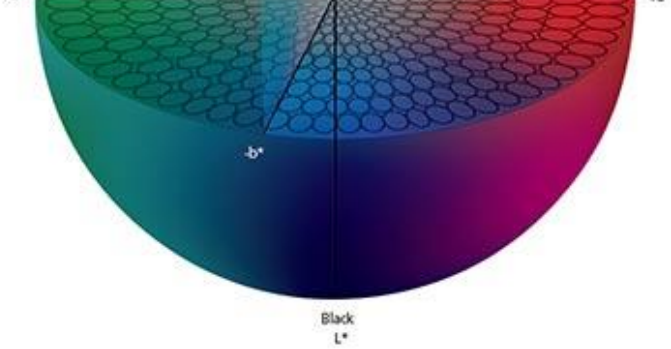
Quelle: Evonik Industries

Farbstoffe



Quelle: CHEManager





Quelle: xrite.com

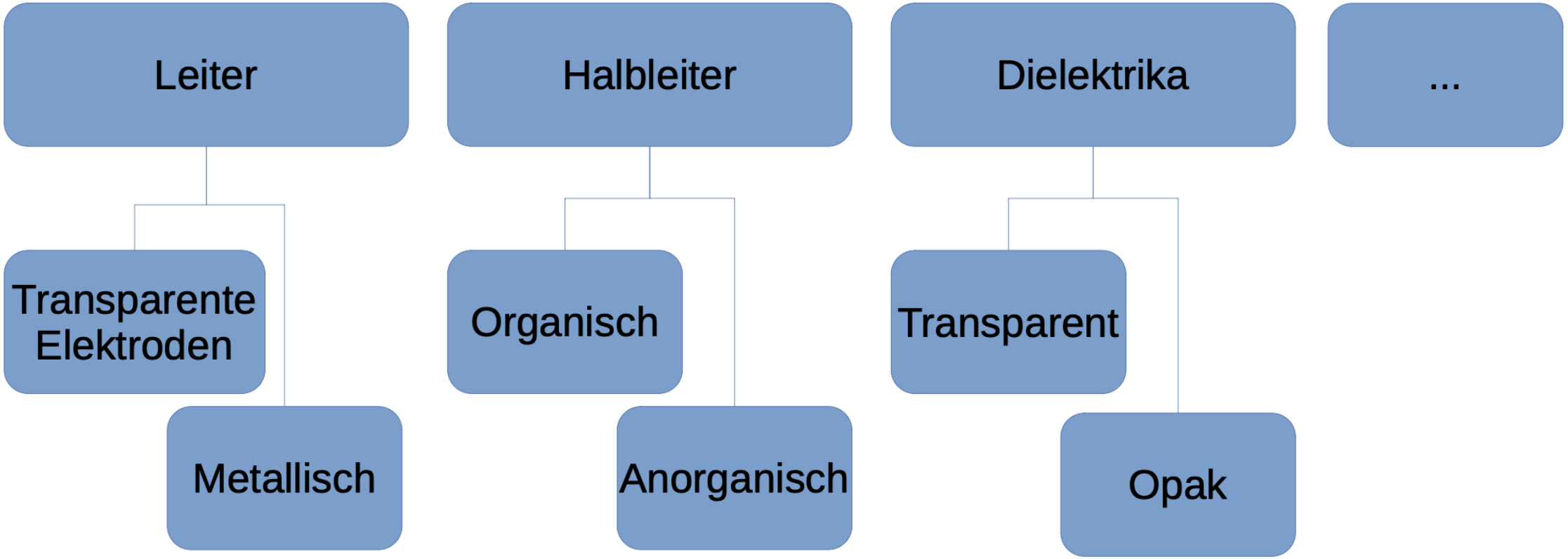
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Materialien für gedruckte Funktionalität



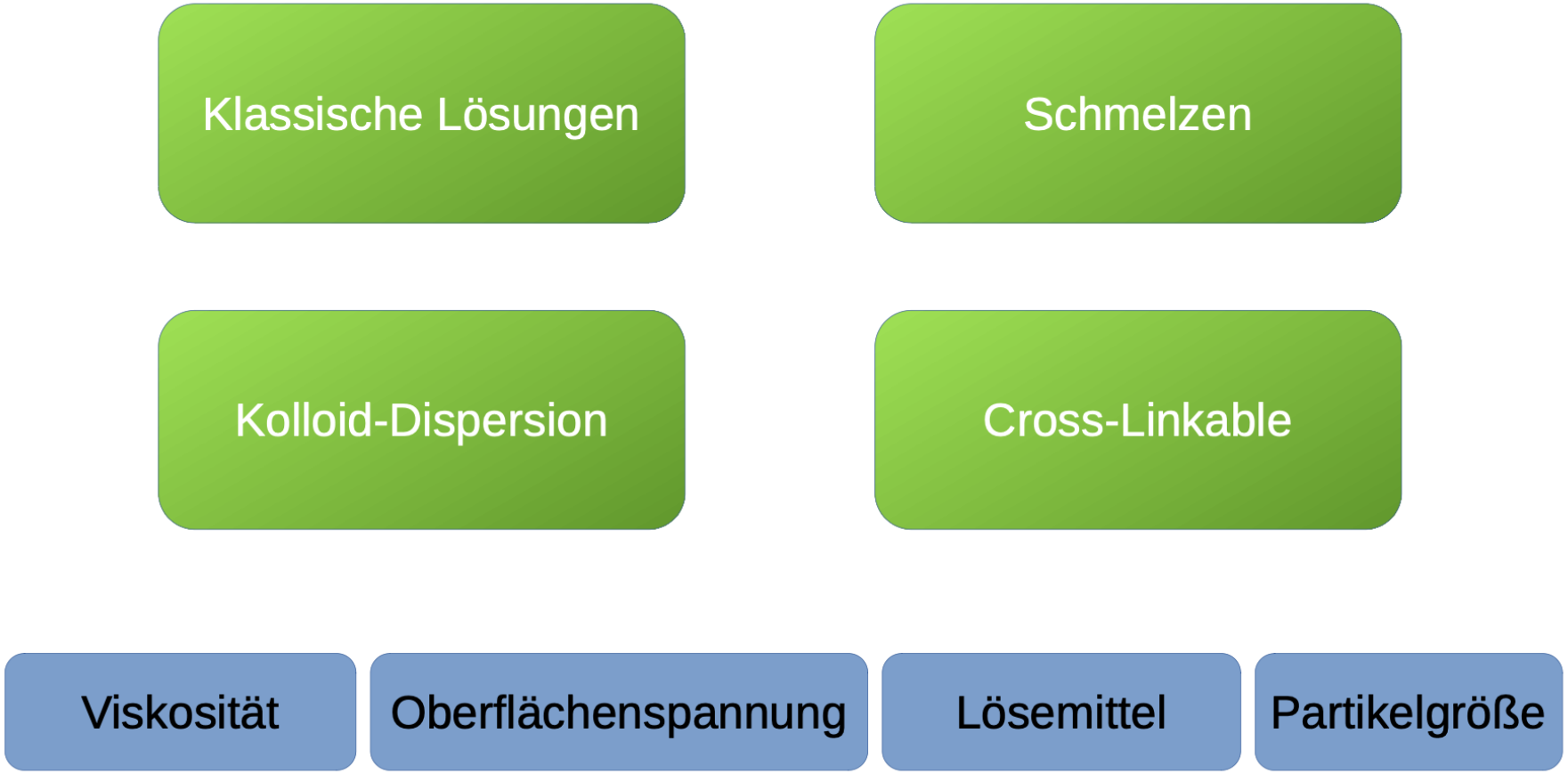
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Gedruckte Funktionalitäten



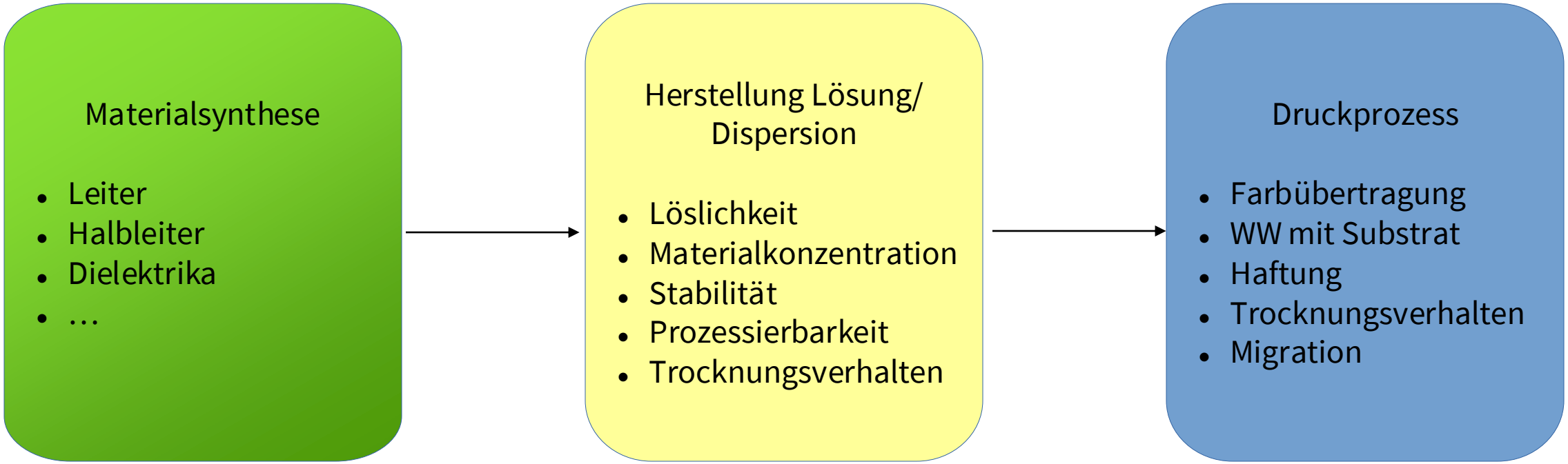
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Eigenschaften von Farben für gedruckte Funktionalitäten



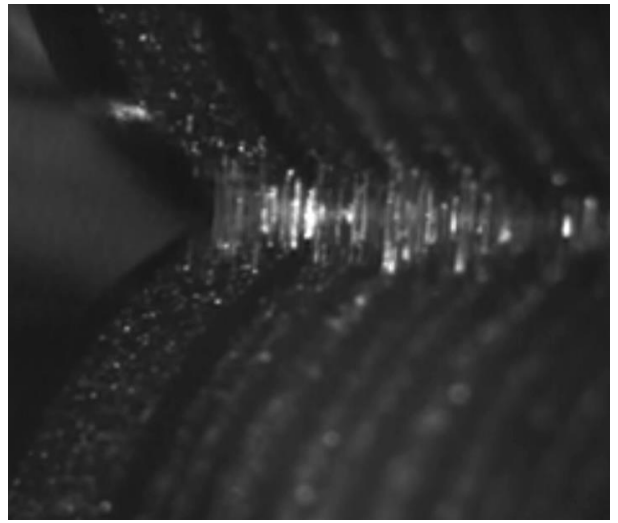
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

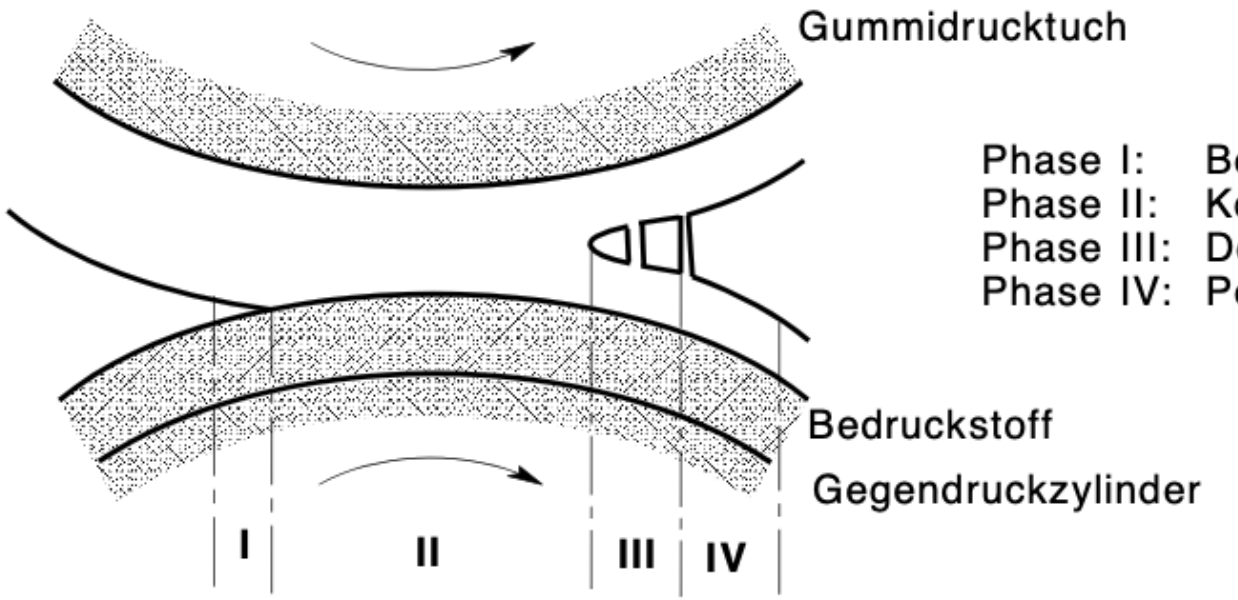
Herstellung von “Farben” für gedruckte Funktionalitäten



Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Exemplarische Farbübertragung durch Farbspaltung

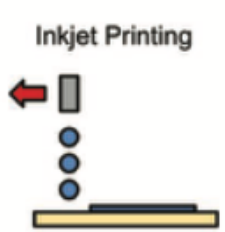
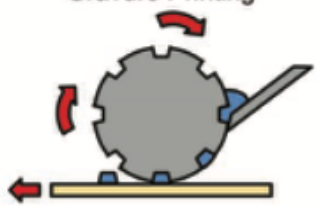
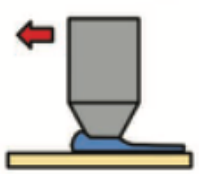
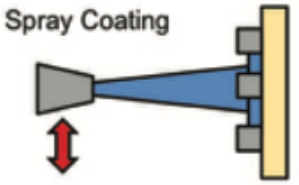




Phase I: Benetzungsphase
Phase II: Kompressionsphase
Phase III: Dekompressionsphase
Phase IV: Penetrationsphase

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

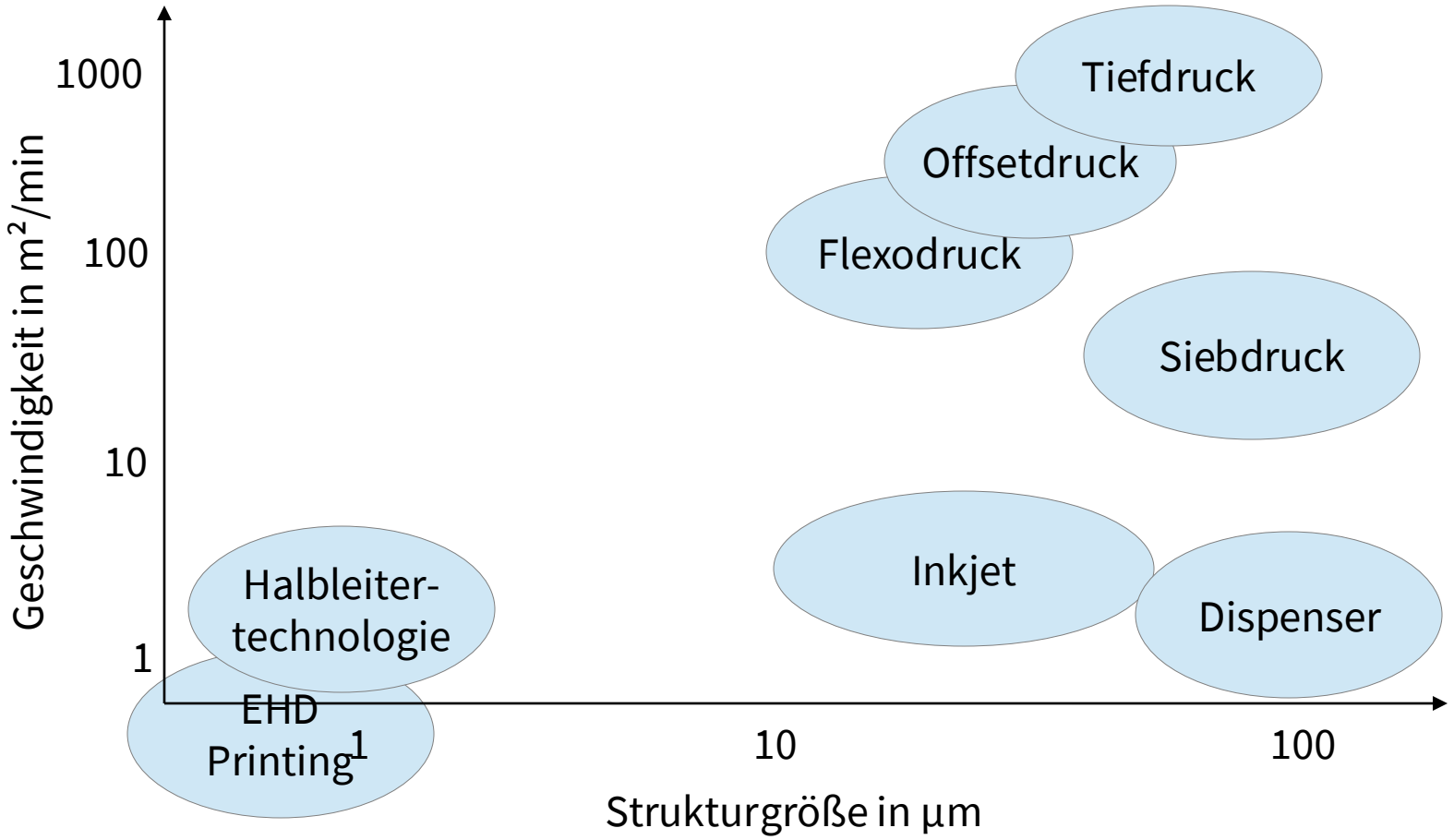
Processfenster der unterschiedlichen Beschichtungsverfahren

Printing properties	 Inkjet Printing	 Screen Printing	 Gravure Printing	 Blade Coating	 Spray Coating
Ink viscosity	5 – 50 cP	500 – 5000 cP	10 – 1000 cP	<100 cP	10 – 100 cP
Critical linewidth	30 – 70 µm	50 – 150 µm	5 – 100 µm	–	50 – 150 µm
Film thickness	0.1 – 1 µm	5 – 100 µm	0.1 – 1 µm	0.1 – 1 µm	0.5 – 1 µm
Film roughness	Low	High	Low	Low	Medium
Printing speed	0.01 – 0.1 m s^{-1}	0.1 – 1 m s^{-1}	0.1 – 10 m s^{-1}	0.01 – 1 m s^{-1}	0.1 – 1 m s^{-1}
2D patterning	Yes	Yes	Yes	No	Yes
Large-area scalability	Limited	Yes	Yes	Yes	Limited
Design flexibility	High	Low	Low	Medium	Medium

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

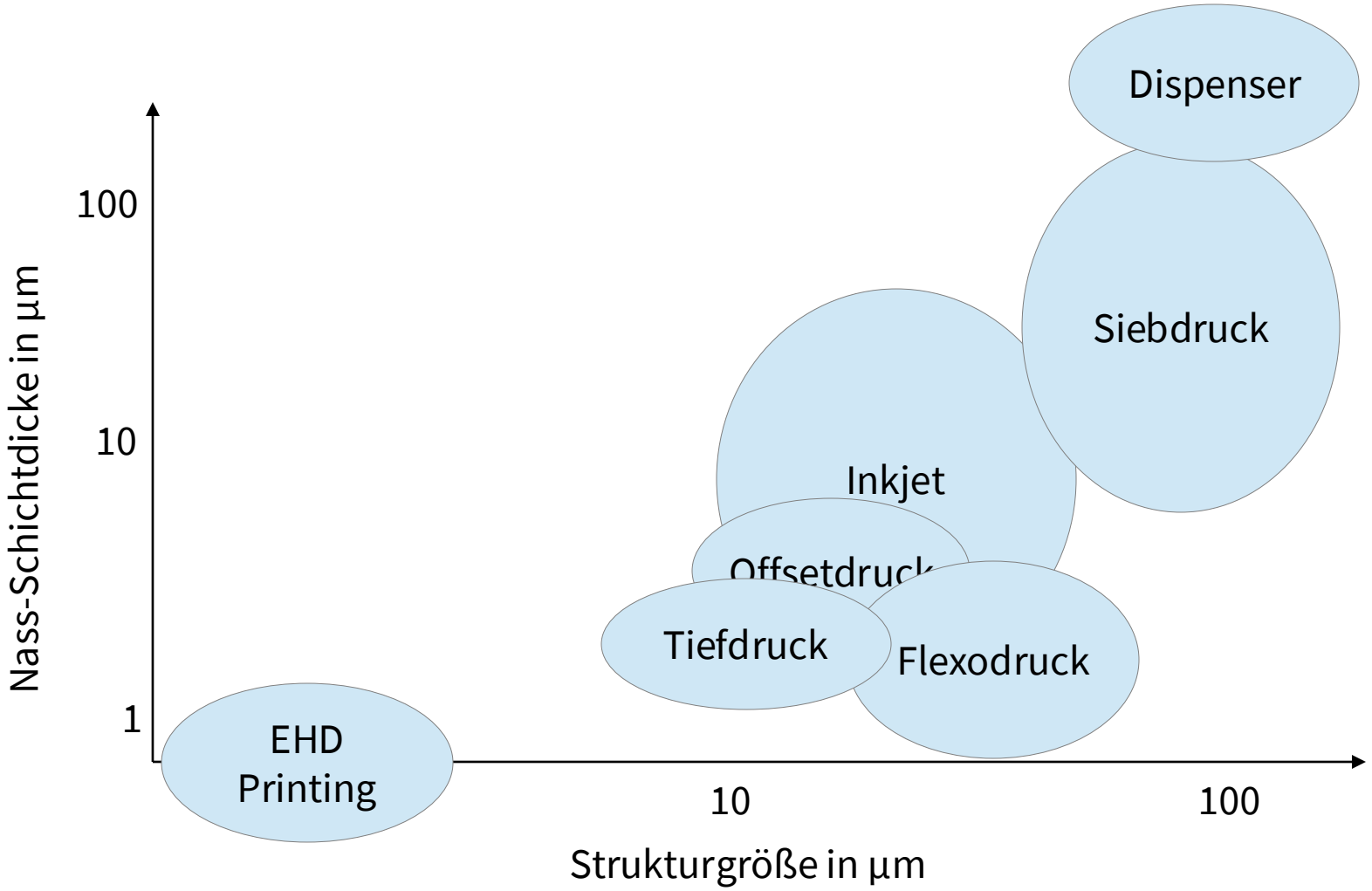
Y. Khan, A. *et al.*, "A New Frontier of Printed Electronics: Flexible Hybrid Electronics," *Advanced Materials*, vol. 32, no. 15, p. 1905279, Apr. 2020, doi: 10.1002/adma.201905279.

Druckverfahren im Überblick



Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Druckverfahren im Überblick



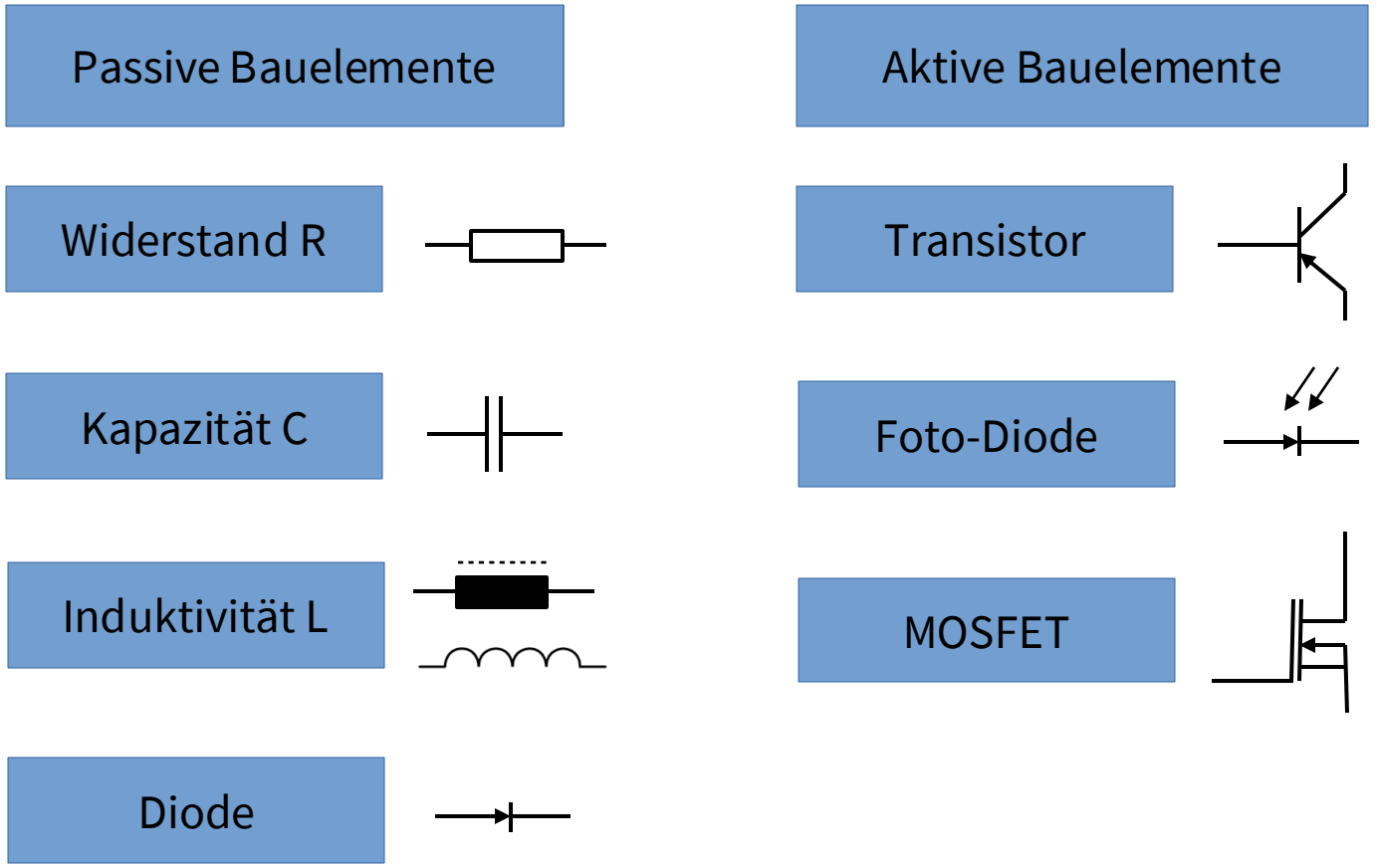
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

IP³ CS²

HTWK Leipzig University of Applied Sciences

Die Grundbausteine

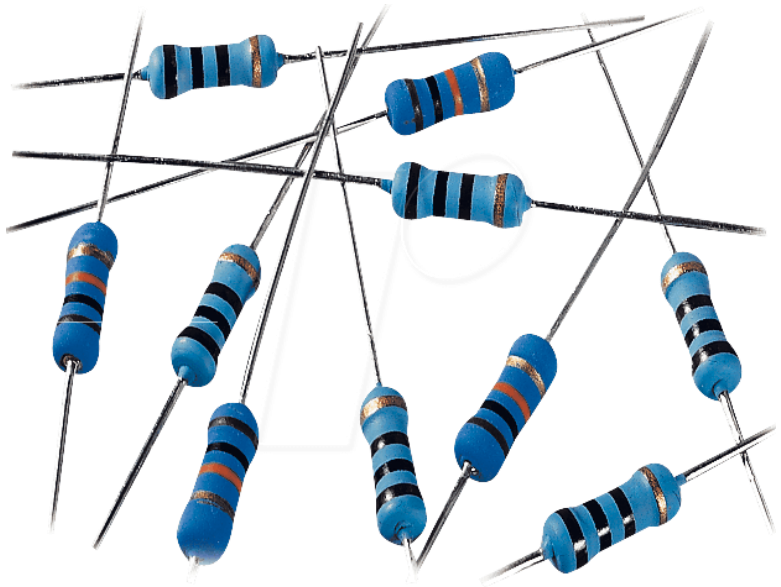
Komponenten für Elektronik



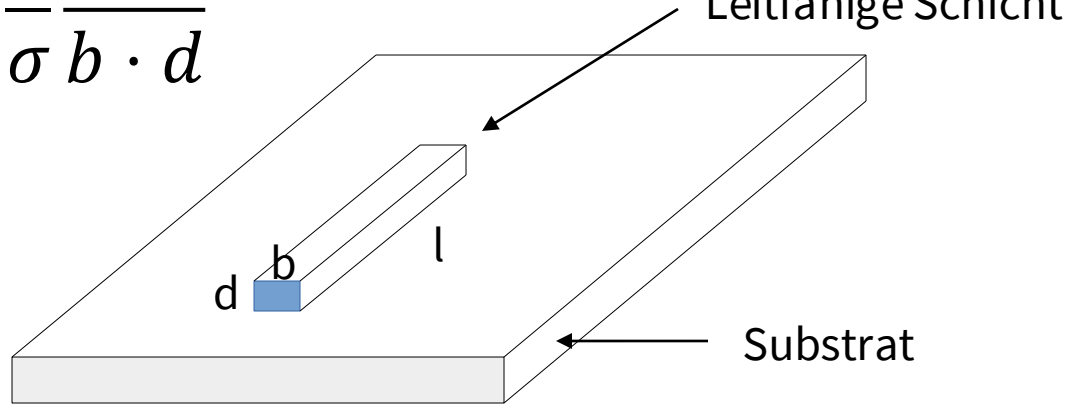
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Überführung von konventionellen Bauteilen in druckbare Form

Widerstand



$$R = \frac{1}{\sigma}\frac{l}{b \cdot d}$$

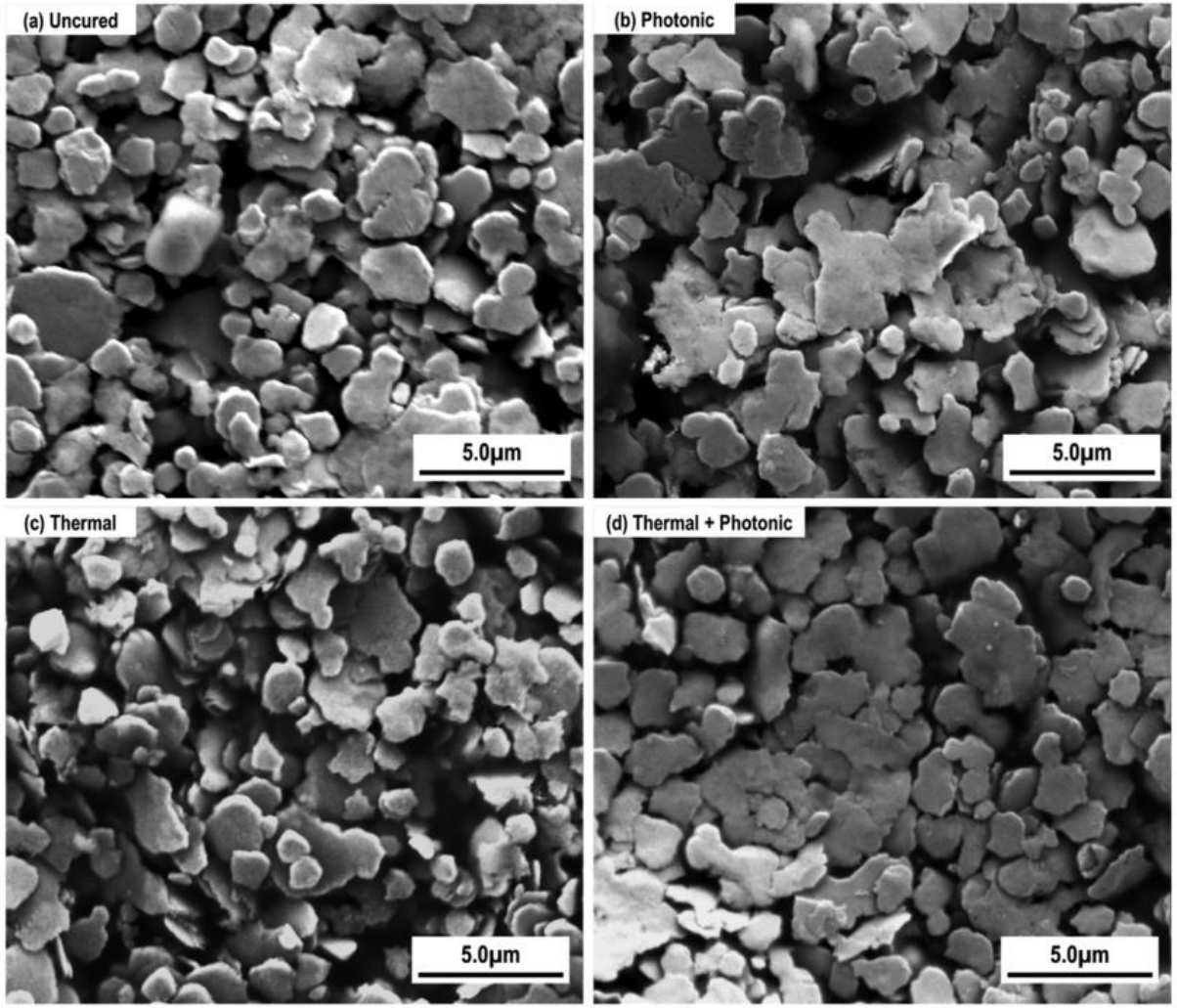


Material	Leitfähigkeit σ in S m^{-1}
Silber	$61 * 10^6$
Kupfer	$58 * 10^6$
Aluminium	$37 * 10^6$
Graphit parallel	$3 * 10^6$
Graphit senkrecht	$61 * 10^2$

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Leitende Materialien

typ. Siebdruck



- Flake Materialien aus
  - Silber
  - Kupfer
  - Kupfer-Silber
  - Glas-Silber
- Erfordern thermische Nachbehandlung um Perkolationspfade zu generieren
- Kein Bulk-Material → Leitfähigkeiten bewegen sich weit unter den der Vollmaterialien (mind. 10x schlechter)
- Alternativen:
  - Nanomaterialien
  - 2D Materialien (Graphen, MoS2)
  - Leitfähige Polymere (PEDOT:PSS)
  - Nanowire (Ag, Carbon)

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

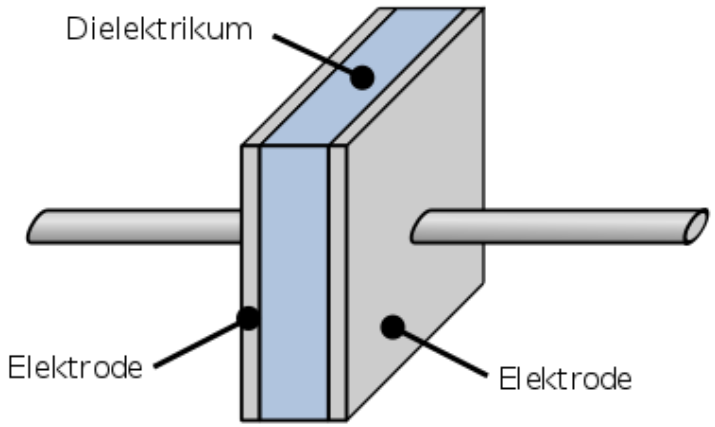
ACS Appl. Mater. Interfaces 2018, 10, 21398−21410

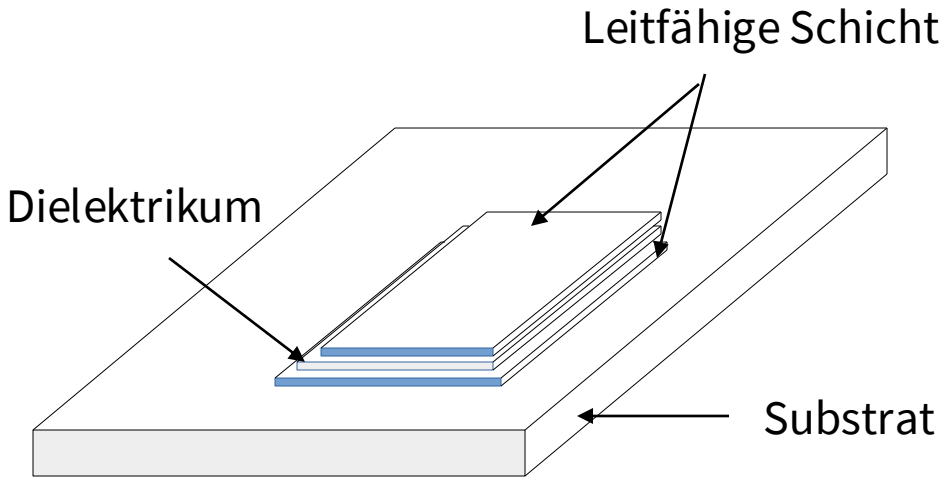
CS² IP³

Überführung von konventionellen Bauteilen in druckbare Form

Kondensator

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}$$





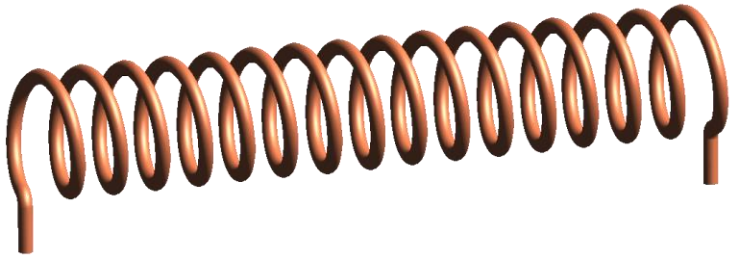
Materialkonstante
1 für Vakuum
80 für Wasser
1000 für Keramik

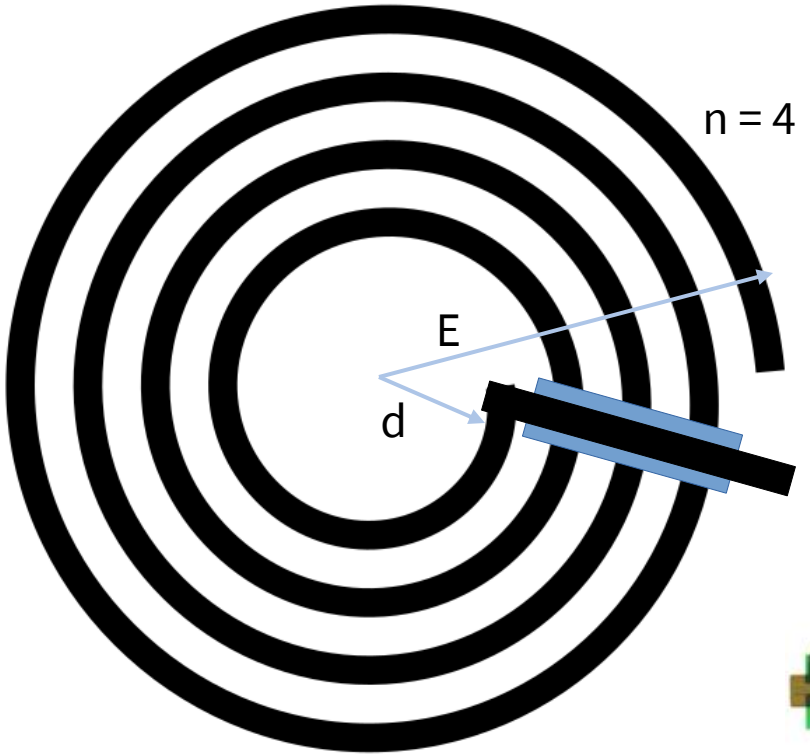
Elektrische Feldkonstante

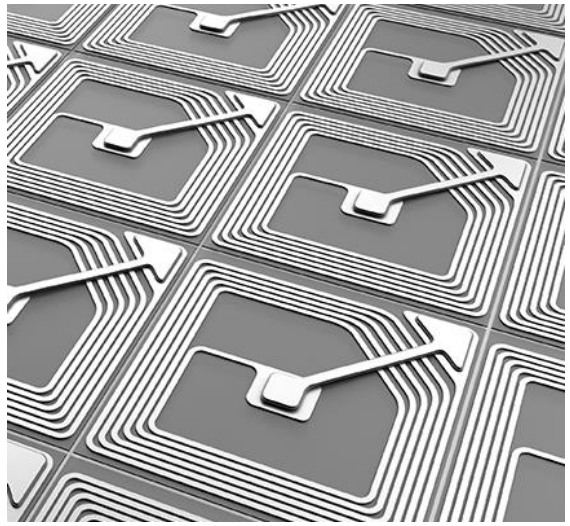
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Überführung von konventionellen Bauteilen in druckbare Form

Spule



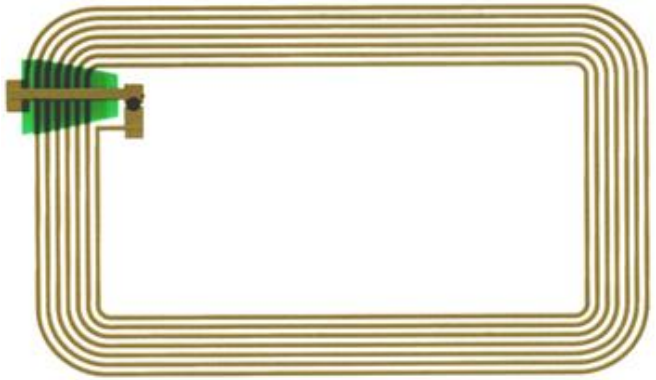




$$L \approx \frac{21.5 n^2 D}{1 + 2.72 \frac{d}{D}}$$

$$D = E - d$$

Induktivität L in nH
E und d in cm
n: Windungszahl

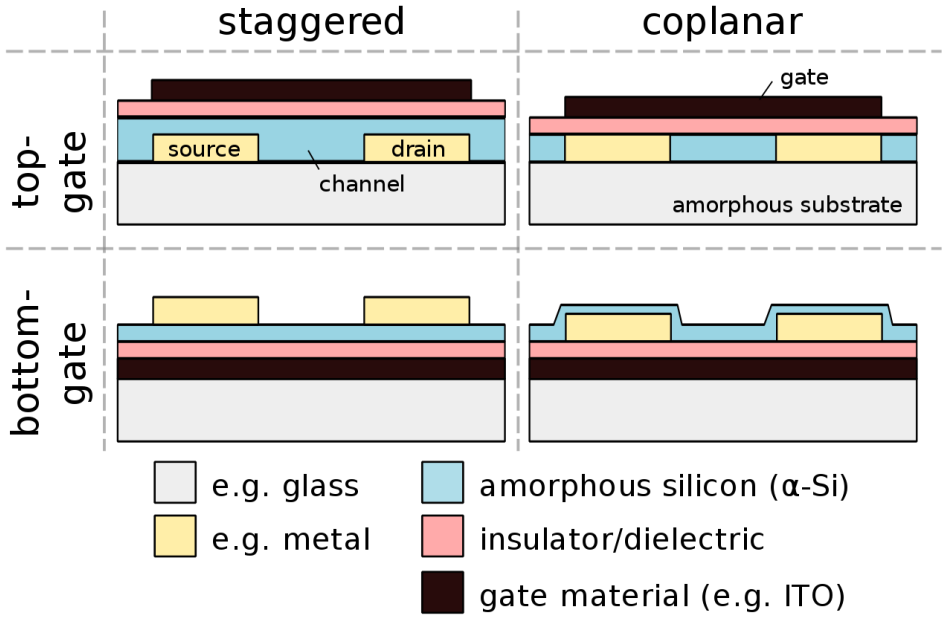


Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

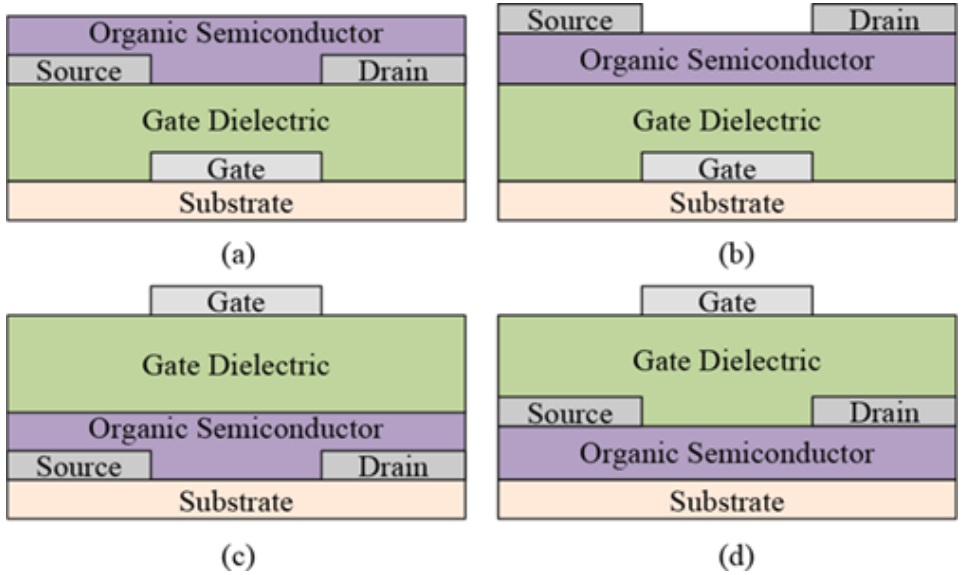
Formel aus: D. Nürmann: Das große Werkbuch der Elektronik

Thin Film Transistor (TFT)

Konventionell (Si-Technologie)



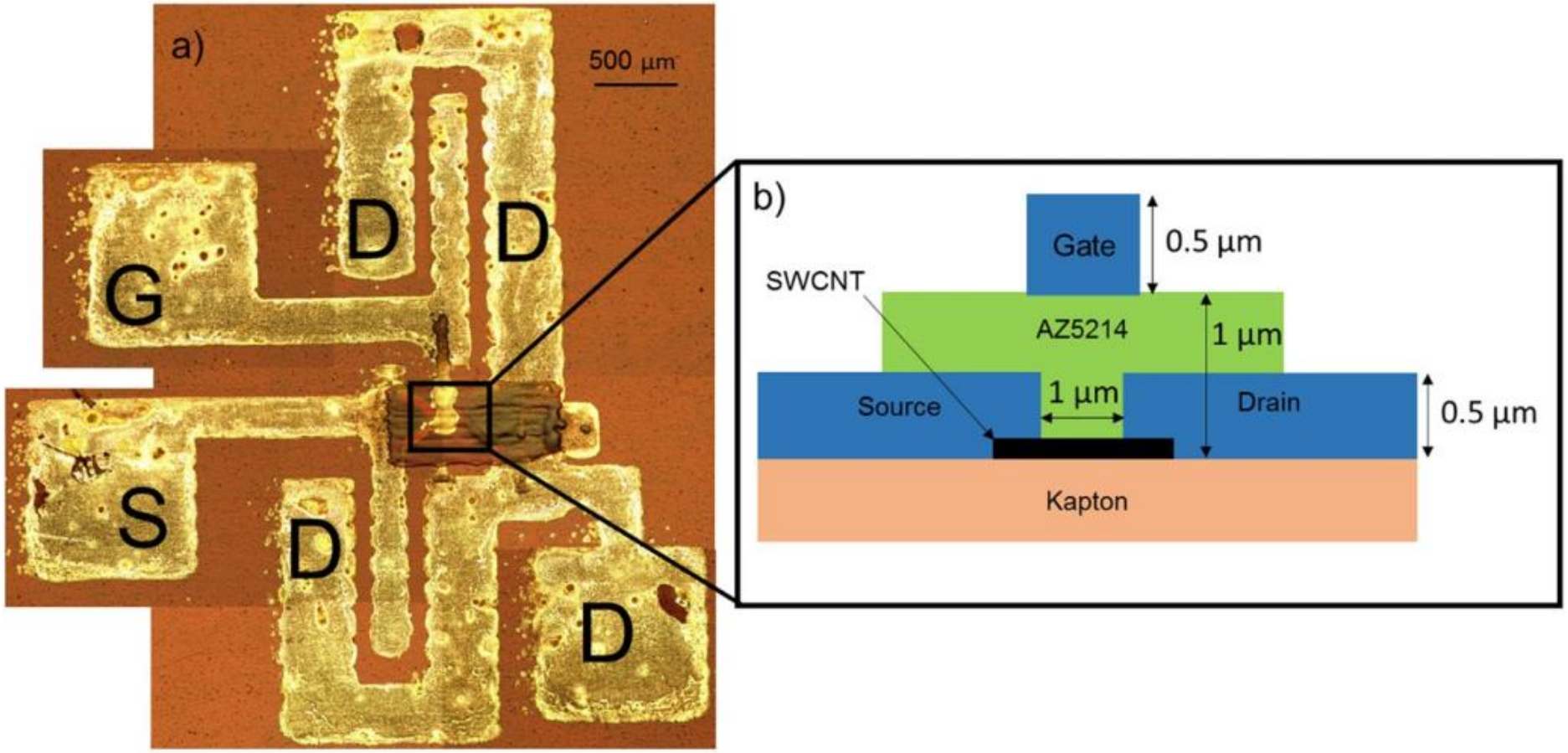
Gedruckte TFTs



https://www.intechopen.com/books/printed-electronics-current-trends-and-applications/printing-of-fine-metal-electrodes-for-organic-thin-film-transistors

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

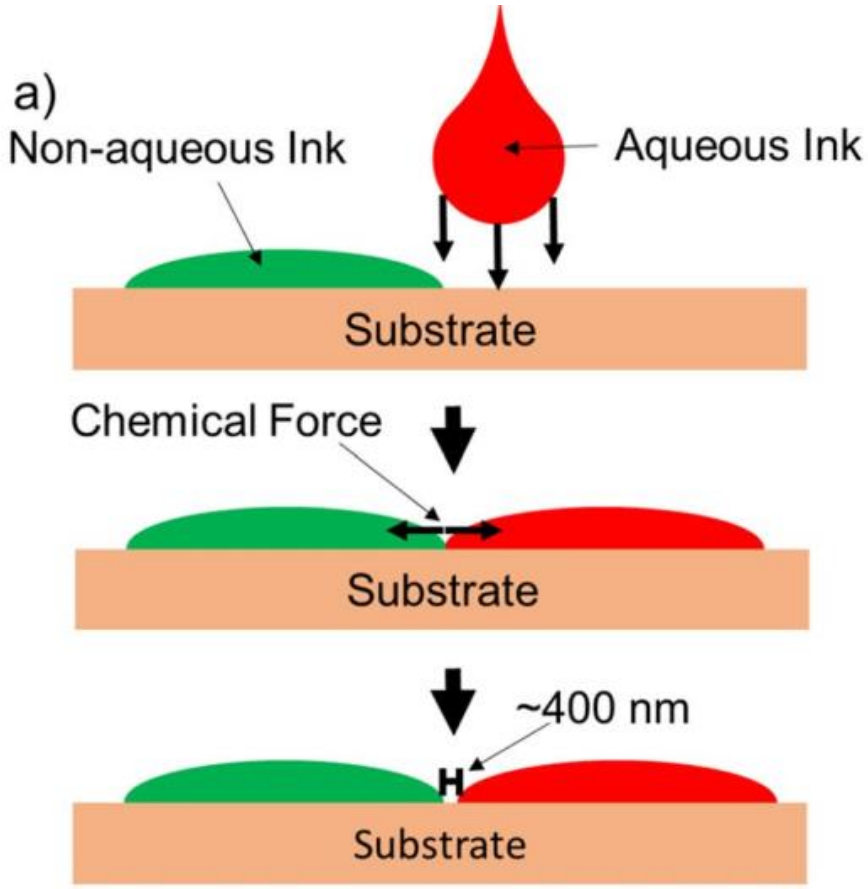
Printed TFT mit CNT-Halbleiter

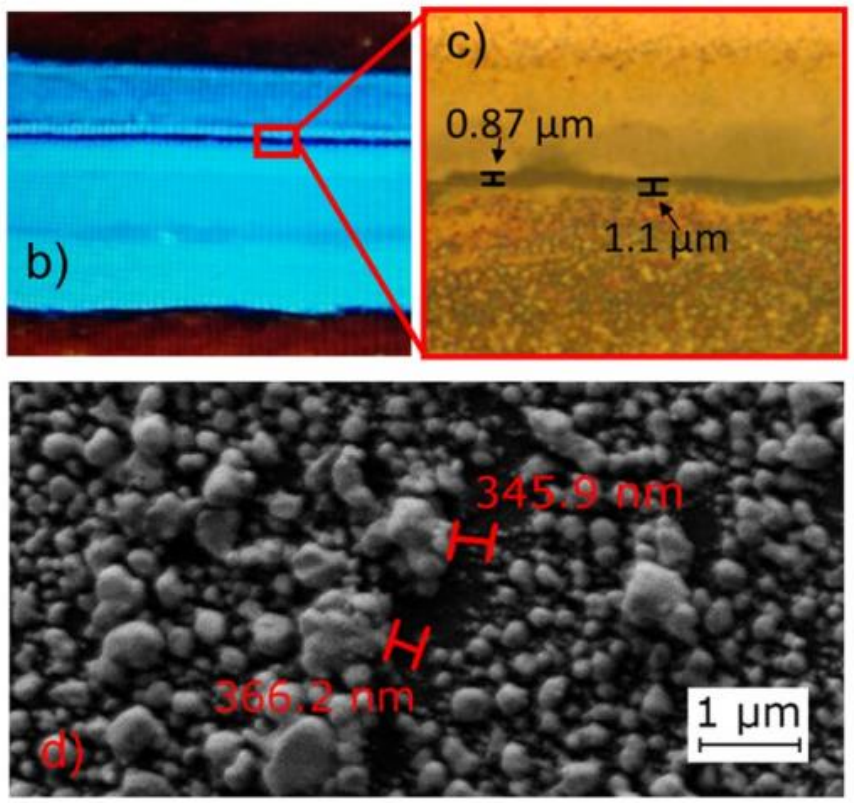


Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Peter Mack Grubb et.al.: Inkjet Printing of High PerformanceTransistors with Micron Order Chemically Set Gaps. Nature Scientific Reports | 7: 1202 | DOI:10.1038/s41598-017-01391-2

Erzeugen des Sub-Mikrometer-Spalts zwischen S und G

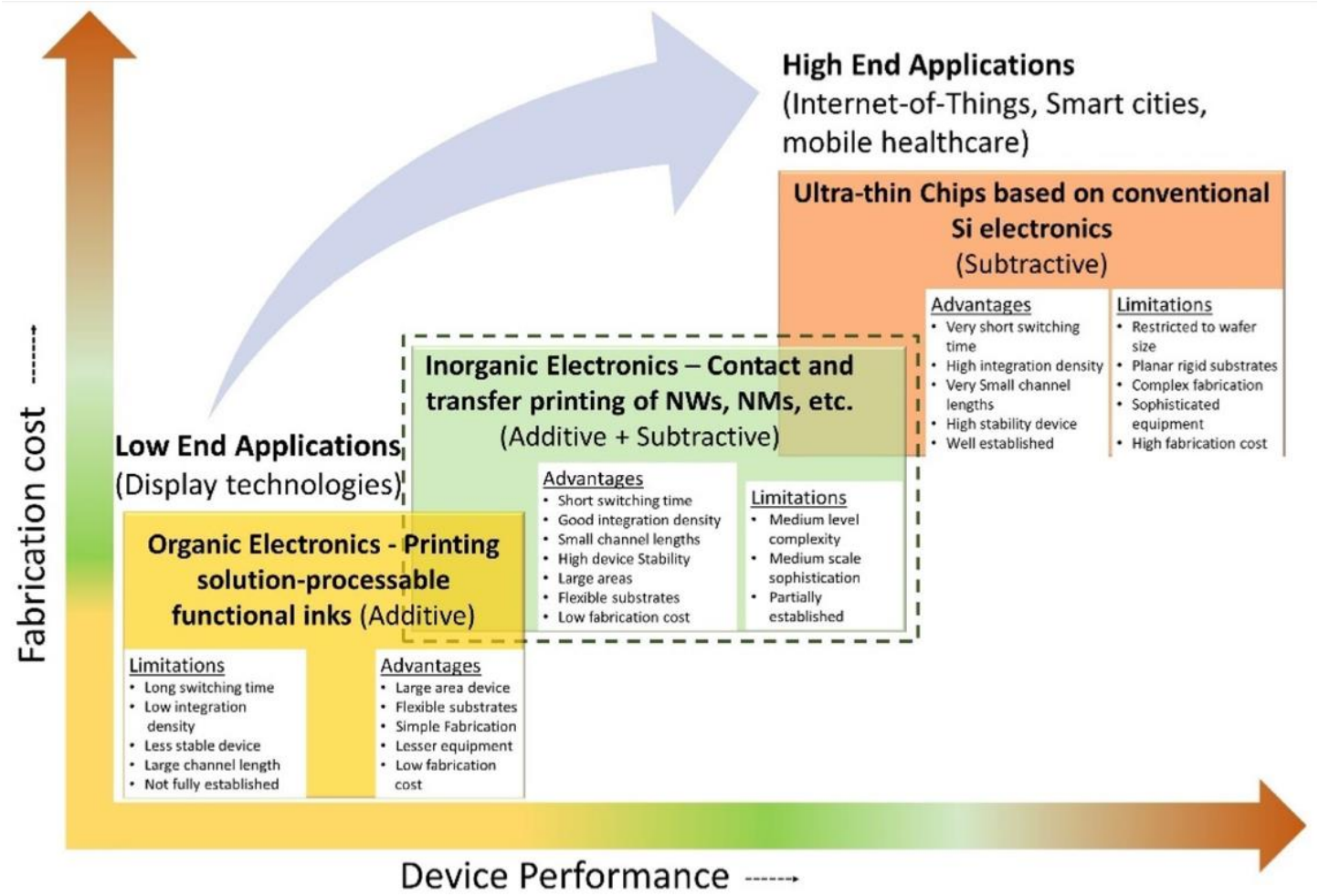




Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Peter Mack Grubb et.al.: Inkjet Printing of High PerformanceTransistors with Micron Order Chemically Set Gaps. Nature Scientific Reports | 7: 1202 | DOI:10.1038/s41598-017-01391-2

Performance *vs.* Cost



A. S. Dahiya, *et al.*, "High-performance printed electronics based on inorganic semiconducting nano to chip scale structures," *Nano Convergence*, vol. 7, no. 1, p. 33, Dec. 2020, doi: 10.1186/s40580-020-00243-6.

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

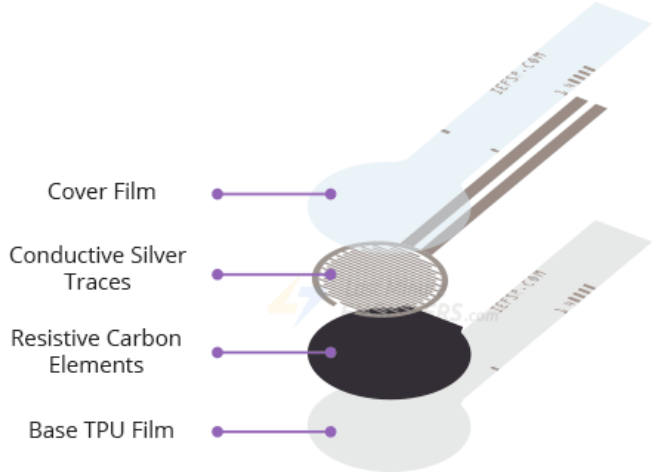
IP³ CS²

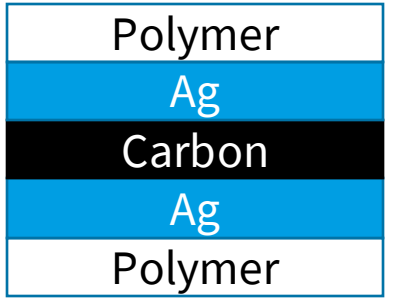
HTWK Leipzig University of Applied Sciences

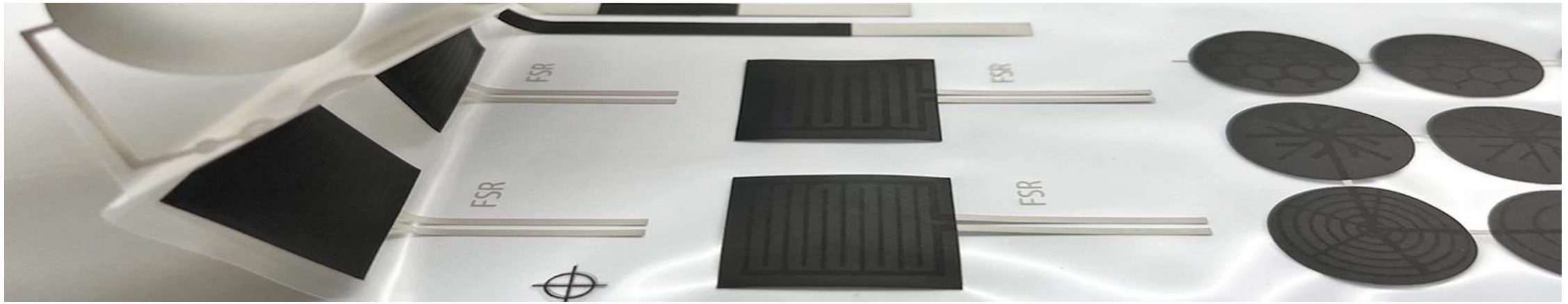
Ausgewählte Anwendungen

Drucksensoren

- Typischerweise als FSR (Force Sensitive Resistor) ausgeführt
- Alternativen: ferroelektrische Materialien
- Anwendungsgebiete: Automotive, Medizintechnik



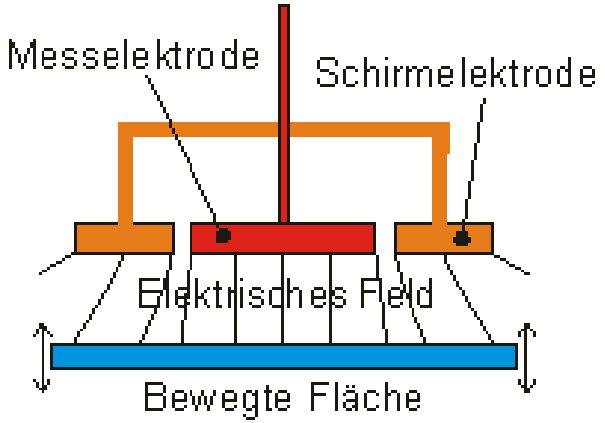


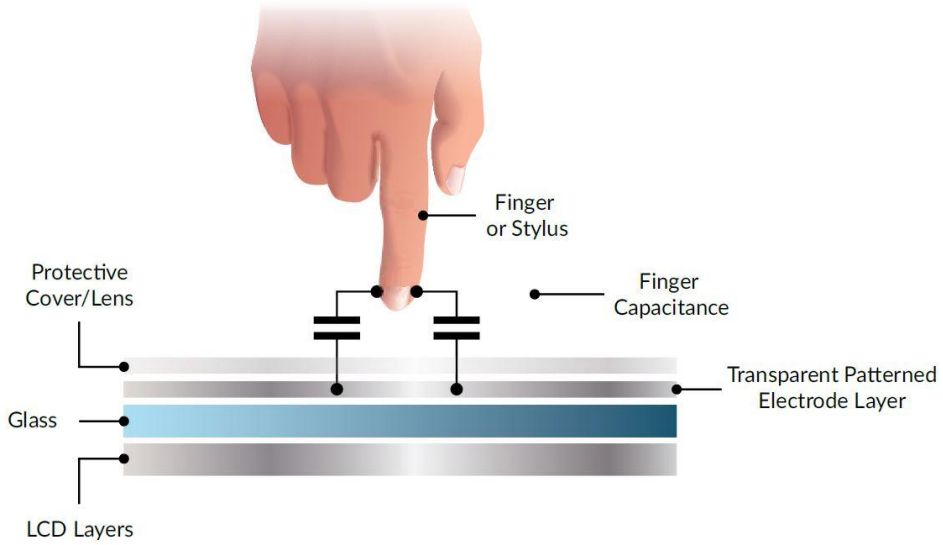


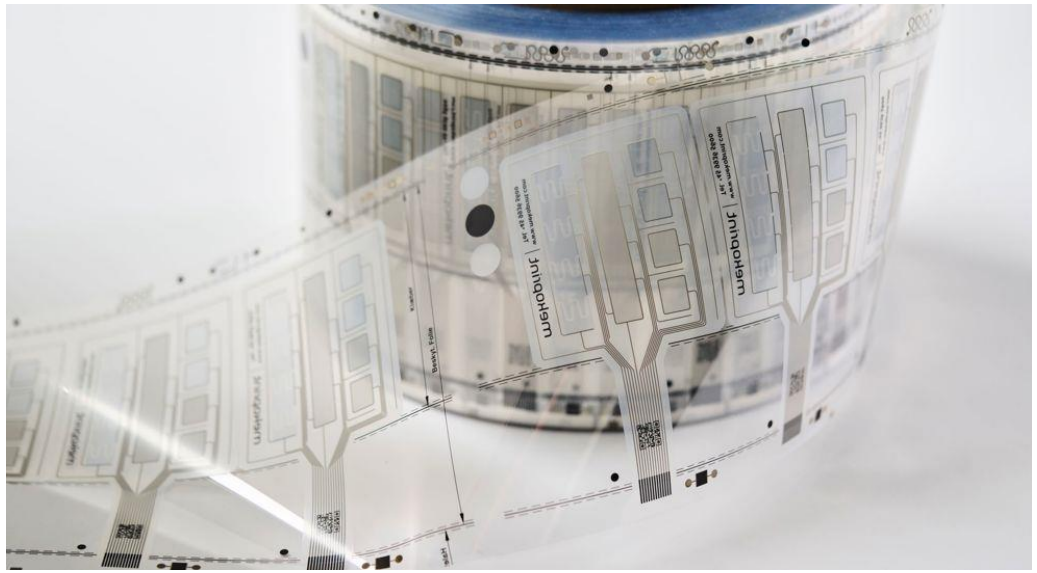
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Quelle: Witte Technology, KiCad-Forums

Kapazitiver Sensor (Touch-Contact)







- Sieb-, Offset, Flexo- oder Inkjet
- Materialien:
  - PEDOT
  - Silber
  - Carbon

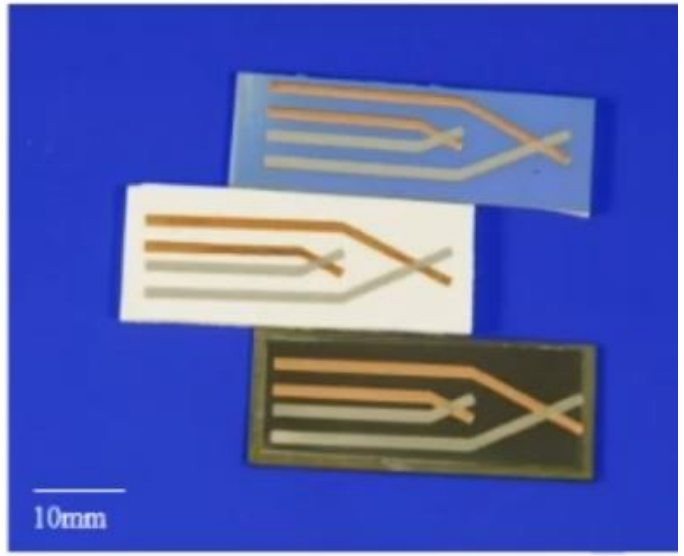
Quelle: Mekoprint

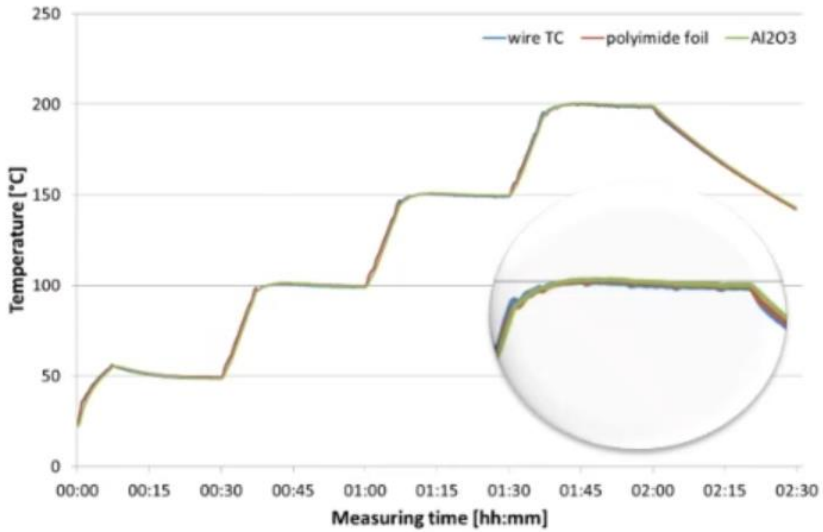
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

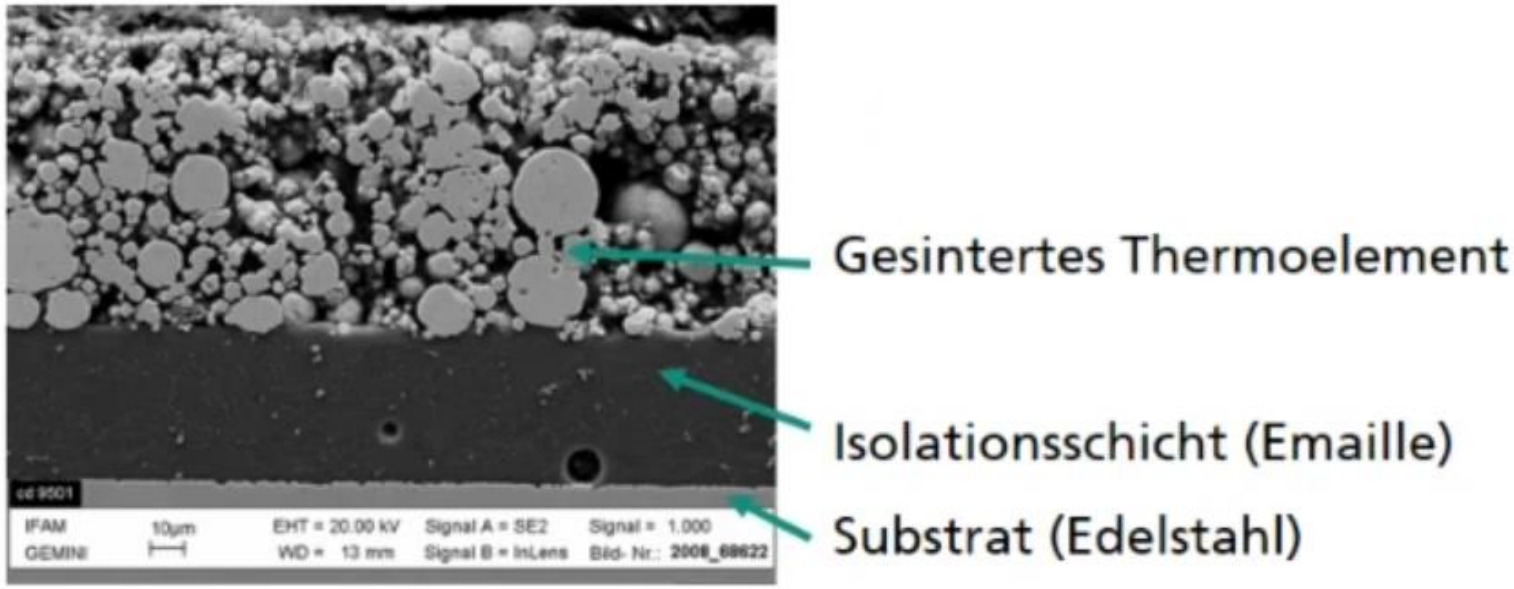
Temperatursensoren

- Typische Messprinzipien:
  - Widerstandsänderungen
  - Thermoelemente
  - NTC, PTC – Materialien

- Herausforderungen:
  - Entkopplung von Effekten wie Dehnung
  - Unterschiedliche Ausdehnungs-koeffizienten von Substrat und Materialien





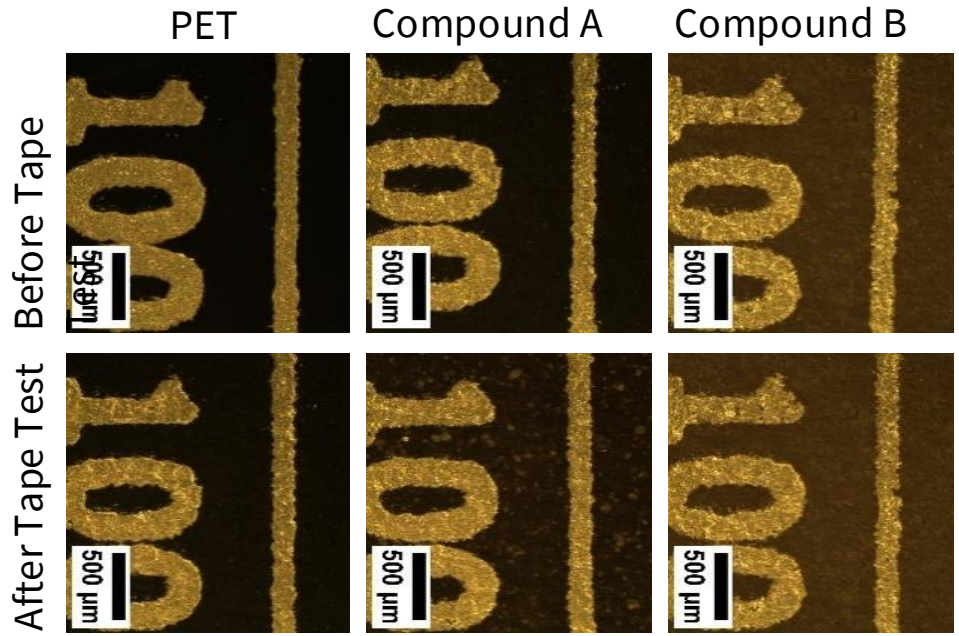


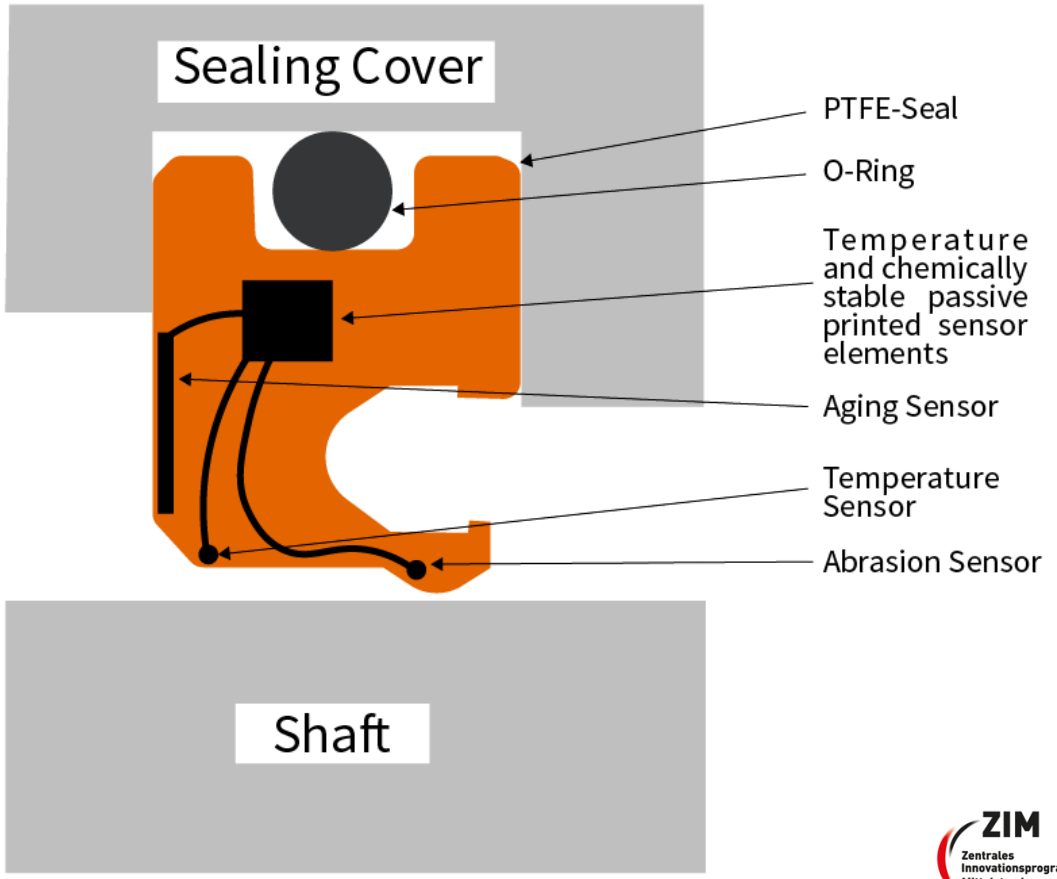
Quelle: Fraunhofer IFAM Bremen

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Kombinierte Sensoranwendungen

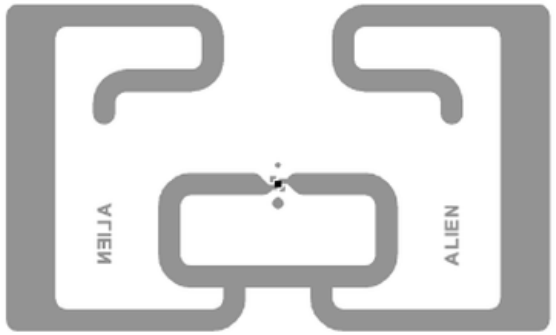
- Funktionalisierung von Dichtungen:
  - Lebenszeitverlängerung
  - Höhere Sicherheit
  - Datenerfassung für SPC

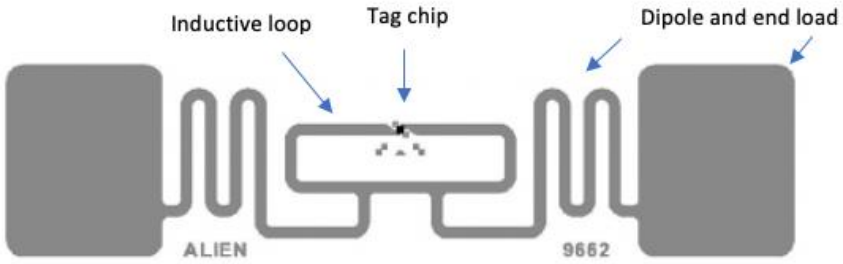


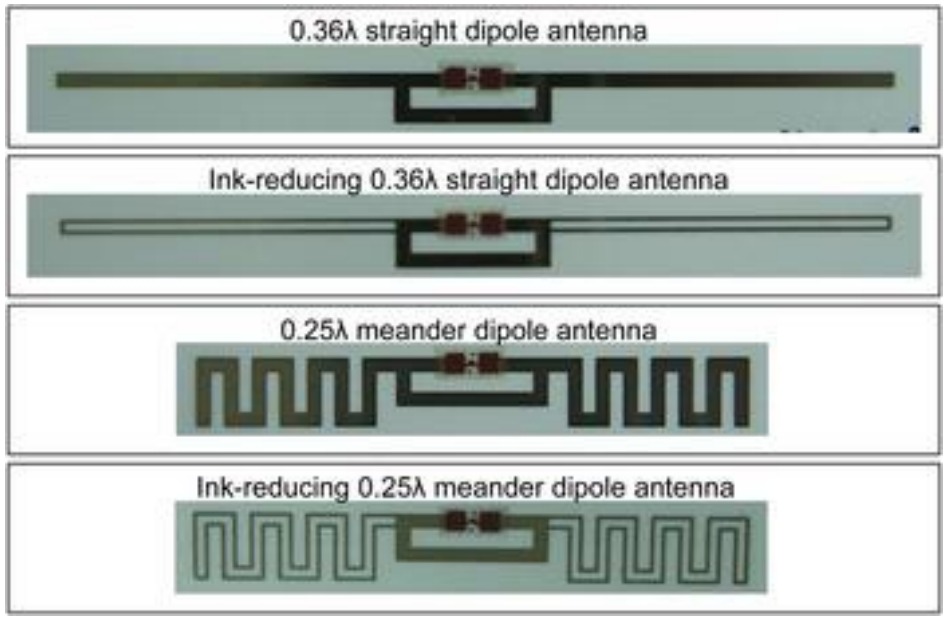


Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

UHF-Antennen für RFID

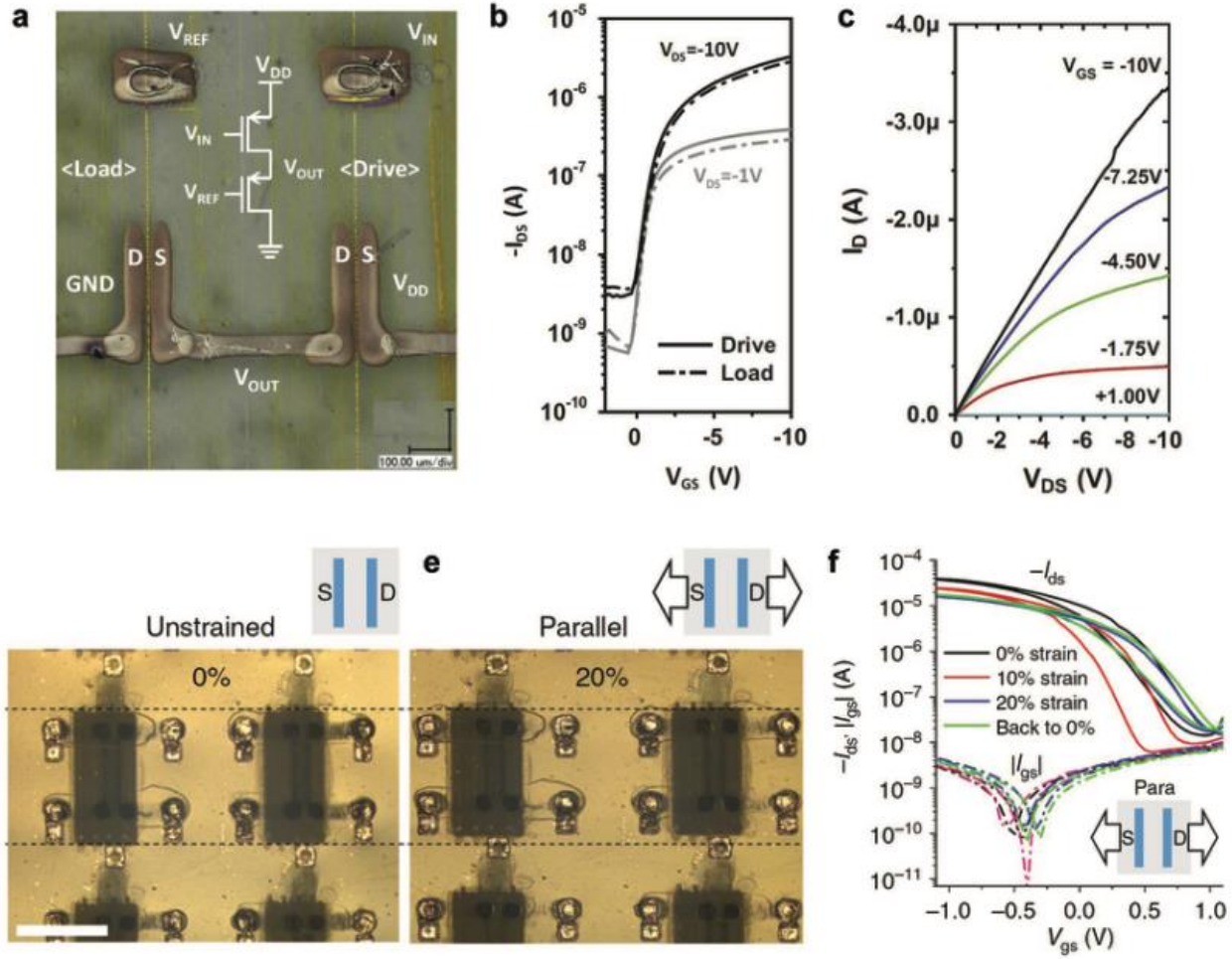






Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

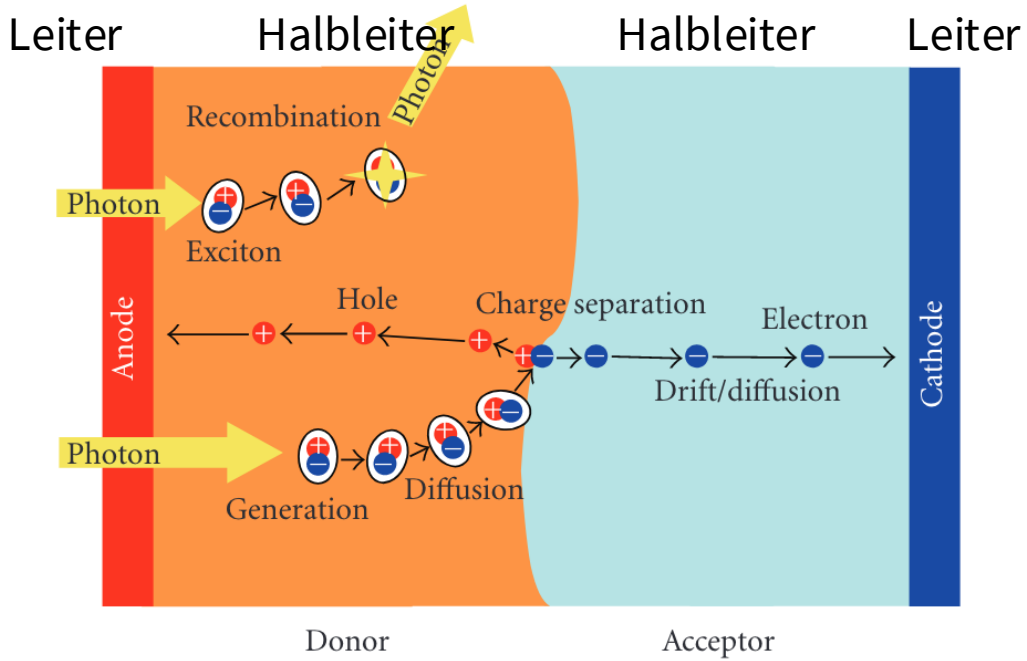
Gedruckte Transistor Dehnmessstreifen

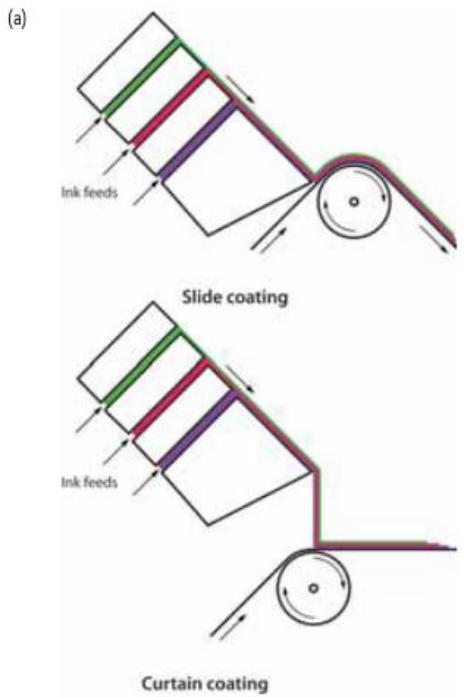


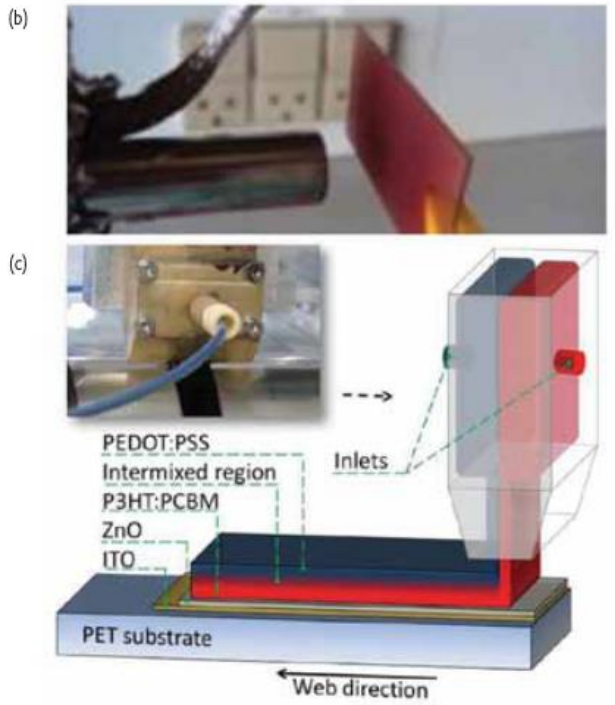
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Solarzellen

Polymer-basiert







- Typische Verfahren:
  - Siebdruck
  - Tiefdruck
  - Flexo
  - Inkjet

- Alternative Vollflächen durch Vorhangbeschichtung:
  - Homogene Schichten
  - Gleichzeitige Applikation der Schichten

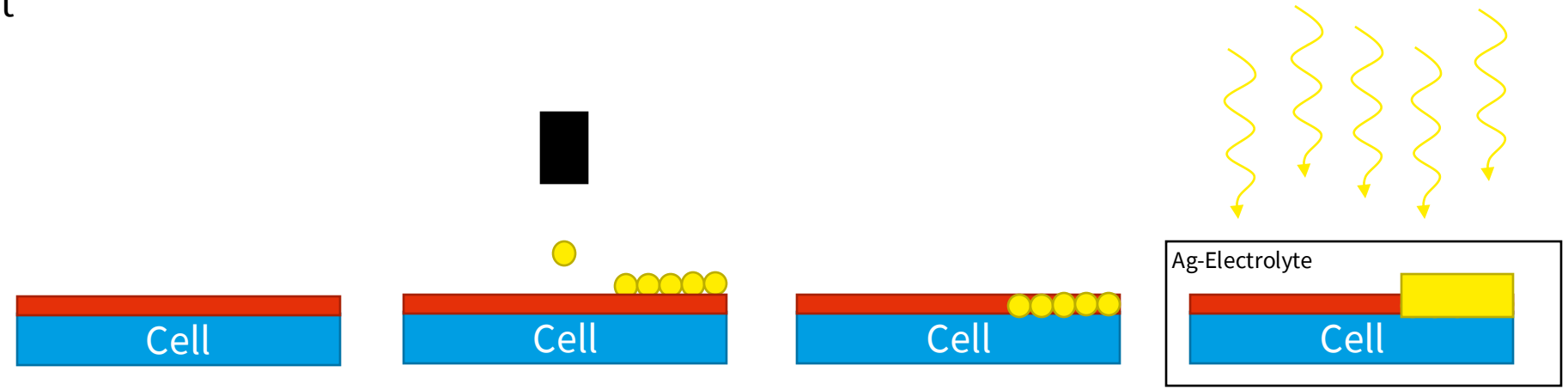
Quelle: Angmo, D., Larsen-olsen, T. T., & Krebs, F. C. (2012). Roll-to-roll fabrication of polymer solar cells As the performance in terms of power conversion efficiency and operational. *Materials Today*, *15*(1), 36–49.

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

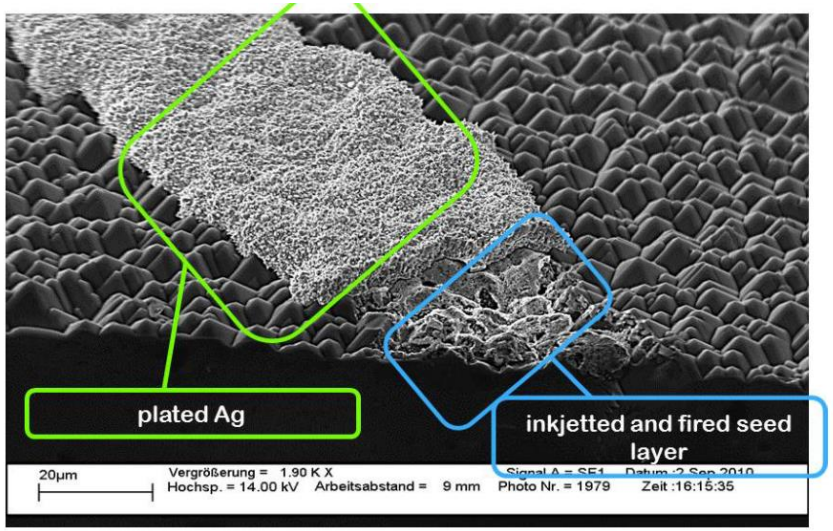
CS² IP³

Solarzellen

Si-basiert

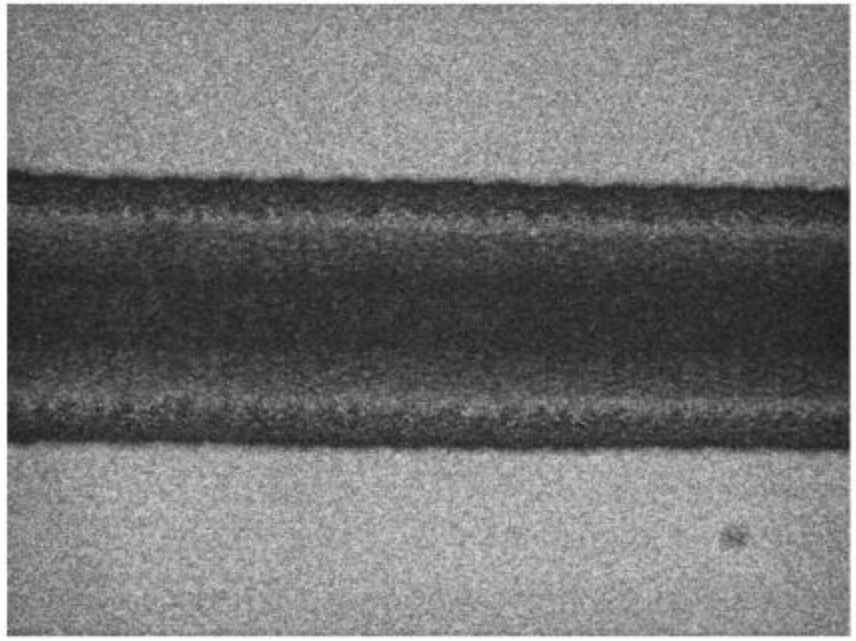


- Reduzierte Abschattung der aktiven Flächen
- Kombination von Inkjet-gedruckten Saatlagen aus Silber-Nanopartikeln und Glasfritte
- Optimierung der Performance mit lichtinduzierter Galvanik

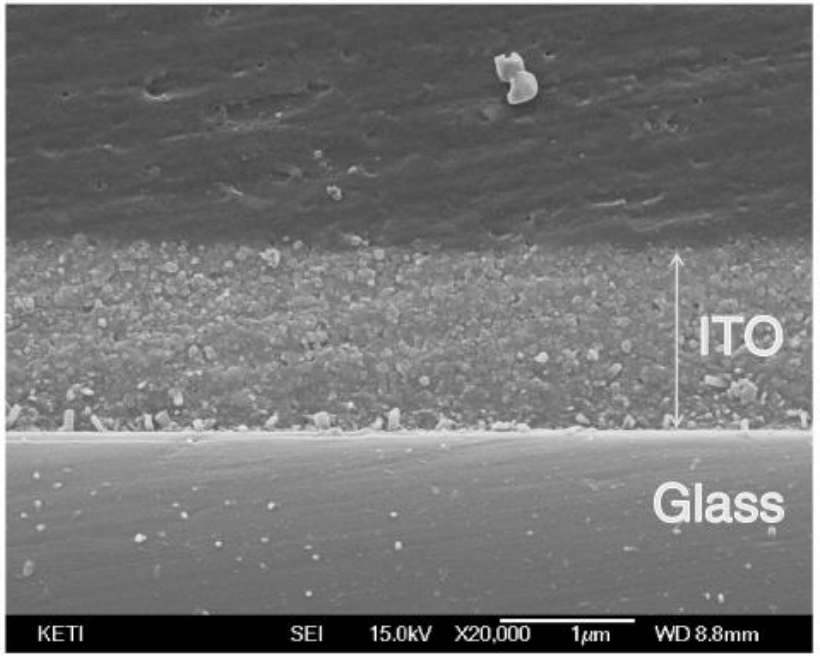


Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

ITO-Schichten im Inkjetdruck



Aufsicht



Querschnitt

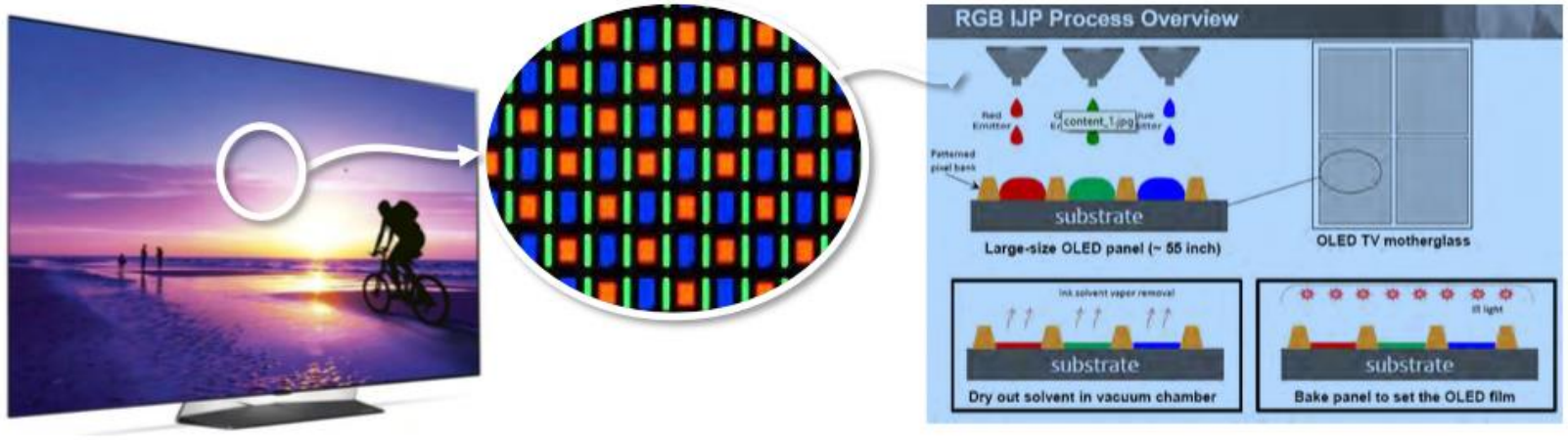
Gedruckte Leiterbahn aus ITO

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Materials Transactions, Vol. 51, No. 10 (2010) pp. 1905 to 1908

Displays

- Inkjet printed LCD TVs in the 2000's by Litrex, Shibaura, AKT, and etc.
- Inkjet printed OLED TVs in the 2010's by Kateeva, Tokyo Electron, SEMES, LG PRI, and etc.



Litrex



TEL



Kateeva



Source: https://www.m3design.com/work/portfolio/precision-semiconductor-chemical-deposition/

Source: http://kateeva.com

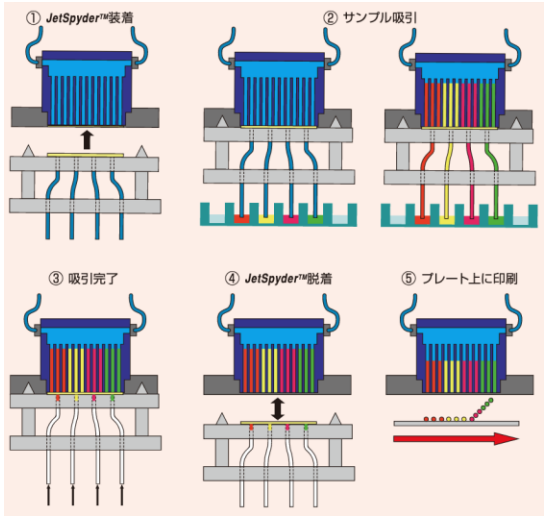
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

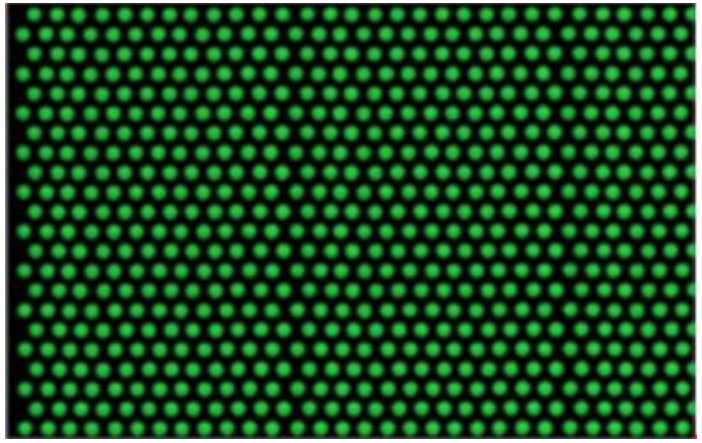
Quelle: Shin – Basics of Inkjet and its Display Applications. Printing4Fabrication. 2020.

Bio-Technology

- Produktion von Assays für die Analyse medizinischer Proben (e.g. monoclonale Antikörper) oder Wirkstoffentwicklung
- Parallele Abscheidung unterschiedlichster Reagenzien





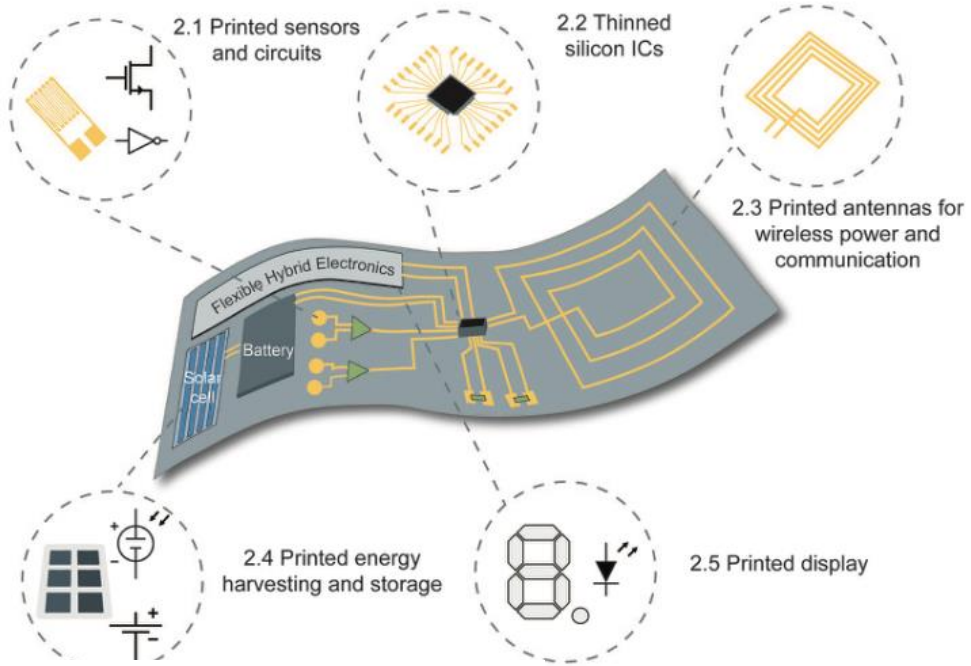


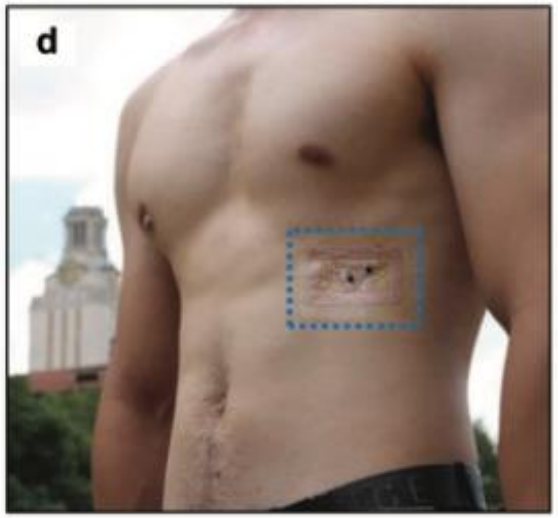
Quelle: ArrayJet ltd.

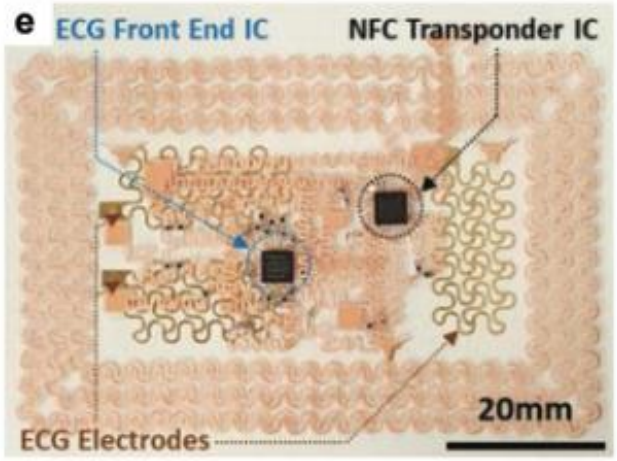
Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

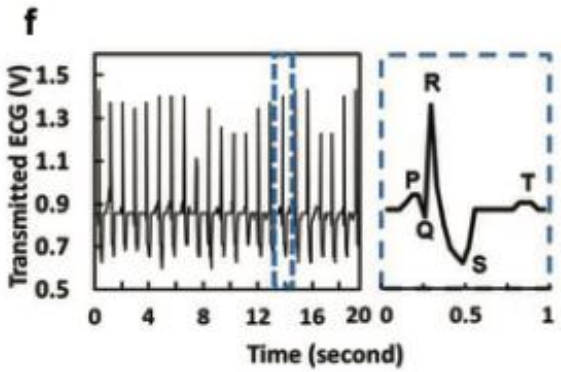
Smart Patches

- Kombinationen unterschiedlichster Sensoren, Speichern und Anzeigeelemente
- Größte Herausforderung ist die Dehnbarkeit der Materialien und die dynamische Beanspruchung







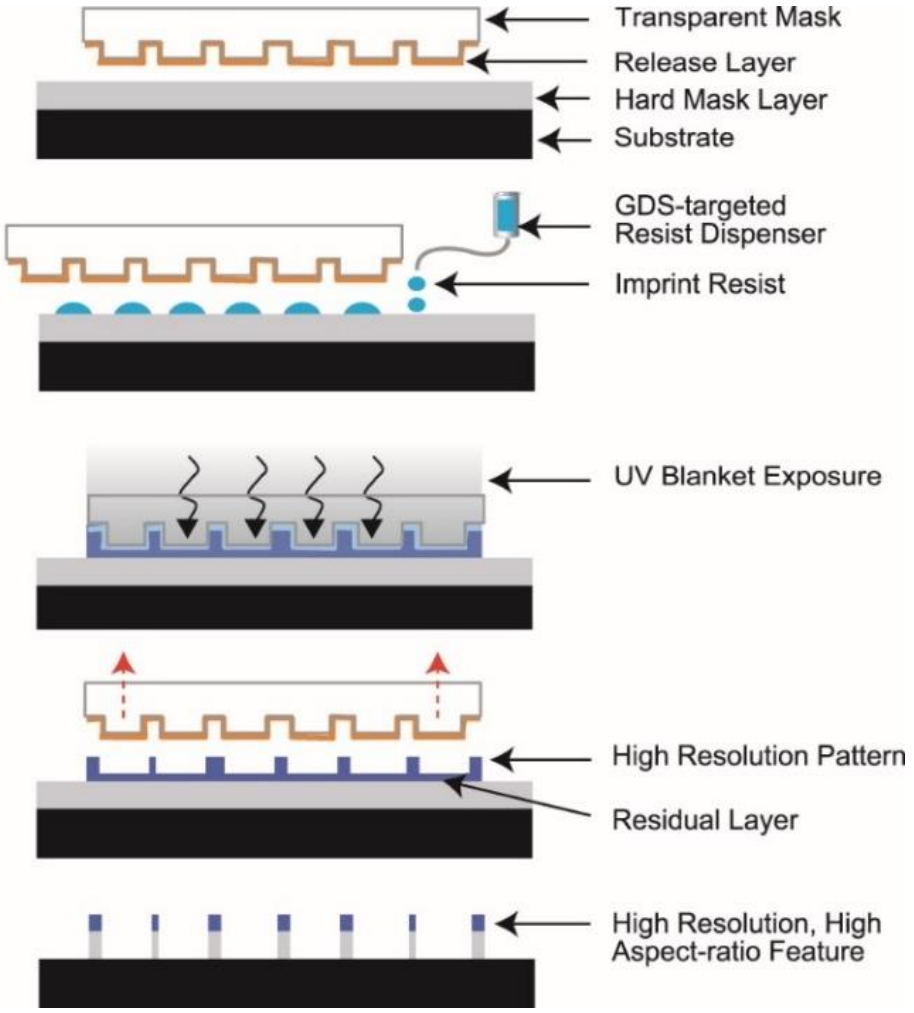


Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Hybride Prozessoptimierung

Imprint Lithographie

- Befüllung von nm-großen Strukuturen in der Halbleiterindustrie is kritisch und zeitaufwendig (kapillare Befüllung)
  - Geringer Durchsatz
  - Hohe Defektraten
- Lokalisiertes Ablegen von Fotolacken mitteln Inkjet (~1 pL Tropfen) → Schnellere Befüllung und geringere Defektraten

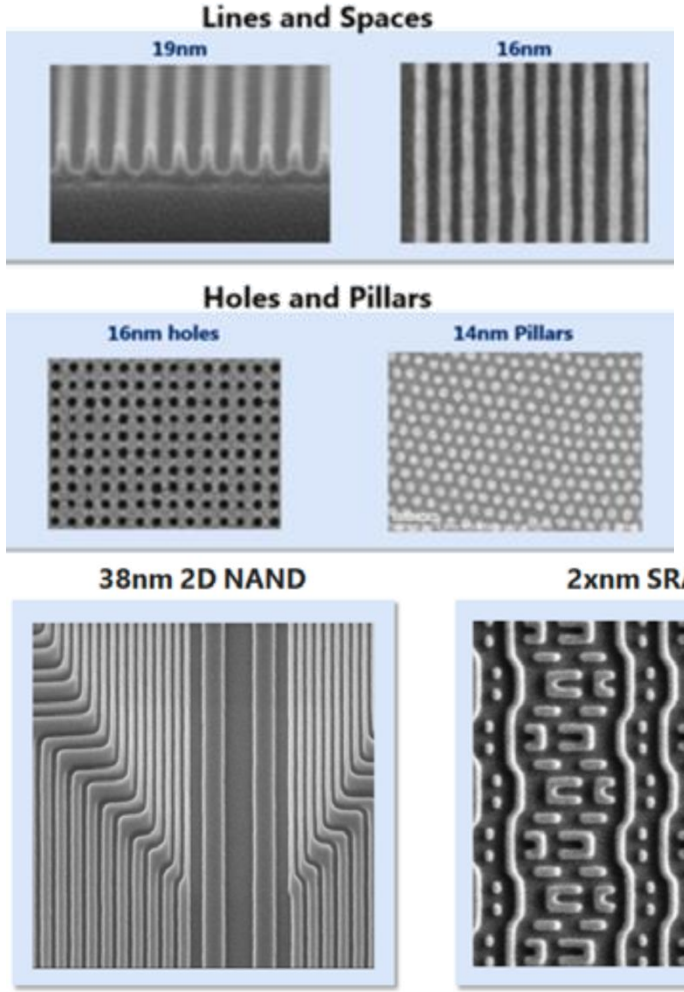


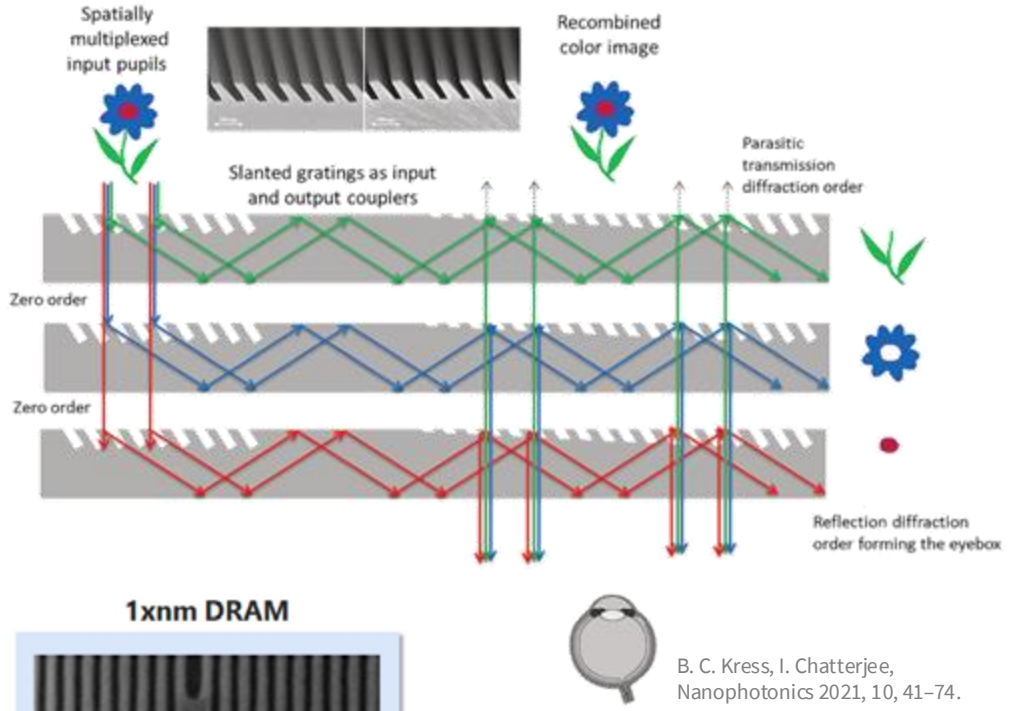
Quelle: Canon Nanotechnologies

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Hybride Prozessoptimierung

Imprint Lithographie





B. C. Kress, I. Chatterjee, Nanophotonics 2021, 10, 41–74.

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)

Asano et al., The Advantages of Nanoimprint Lithography for Semiconductor Device Manufacturing, Proc. of SPIE Vol. 11178, 2018.

Fazit

- **Print is not dead!**
- Neue Anwendungen weitab der klassischen grafischen Industrie → Drucktechnik ist ein **Fertigungsverfahren**
- Während Anwendungen bereits im Massenmarkt zu finden sind, ist das Optimierungspotenzial vor allem in den **Materialien** und **Prozessen** zu finden.



Quelle: TU Chemnitz, Apprecia

Ingo Reinhold, Department of Computer Science and Media
Leipzig University of Applied Sciences (HTWK)