

Vorlesung

Einführung in die keramische Hybridtechnik SS 2018

Dr. Lars Rebenklau,
Systemintegration und AVT
Abt. Hybride Mikrosysteme

Inhalt

Einordnung der Hybridtechnik

- Anwendungen, Anforderungen, ...
- Realisierungsvarianten keramischer Verdrahtungsträger

Materialien der Hybridtechnik

- Substrate / Pasten
- Druckformen

Prozess

- Siebdruck
- Thermische Prozesse

Technologie

- Einebenentechnik
- Mehrebenentechnik (cross over Technik, Komplementärdrucktechnik)

Multilayertechnik

Literaturempfehlungen zur Dickschichttechnik

Reichl: **Hybridintegration**

Hüthig Verlag Heidelberg; 1988

Hanke: **Hybridträger**

Verlag Technik Berlin; 1994

Jillek, Keller: **Handbuch der Leiterplattentechnik Bd. 4**

Leuze Verlag; 2004

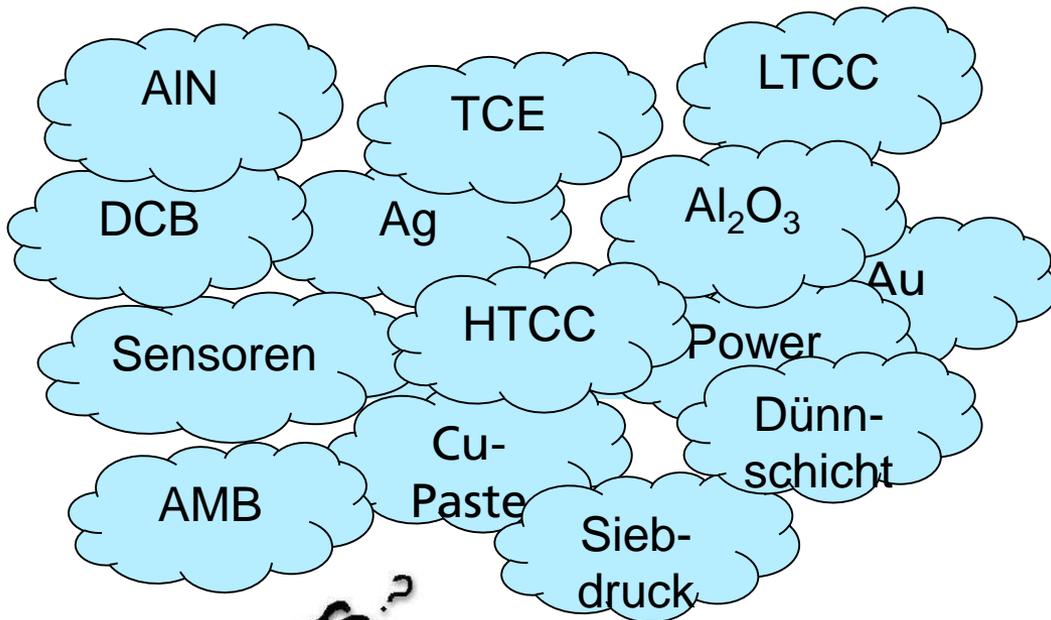
Schramm: **Einführung in die Rheologie und Rheometrie**

Gebr. Haake GmbH

Vorlesungsscript

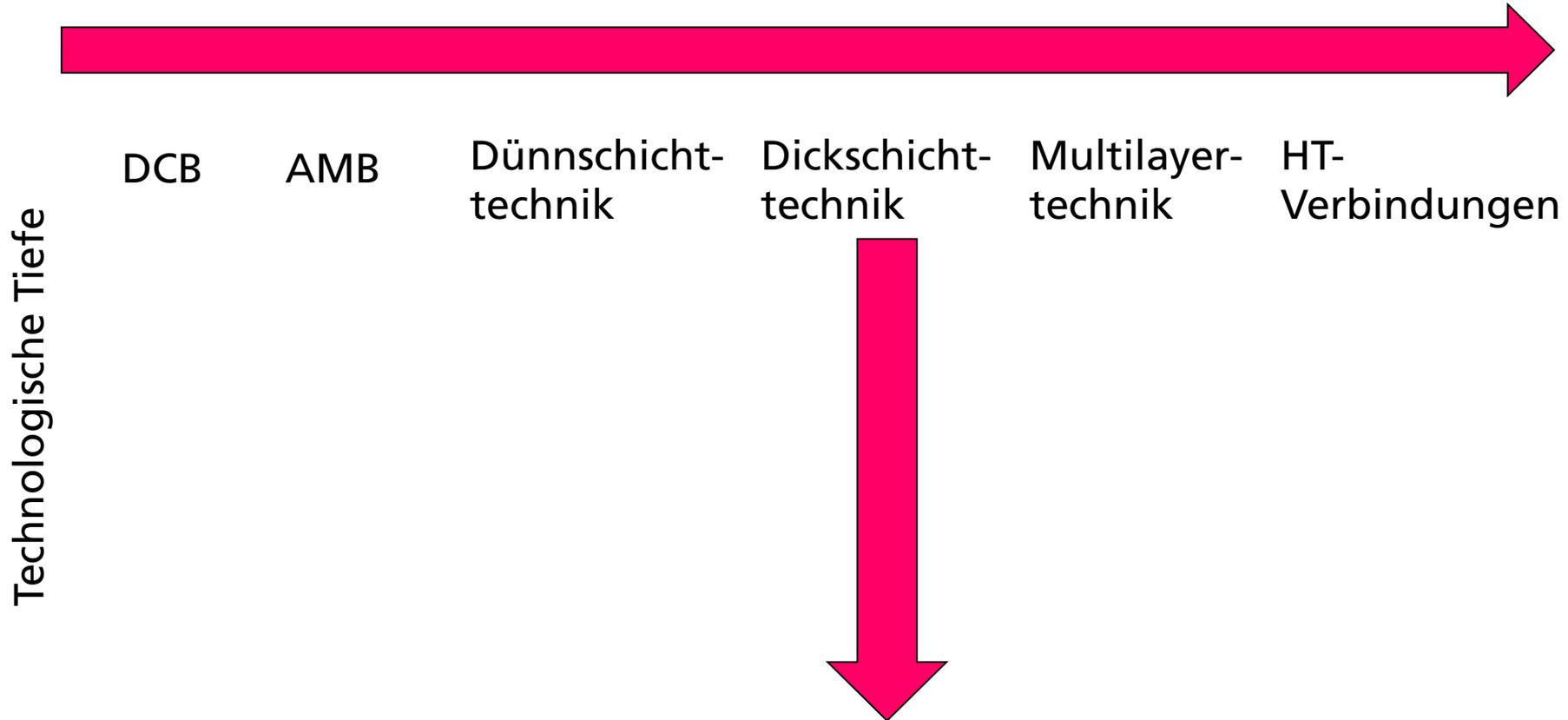
Einordnung der Hybridtechnik

Einordnung der Dickschichttechnik → Anwendung E-Technik



Plan für Heute

Keramische Technologien



Einordnung der Dickschichttechnik

„Dickschichttechnik: ... Integrierte Schichtschaltungen, bei denen die Schichten vorzugsweise im Siebdruckverfahren auf keramische Träger aufgebracht und anschließend eingebrannt werden“

Reichl: „Hybridintegration“ S.9

„Hybridintegration: ... Realisierung und Vereinigung von Bauelementen aus unterschiedlichen Materialien und Herstellungstechnologien auf einem gemeinsamen Substrat“

Reichl: „Hybridintegration“ S.8

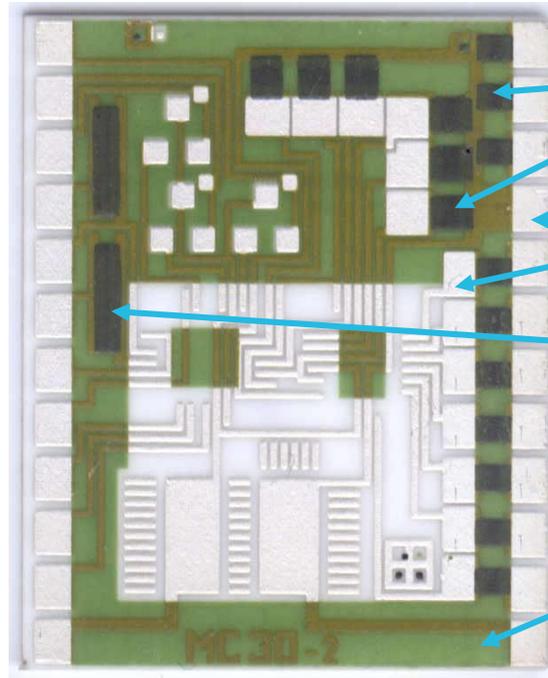
Was ist Dickschichttechnik ?

„keramische Leiterplatte“

Keramiksubstrat bedruckt mit Pasten eines Systems

Pasten eines Herstellers die untereinander kompatibel sind und die zusammen verarbeitet werden.

Bsp.: Praktikumsschaltkreis
TUD/IAVT



Widerstandspaste
(z.B. 100 Ω/□)

Leitpaste (z.B. AgPt-Paste)

Widerstandspaste
(z.B. 100 kΩ/□)

Abdeckpaste

Wesentliche Vorteile gegenüber Leiterplatte:

- Thermische Leitfähigkeit
- Angepasster TCR (Silizium – Keramik)
- Temperaturstabil
- Massentaugliche Fertigung möglich

Technologievergleich

Vergleichsgröße	SMT (Leiterplatte)	Dickschicht (Keramik)	Dünnschicht (Keramik)	Monolith (IC)
Miniaturisierungsgrad	-	+-	+	++
Einsatzmöglichkeiten	+	++	++	+-
Max. Verlustleistung	-	++	+-	-
Entwicklungszeit	++	+-	+	--
Zuverlässigkeit	-	+	+	++
Fertigungskosten, kl. Stückzahlen	++	+-	+	--
Fertigungskosten, mittl. Stückzahlen	+	+	+-	+-
Fertigungskosten, gr. Stückzahlen	-	+	-	++
Invest und Betriebskosten	++	+	-	--

Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018

++, sehr gut, ..., -- sehr schlecht, sehr ungünstig

Quelle: Reichl, FhG IZM

Einordnung von Elektronikprodukten

„low cost“

- z.B. Smart Label, ...

Consumer

- MP3-Player, PC, Bildschirme,

...

Automobil

- Getriebesteuerung, ...

Luft- und Raumfahrt

- Steuergeräte, ...

Kraftwerks- und
Sicherheitstechnik

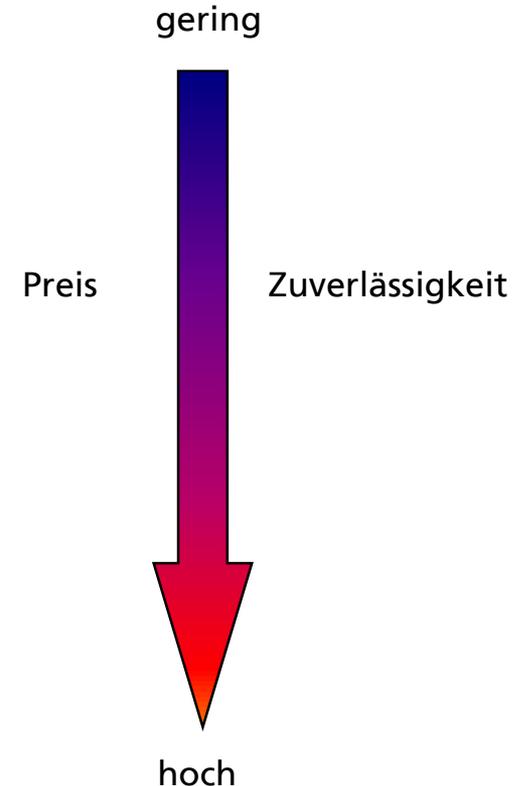
- Steuergeräte, ...

Medizintechnik

- Herzschrittmacher, ...

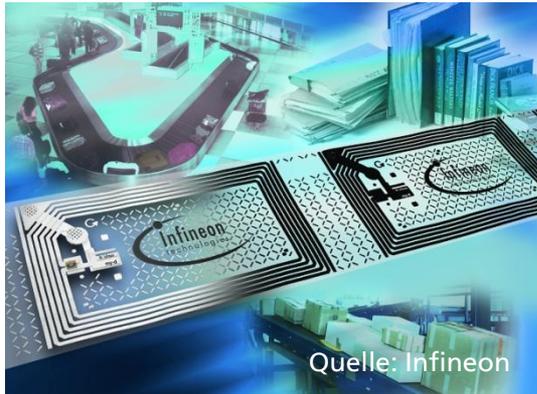
....

High
performance



Technologietreiber: „Preis“ -> „low cost“ Anwendungen

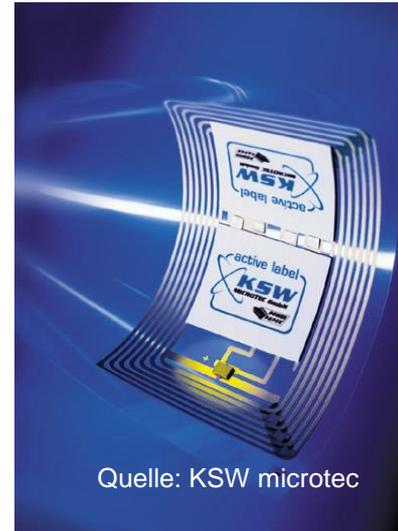
Polymerdickschichttechnik (PTF)



Quelle: Infineon

- Transport und Logistik
- Diebstahlskontrolle
- Milchtüte
- Fußball-WM-Karten

Quelle: Dr. M. Luniak; TUD IAVT

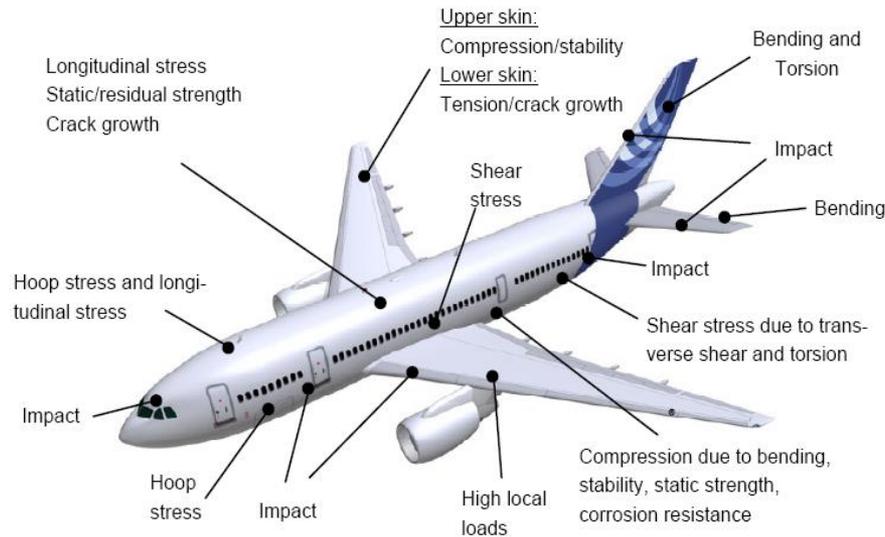


Quelle: KSW microtec

- Aktives Label
- Datenlogger mit gedruckter Batterie und Thermosensoren

Technologietreiber: „Einsatzgebiet und Volumen“

Loading of an airframe & Non-destructive testing



Non-destructive testing (NDT) is needed in order to ensure the integrity of the airframe.

Dr. Clemens Bockenheimer, Testing Technology - ESWNG

February 2006

Page 2

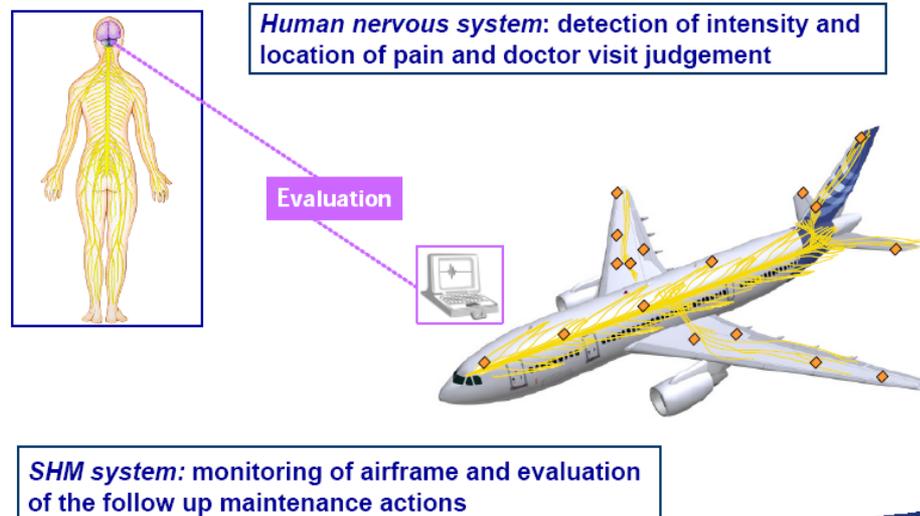


Quelle: Google; Suchworte: SHM+ Airplane

Technologietreiber: „Einsatzgebiet und Volumen“

Structural Health Monitoring (SHM)

SHM as aspect of Airbus 'intelligent' airframe



Dr. Clemens Bockenheimer, Testing Technology - ESWNG

February 2006

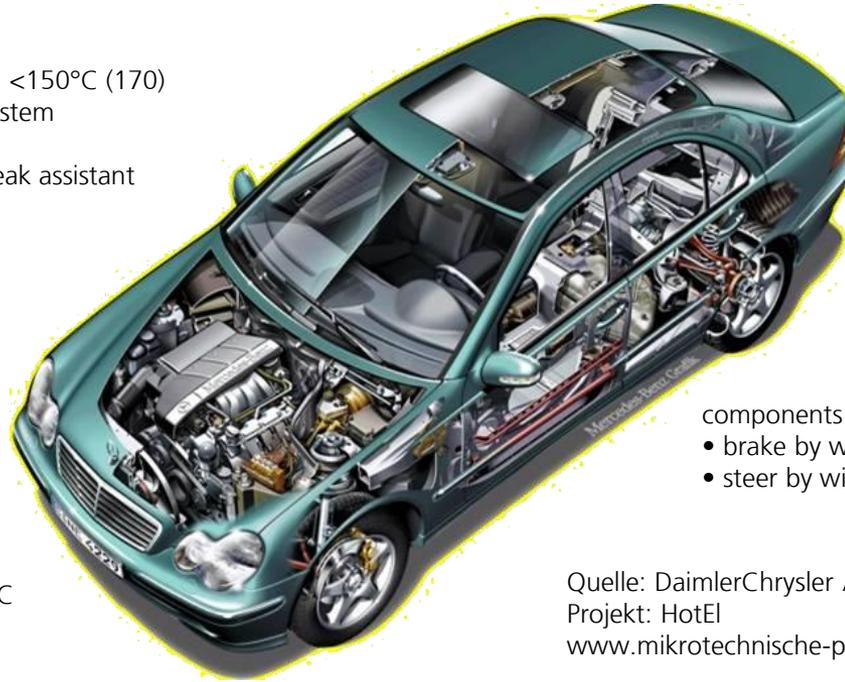
Page 3



Quelle: Google; Suchworte: SHM+ Airplane

Technologietreiber: „Einsatzbedingungen“ -> Bsp.

Automobilelektronik



- around engine: <math><150^{\circ}\text{C}</math> (170)
- propulsion system
 - gear control
 - electronic break assistant

- passenger cell: 85°C (up to 105°C)
- navigation system
 - comfort functions
 - cruise control
 - safety systems

- components near wheel: <math><300^{\circ}\text{C}</math>
- brake by wire
 - steer by wire

engine, gear: <math><200^{\circ}\text{C}</math>

Quelle: DaimlerChrysler AG
Projekt: HotEl
www.mikrotechnische-produktion.de

Steuergeräte für Kfz



BMBF – Verbundprojekt
„Innovative Produktionsprozesse für die Hochtemperatur-Elektronik“

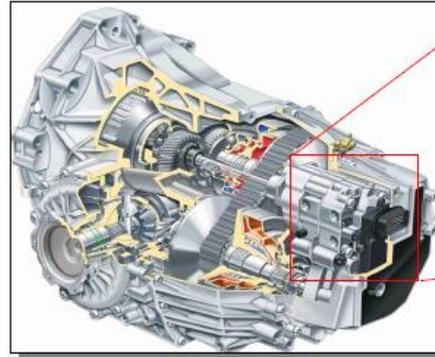


Mechatronik-Lösungen in Hybridtechnik

Wie alles begann:
Variomatic
DAF, 1958



Stufenloses Automatikgetriebe
multitronic
Audi, 2001



CVT-Mechatronik
Hytronic
LuK, Conti Temic, 2001



The Fan



Tilo Liebl
Conti Temic microelectronic GmbH



12. Workshop Mikrotechnische Produktion
27. und 28.04.2004, Dresden

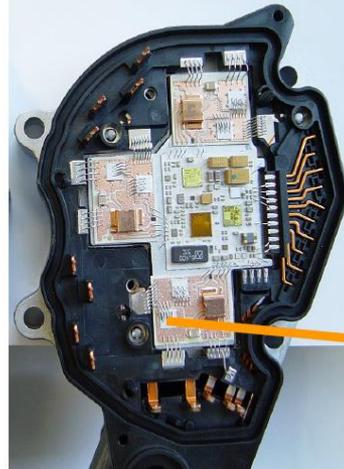
3

Einsatzgebiet Kfz-Elektronik

Applikation KFZ-Elektronik Steuergerät in Hybridtechnik
Achspareller Antrieb, (Servolenkung) mit LTCC und
DBC-Keramik

ZVEI:

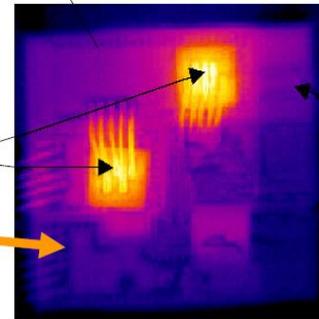
Elektrische Servolenkung



Aktive Pulslasten 150A und
abgesicherter Grenzbetrieb

120°C

195°C



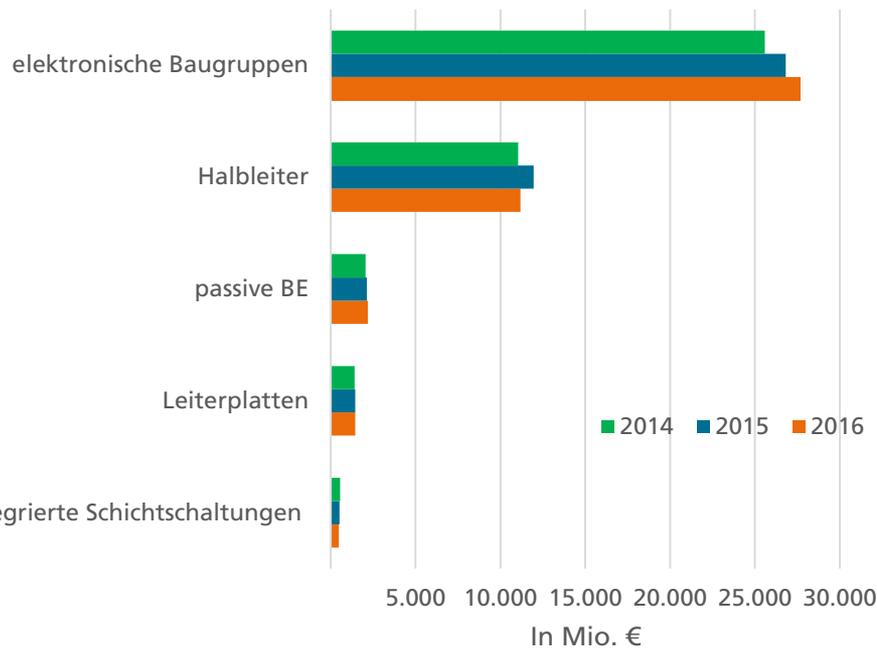
Quelle: Robert BOSCH GmbH

Fachverband
Electronic Components and Systems

23/11/06
Folie 12

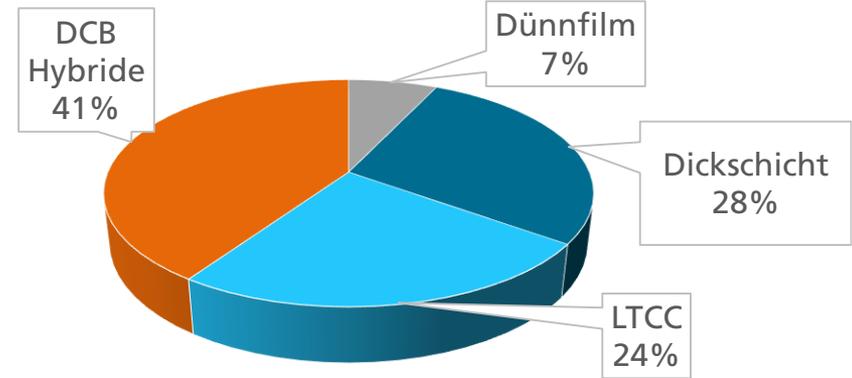
Einführung - Marktumfeld

Marktvolumen Deutschland



Quelle für Diagramme ZVEI Studie 2017

MARKTVOLUMEN ISS IN DEUTSCHLAND 2016 (475 MIO. €)



Industrie:

Dominanz von Großfirmen
Zunehmend weniger KMU

Forschung:

Verschiedene Gruppen und Institute der FhG sowie verschiedener Universitäten

Einordnung nach Metallisierungsstrukturierung

Keramische
Verdrahtungsträger

DCB

AMB

DüS-
Technik

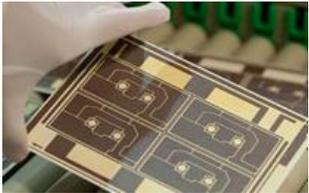
DiS-
Technik

Multilayer-
technik

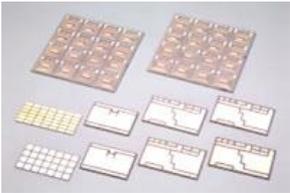
HTCC

Transfer
Tape
Technik

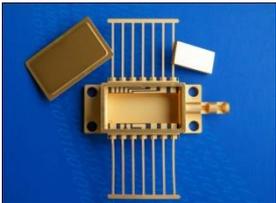
LTCC



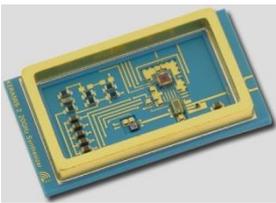
Quelle: curamic



Quelle: Toshiba



Quelle: STREAMTEK



Quelle: IMST

Einordnung nach Metallisierungsstrukturierung

Keramische
Verdrahtungsträger

HT-
verbindungen

DCB

AMB

Düs-
Technik

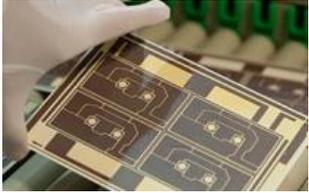
DiS-
Technik

Multilayer-
technik

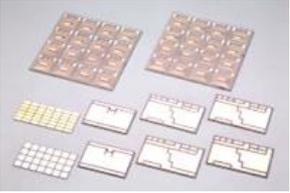
HTCC

Transfer
Tape
Technik

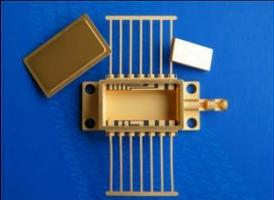
LTCC



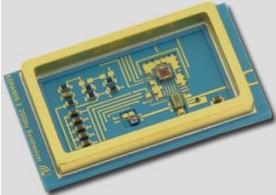
Quelle: curamic



Quelle: Toshiba



Quelle: STREAMTEK



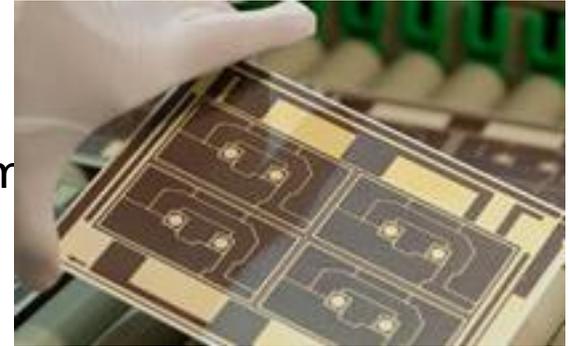
Quelle: IMST

Direct Copper Bonding

Substrate für Power-Elektronik

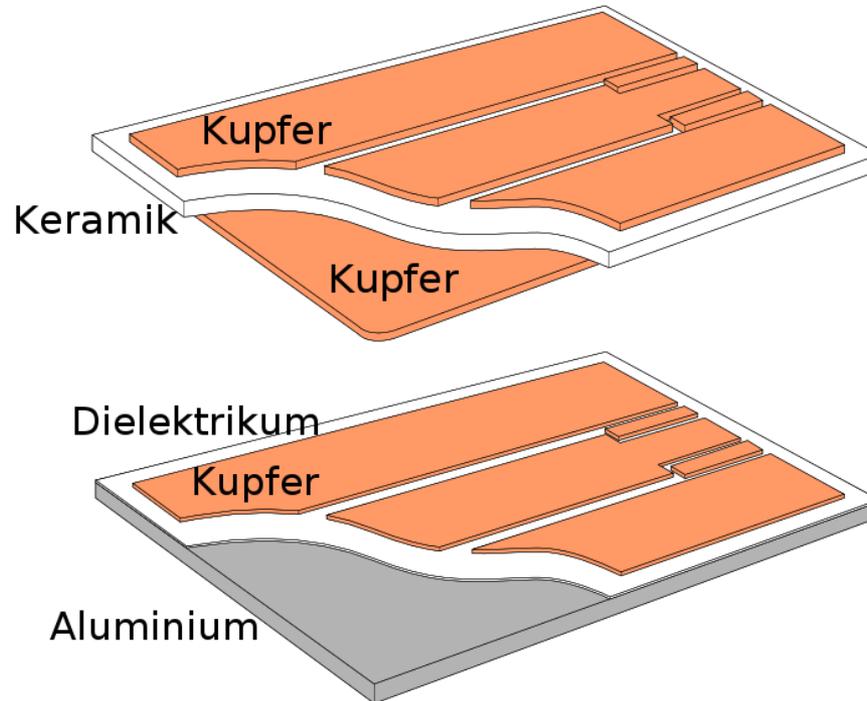
Basis: gebrannte Substrate aus Al_2O_3 , AlN , ...
Metallisierung: Kupferfolien (einige (10 ... 100) μm)

Vorteile: hohe Wärmeleitfähigkeit
hohe Leiterzughöhen

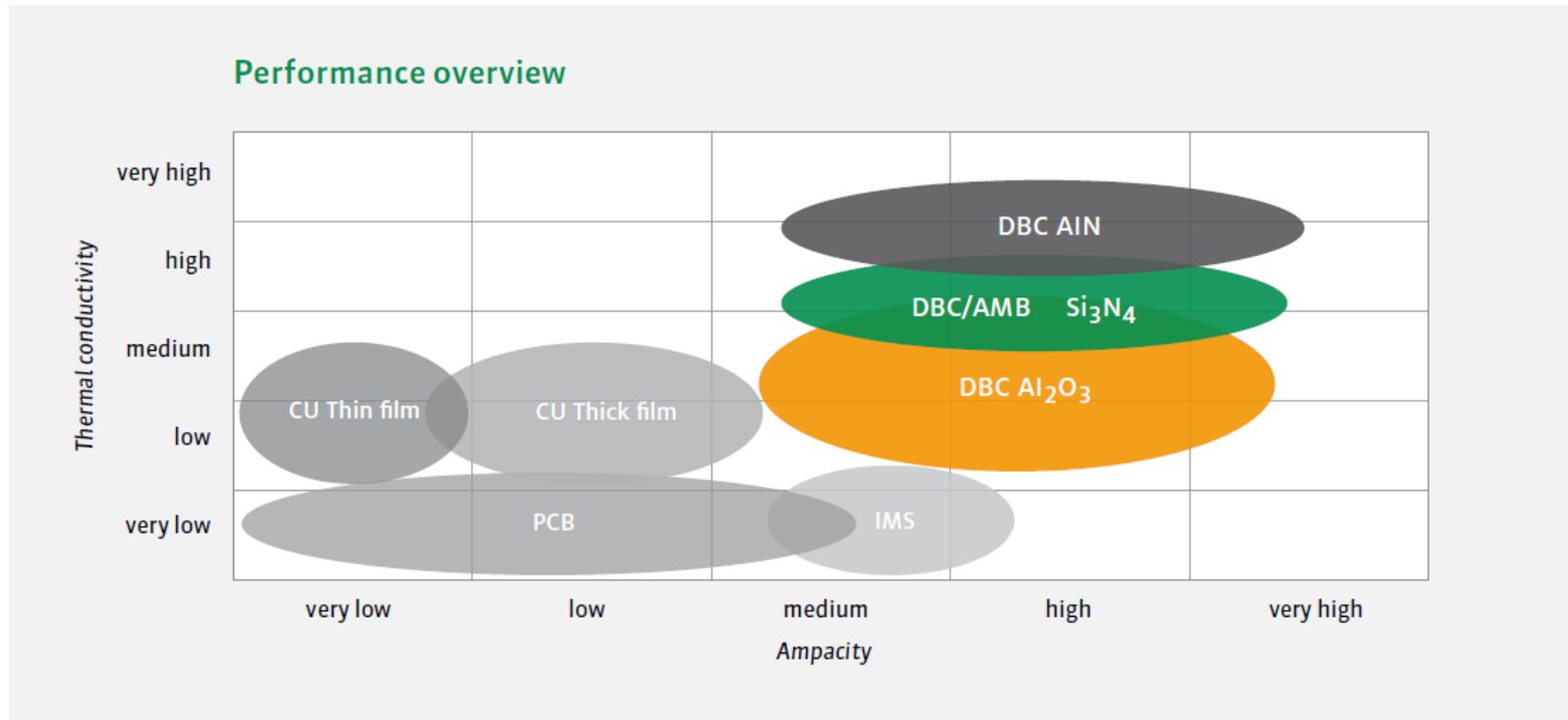


Bei der Herstellung von Kupfer-Keramik-Verbindungen wird Kupfer mit Sauerstoff verbunden, wodurch der Schmelzpunkt von Kupferoxid (Cu_2O) wesentlich unter den von reinem Kupfer sinkt. Das mit Kupfer beschichtete Kupferoxid wird als dünne Kupferfolie auf die Keramikoberfläche gelegt und in einer Schmelze erhitzt. Bei der Schmelze fügt sich die untere Seite der Kupferfolie, die aus Kupferoxid besteht, metallurgisch mit der Keramikoberfläche zusammen. In die Kupferoberfläche können durch Ätztechniken Strukturen ausgeätzt werden und so auf dem Keramiksubstrat Leiterbahnen gebildet werden.

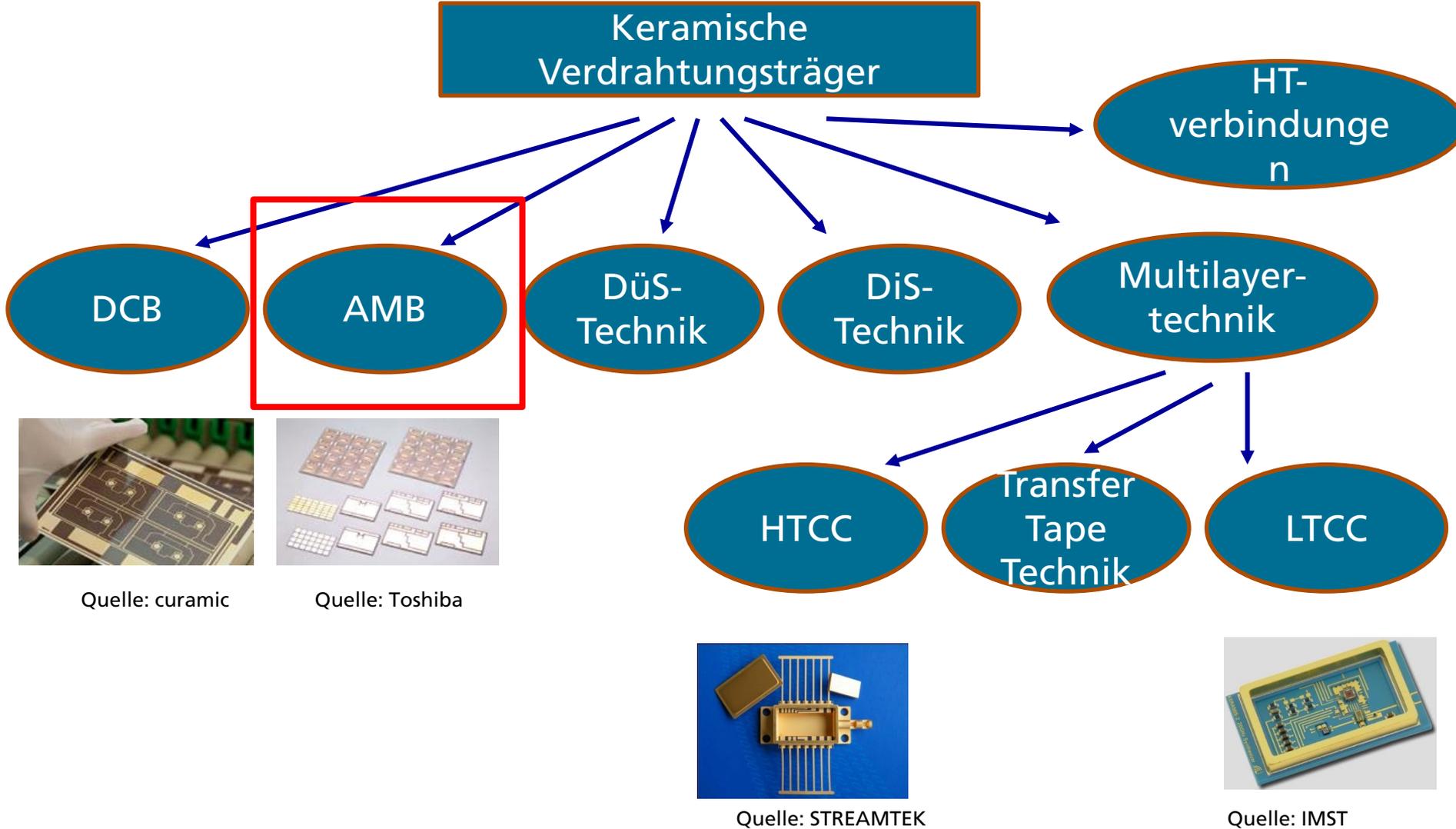
Direct Copper Bonding



Vergleich DCB



Einordnung nach Metallisierungsstrukturierung

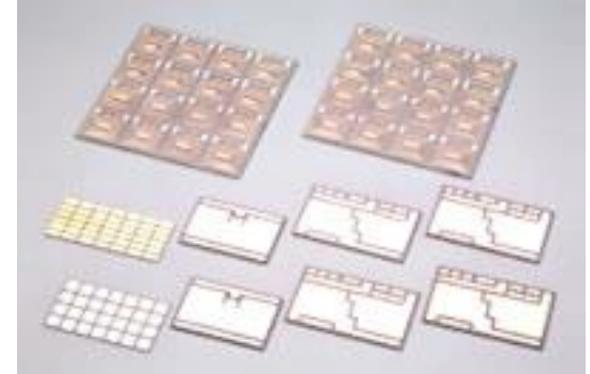


AMB active metal brazing

Substrate für Power-Elektronik

Basis: gebrannte Substrate aus Si_3N_4 , AlN , ...

Metallisierung: Kupferfolien (einige (10 ... 100) μm)



Vorteile: hohe Wärmeleitfähigkeit

hohe Leiterzughöhen

Fügungen mit Hochtemperatur Metallloten

Metall-Keramik-Verbunde

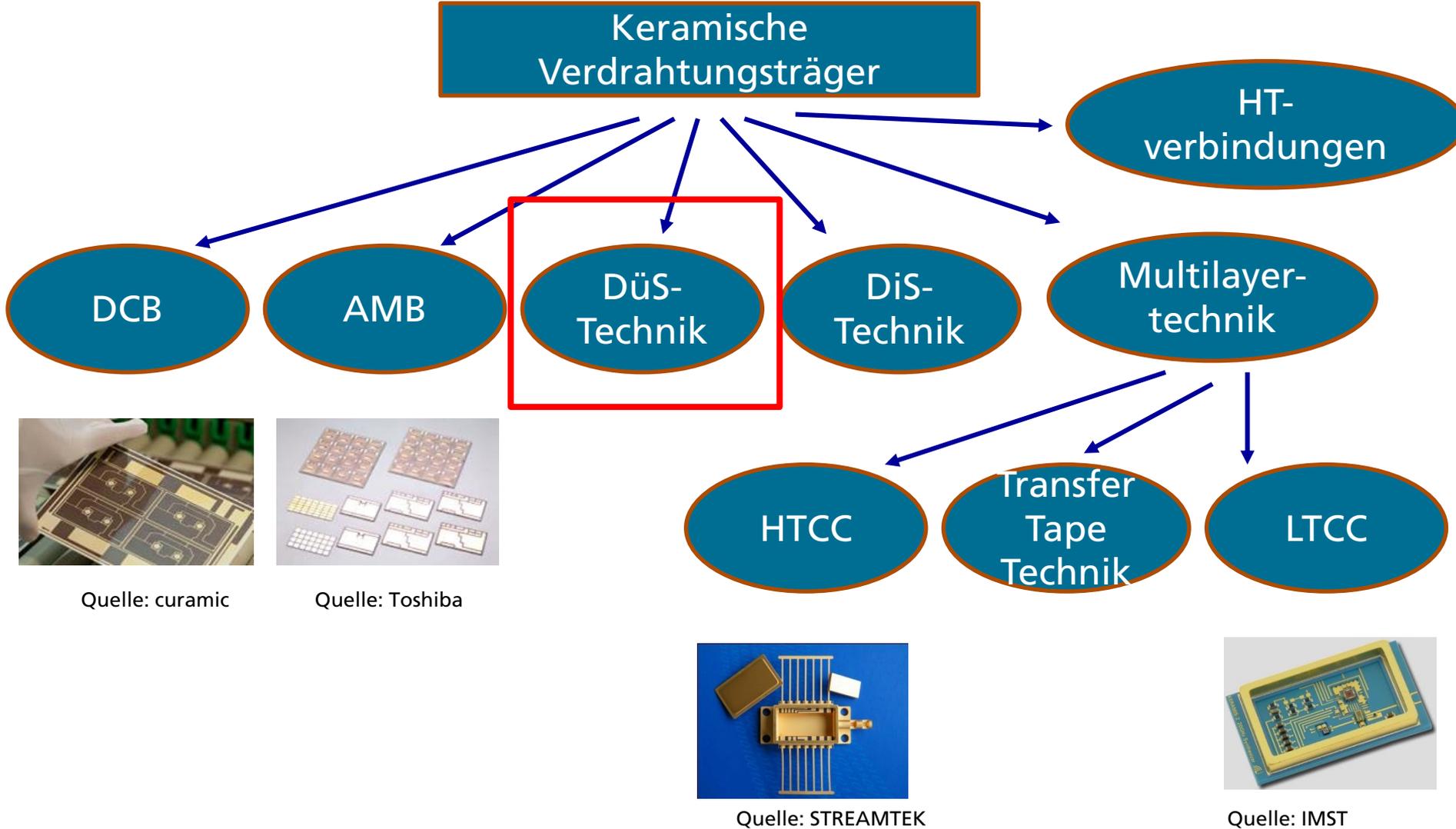
→ Ausnutzung duktiler Eigenschaften, um unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten zu überbrücken

Benetzung und Anbindung der Metalllote an keramische Oberflächen **über Aktivphase** (Ti oder Zr) im Lot oder über eine separate Metallisierung (Mo-Mn-Dickschichtmetallisierung)

Tabelle 1 • Physikalische Eigenschaften von Al₂O₃, AlN und Si₃N₄ im Vergleich [1-2]

Kennwerte	Al ₂ O ₃	AlN	Si ₃ N ₄
Wärmeleitfähigkeit (λ) / W/m·K	25 ±4	180 ±10	85 ±10
Elektrischer Isolationswiderstand / $\Omega \cdot \text{cm}$	>10 ¹³	>5 · 10 ¹²	>10 ¹²
Durchschlagfestigkeit / kV·mm ⁻¹	≥20	>20	≥15
Dielektrizitätszahl (ϵ_p) (bei 1 MHz)	9,9	8,6	8,4-8,5
Dielektrischer Verlust ($\tan \delta$) (bei 1 MHz)	0,3 · 10 ⁻³	0,5 · 10 ⁻³	1,0 · 10 ⁻³
Biegebruchfestigkeit (σ_B) / MPa	>400	>300	>800
Elastizitätsmodul (E) / GPa	400	310	336
Wärmeausdehnungskoeffizient (α) / 10 ⁻⁶ ·K ⁻¹			
RT ... 100 °C	6,9	3,6	
RT ... 1000 °C	8,3	5,6	3,0-3,5
Thermoschockbeständigkeit	+	+++	+++
Metallisierbarkeit	+++	+++	+
Temperaturbeständigkeit	sehr hoch	sehr hoch	hoch

Einordnung nach Metallisierungsstrukturierung



Dünnschichttechnik

Substrate für HD und Power-Elektronik

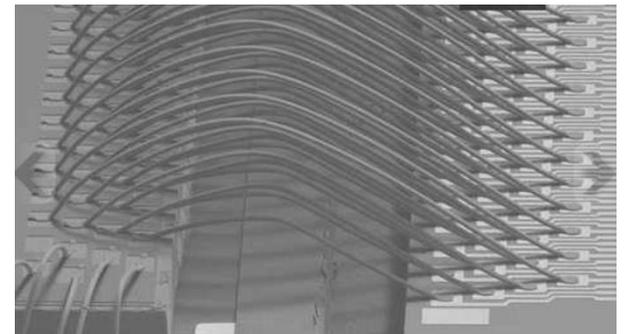
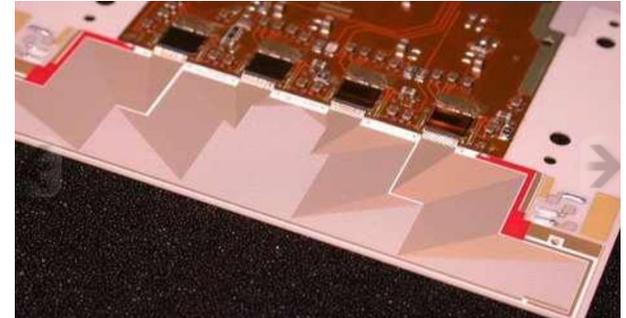
Basis: gebrannte Substrate aus Al_2O_3 ,
 AlN , LTCC, ...

Metallisierung: Abgeschiedene Schichten
bis $1 \mu\text{m}$ Dicke

Vorteile: hohe Wärmeleitfähigkeit
hohe Leiterzughöhen

Besonderheiten:

Abfolge von Schichtabscheidung und
Schichtstrukturierung



Quelle: www.cicor.com

Vakuumbeschichtungsverfahren

	Aufdampfen	Sputtern	Chem. Schichtabscheidung (CVD)
Prozesscharakteristik	Kondensation thermisch verdampfter Teilchen	Kondensation zerstäubter Teilchen	Kondensation von Reaktionsprodukten aus der Gasphase
Druckbereich (Pa)	$<10^{-2}$	$10^{-2} \dots 10$	$1 \dots 10^3$
Kondensationsrate (nm/min)	$10^2 \dots 10^4$ (konventionell) $10^3 \dots 10^6$ (Elektronenstrahl)	$10 \dots 10^2$ (konventionell) $10^2 \dots 10^3$ (Hochratensputtern)	$10^2 \dots 10^4$

Auswahl von Substraten der Dünnschichttechnik und Eigenschaften

Substratmaterial	Temperaturkoeffizient (ppm/K)	Wärmeleitfähigkeit (W/mK)	Relative Dielektrizitätskonstante
Si	2,7-3,5	75-150	11,7
Al	22-24	238	
Cu	17	400	
Al ₂ O ₃	6,5	27	9
AlN	4,1	175-200	8,5
BeO	8	250	6,7
SiC	3,7	270	40
Borosilikatglas	3,2	1,2	4,6

Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018

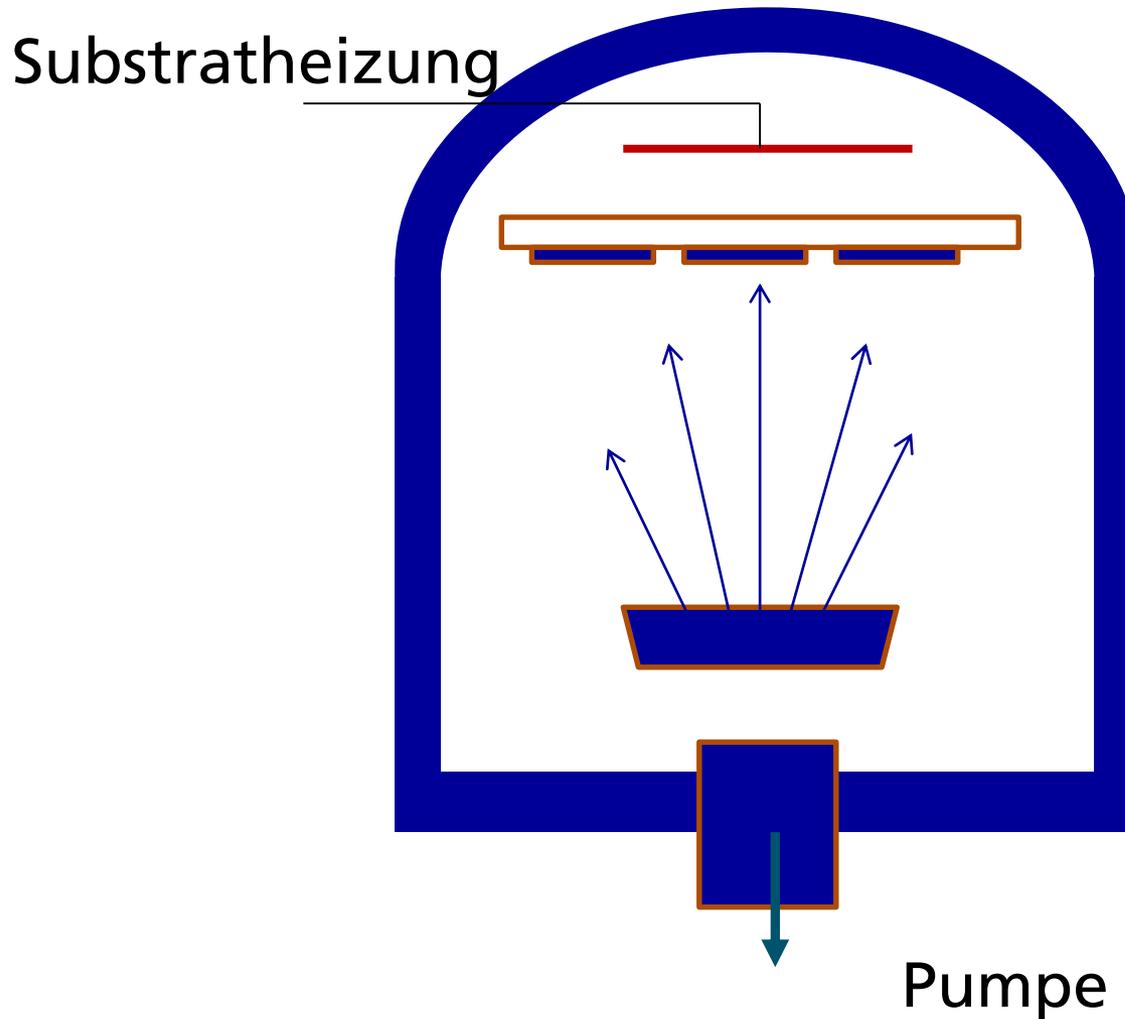
Quelle: Reichl, FhG IZM

Auswahl von Materialien der Dünnschichttechnik und Eigenschaften

Metall	Spez. Widerstand ($\mu\Omega\text{cm}$)	Auftragsverfahren	Funktionsschicht	Löten/Bonden
Gold	2,35	Sputtern, Verdampfen, chem. Abscheiden, Galvanik	Leitschicht	Löten, Bonden
Kupfer	1,67	Sputtern, Verdampfen, chem. Abscheiden, Galvanik	Leitschicht	Löten
Aluminium	2,65	Sputtern, Verdampfen	Leitschicht	Ball und Wedgebonden
Nickel	6,9	Sputtern, Verdampfen, chem. Abscheiden, Galvanik	Leit- und Löttschicht, Diffusionssperre	Löten
Palladium	10,75	Sputtern, Verdampfen, Galvanik	Leitschicht, Diffusionssperre	Löten
Nickel/Chrom		Sputtern	Widerstandsschicht, Haftschicht, Trennschicht	
Tantal		Sputtern	Widerstandsschicht	

Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018

Bedampfen



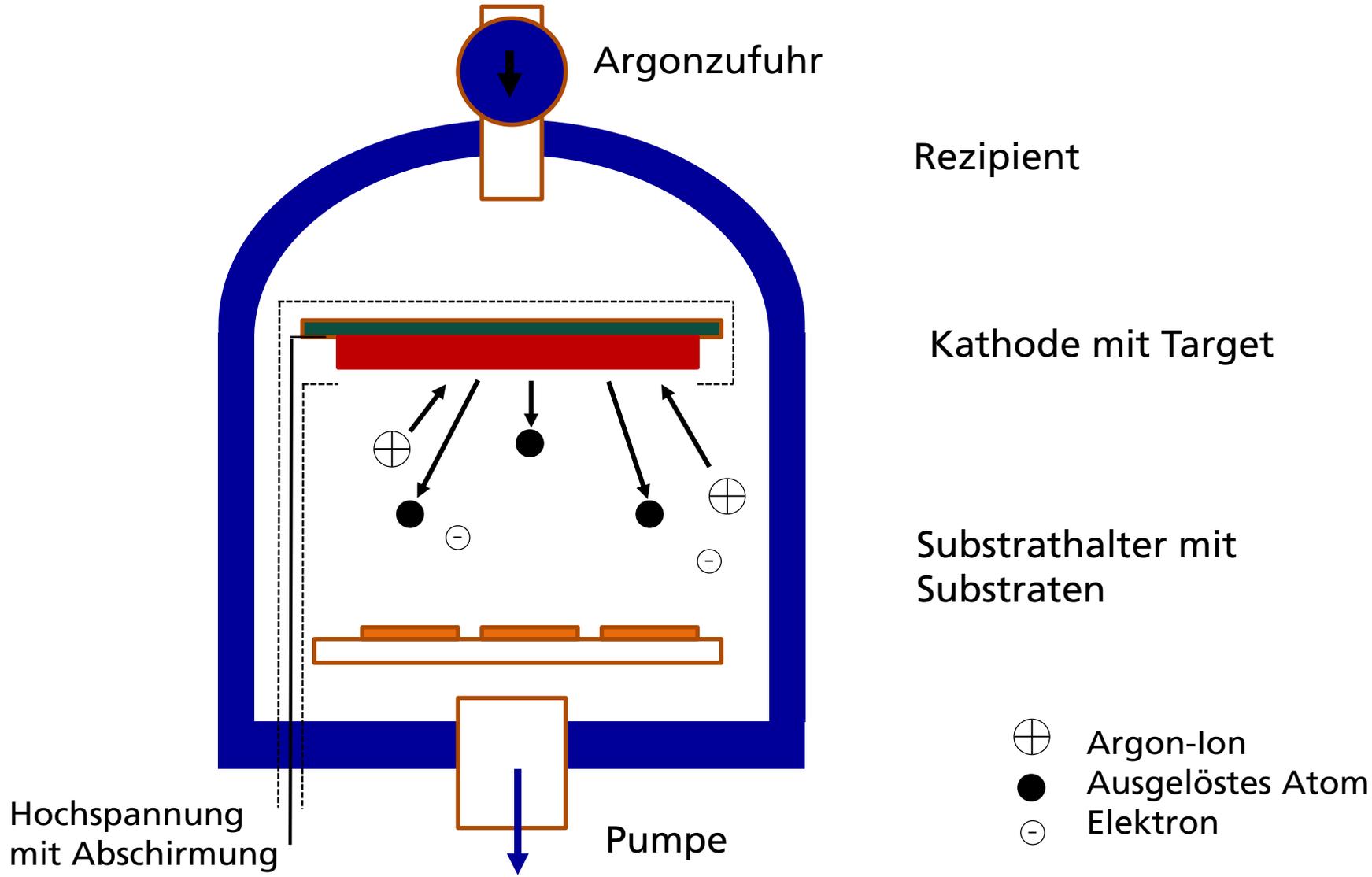
Rezipient

Substrathalter
mit
Substraten
Dampfstrom

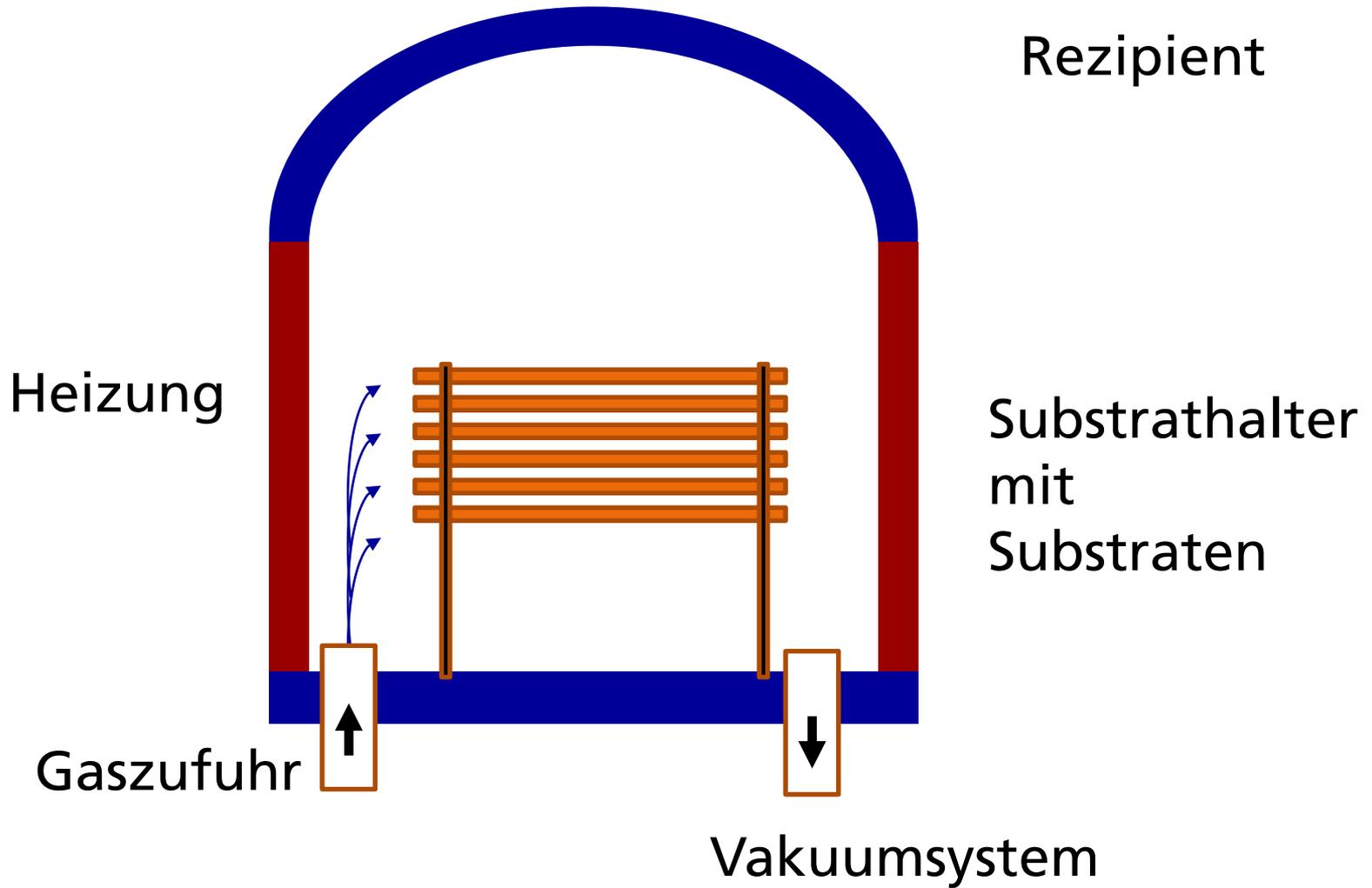
Verdampfer

Pumpe

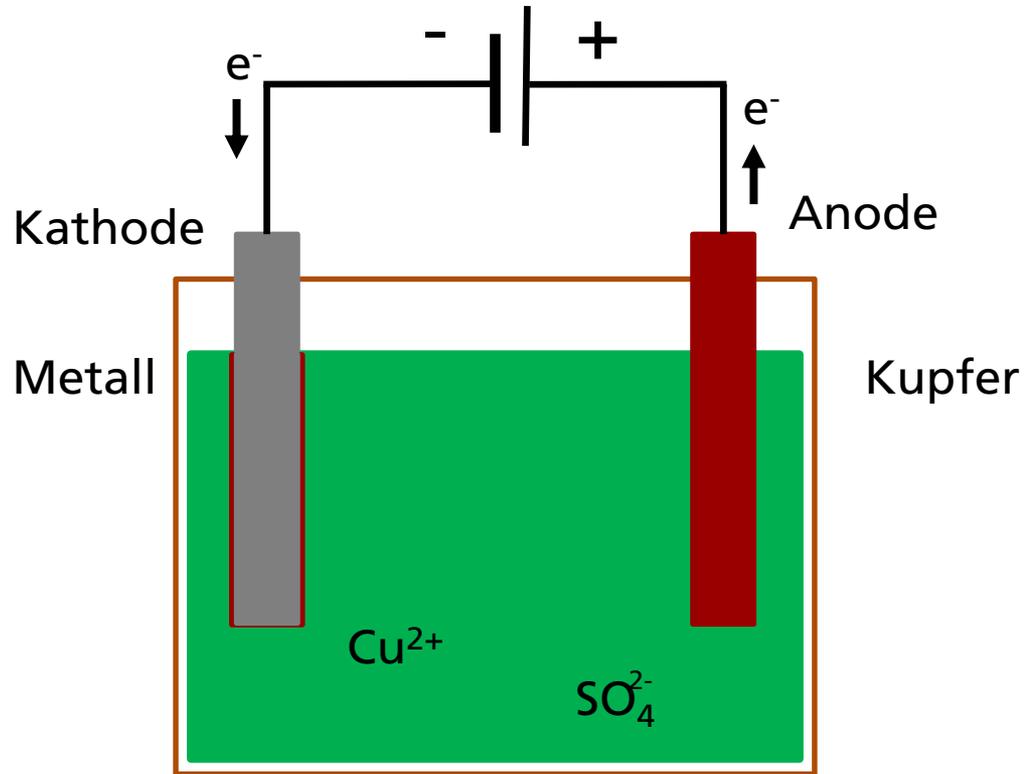
Sputtern



CVD



Galvanik (am Bsp. Kupfer)



Auswahl Elektrolytbäder

Beispiele:

[Aluminiumelektrolyte](#)

[Antimonelektrolyte](#)

[Bleielektrolyte](#)

[Bronzeelektrolyte](#)

[Cadmiumelektrolyte](#)

[Cobaltelektrolyte](#)

[Chromelektrolyte](#)

[Eisenelektrolyte](#)

[Goldelektrolyte](#)

[Indiumelektrolyte](#)

[Kupferelektrolyt](#)

[Manganelektrolyte](#)

[Messingelektrolyte](#)

[Nickelektrolyte](#)

[Nickel-Eisen-Elektrolyte](#)

[Palladiumelektrolyte](#)

[Platinelektrolyte](#)

[Rheniumelektrolyte](#)

[Rhodiumelektrolyte](#)

[Rutheniumelektrolyte](#)

[Silberelektrolyte](#)

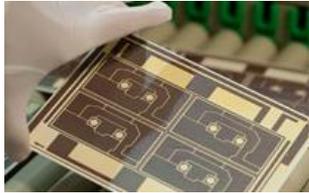
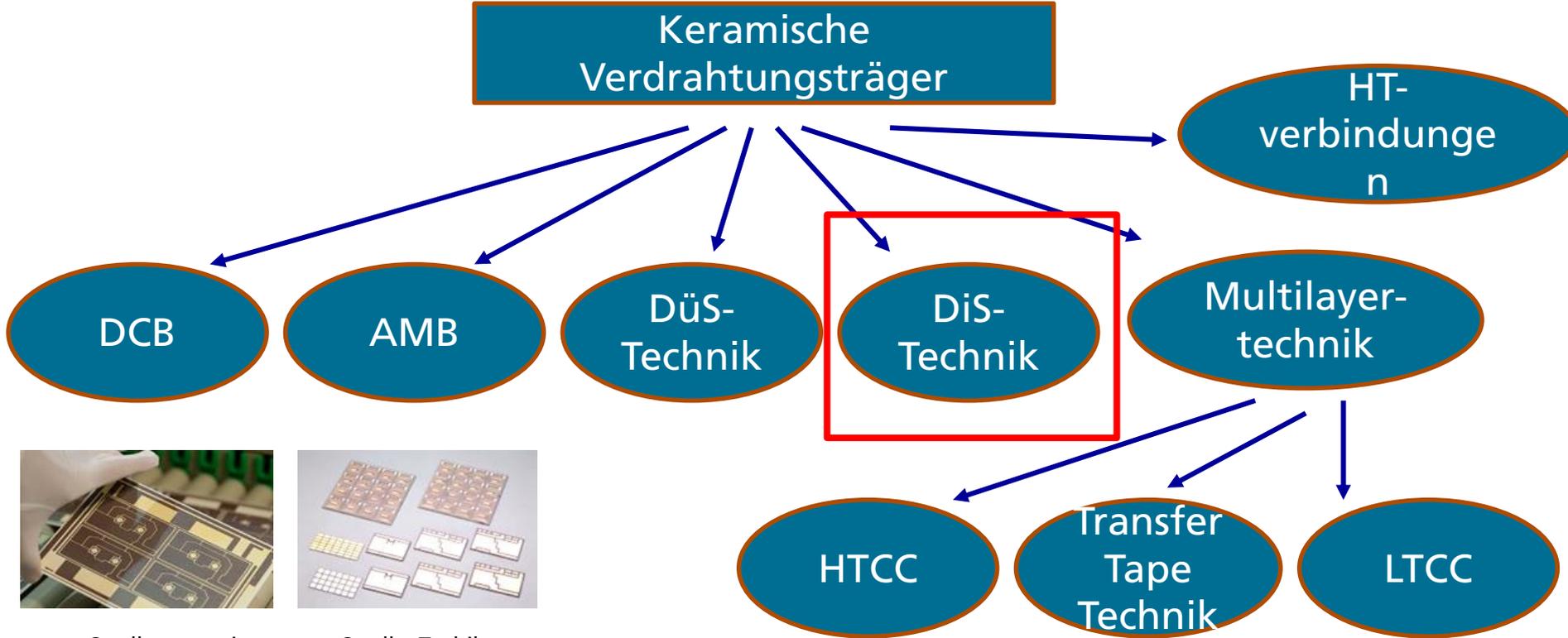
[Wismutelektrolyte](#)

[Wolframelektrolyte](#)

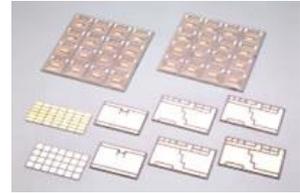
[Zinkelektrolyte](#)

[Zinnelektrolyte](#)

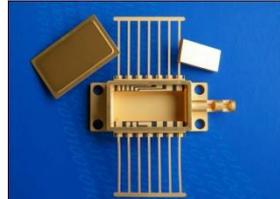
Einordnung nach Metallisierungsstrukturierung



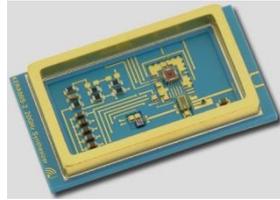
Quelle: curamic



Quelle: Toshiba



Quelle: STREAMTEK



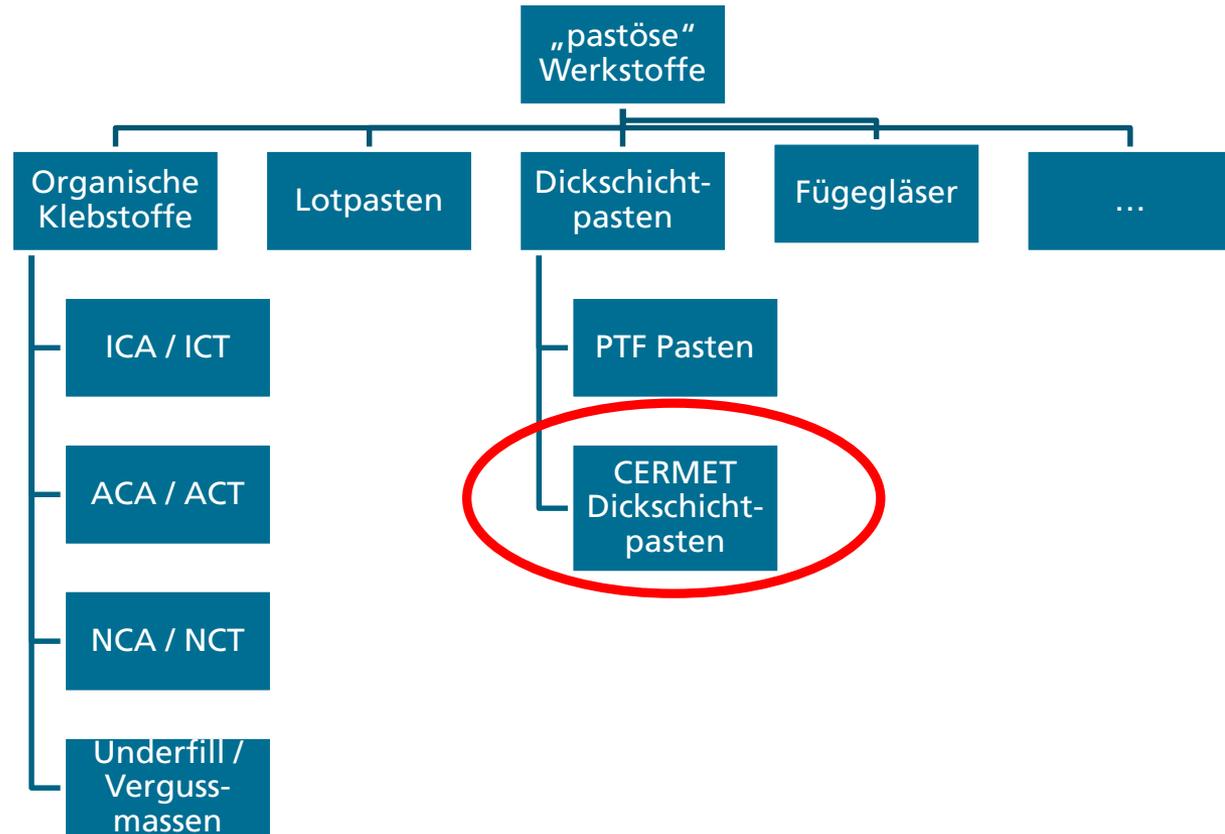
Quelle: IMST

Dickschichttechnik

Substrate für Logik und Power

Basis: gebrannte Keramiken oder Polymerträger

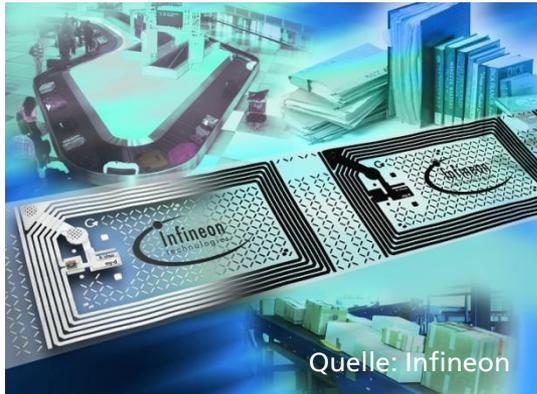
Schichtstrukturierung durch Drucken pastöser Werkstoffe und Einbrennen oder Härten der gedruckten Strukturen



Vergleich: CERMET-DiS - Polymer DiS

	Polymerdickschicht	CERMET Dickschicht	HT Sensorik
Prozess-temperatur	20 ... 200 °C	500 ... 1000 °C	1000 1600 °C
Arbeits-temperatur	RT ... <100°C	RT ... 150 °C	400 ... 900°C
Prozess-zeiten	5 sec ... 30min	30 ... 120 min	h ... d
Matrix	Epoxydharz, Silikon	Glas, Glaskeramik	Keramik
Bindungs-mechanismen	Polyaddition, Polykondensation	Sintern	Sintern
Substrat-materialien	PVC, PET, FR4, Papier	Glas, Keramik, Stahl	Keramiken/Stahl

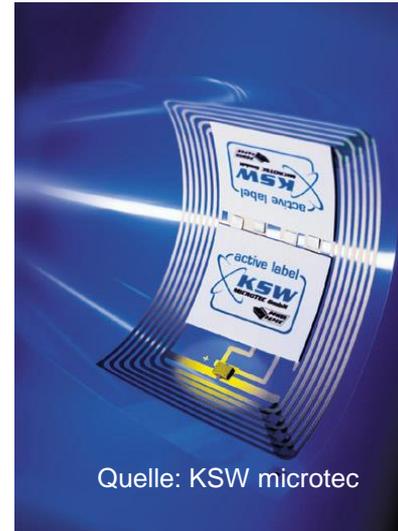
Polymerdickschichttechnik (PTF)



Quelle: Infineon

- Transport und Logistik
- Diebstahlskontrolle
- Milchtüte
- Fußball-WM-Karten

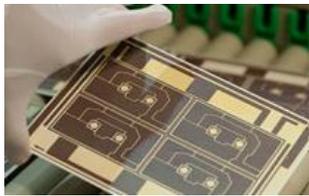
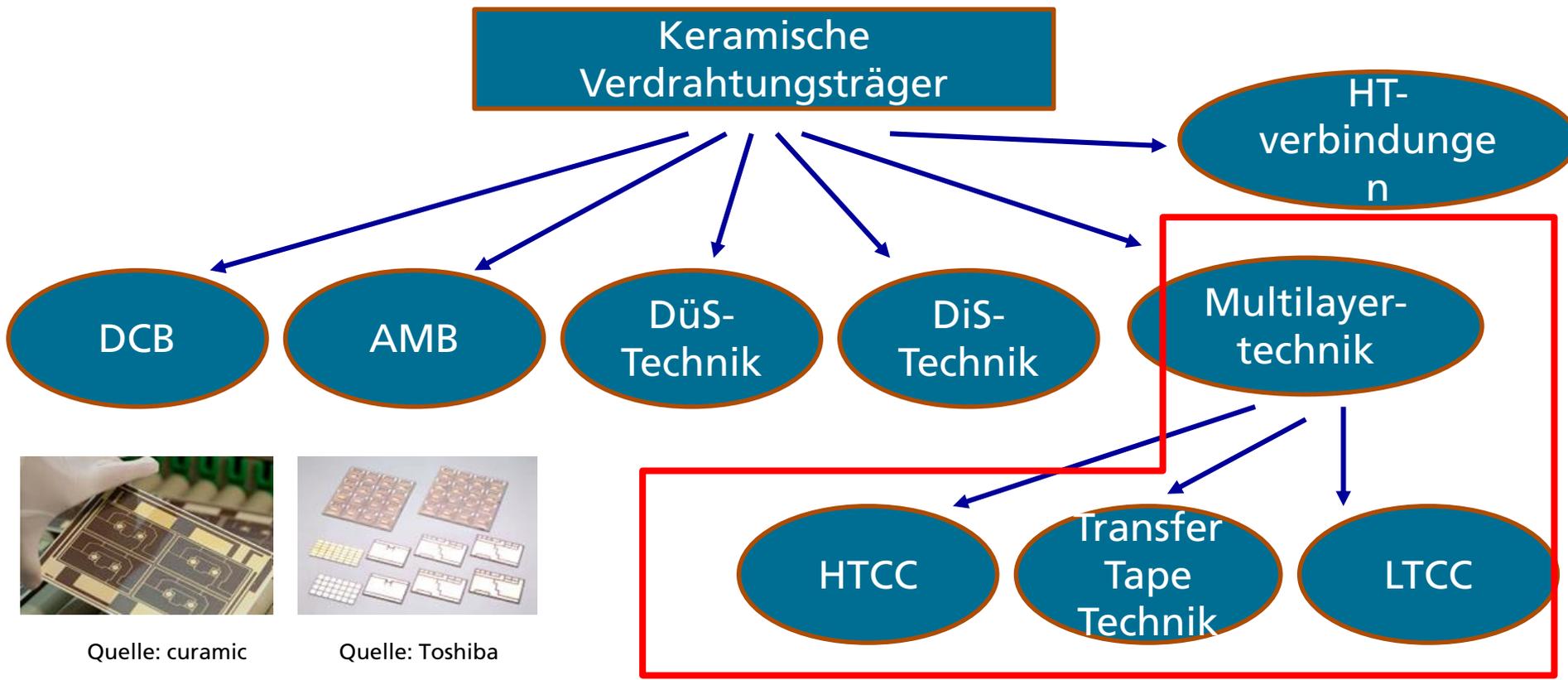
Quelle: Dr. M. Luniak; TUD IAVT



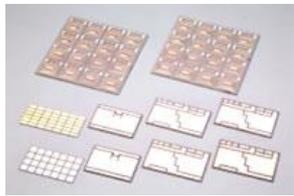
Quelle: KSW microtec

- Aktives Label
- Datenlogger mit gedruckter Batterie und Thermosensoren

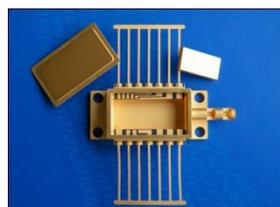
Einordnung nach Metallisierungsstrukturierung



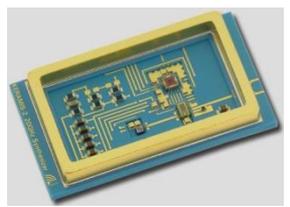
Quelle: curamic



Quelle: Toshiba



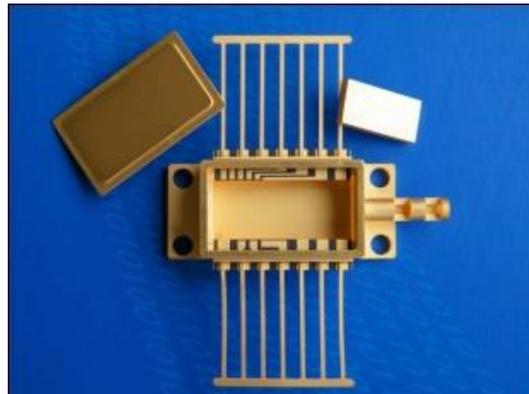
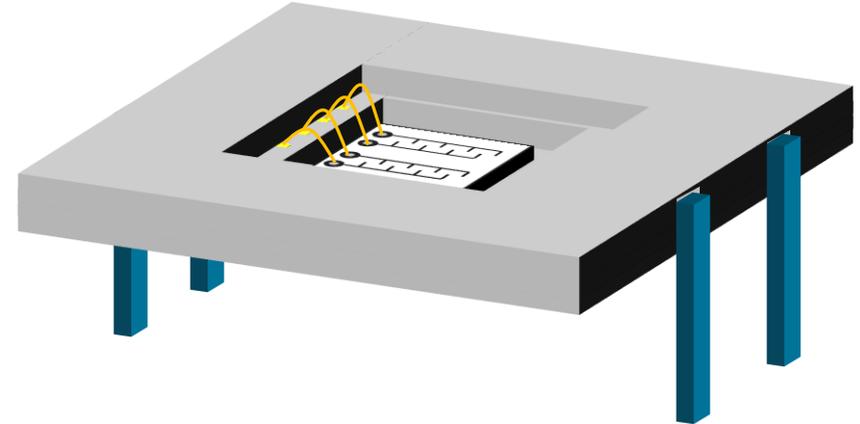
Quelle: STREAMTEK



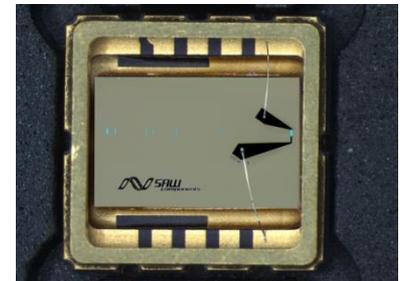
Quelle: IMST

Applikationen Multilayertechnik

- Sensoren
- Verdrahtungsträger mit hoher Wärmeleitfähigkeit und Integrationsdichte
- Hermetisch dichte Gehäuse



Quelle: STREAMTEK



Quelle Bild: saw components

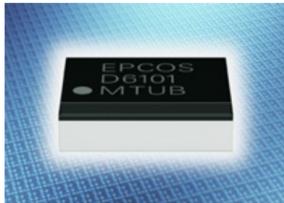
Applikationen Multilayertechnik



COMPONENTS

YOUR DIRECT LINK TO EPCOS

Products & Technologies



LTCC-Module

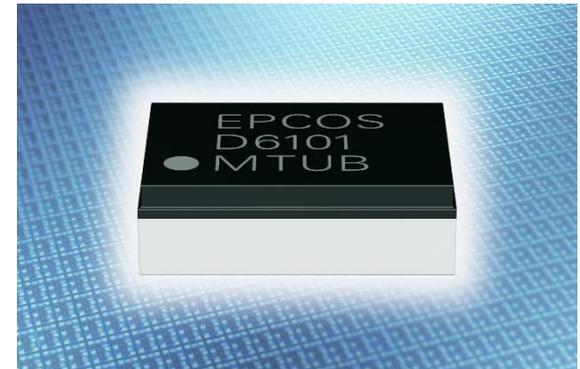
Januar 2008

Weltweit kleinstes Frontend-Modul für WLAN und Bluetooth

Das weltweit kleinste All-in-one Frontend-Modul für Bluetooth- wie auch WLAN-Applikationen nach dem Standard 802.11 b/g/n hat EPCOS jetzt entwickelt. Bei einer Bauhöhe von 1,4 mm benötigt es nur noch eine Fläche von 4,5 x 3,2 mm² auf der Leiterplatte. Das Modul integriert den WLAN-Power-Amplifier, den WLAN-Bluetooth-Schalter, einen Receive-Balun sowie

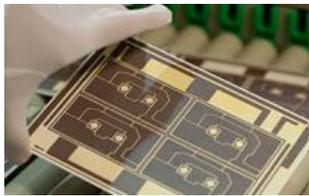
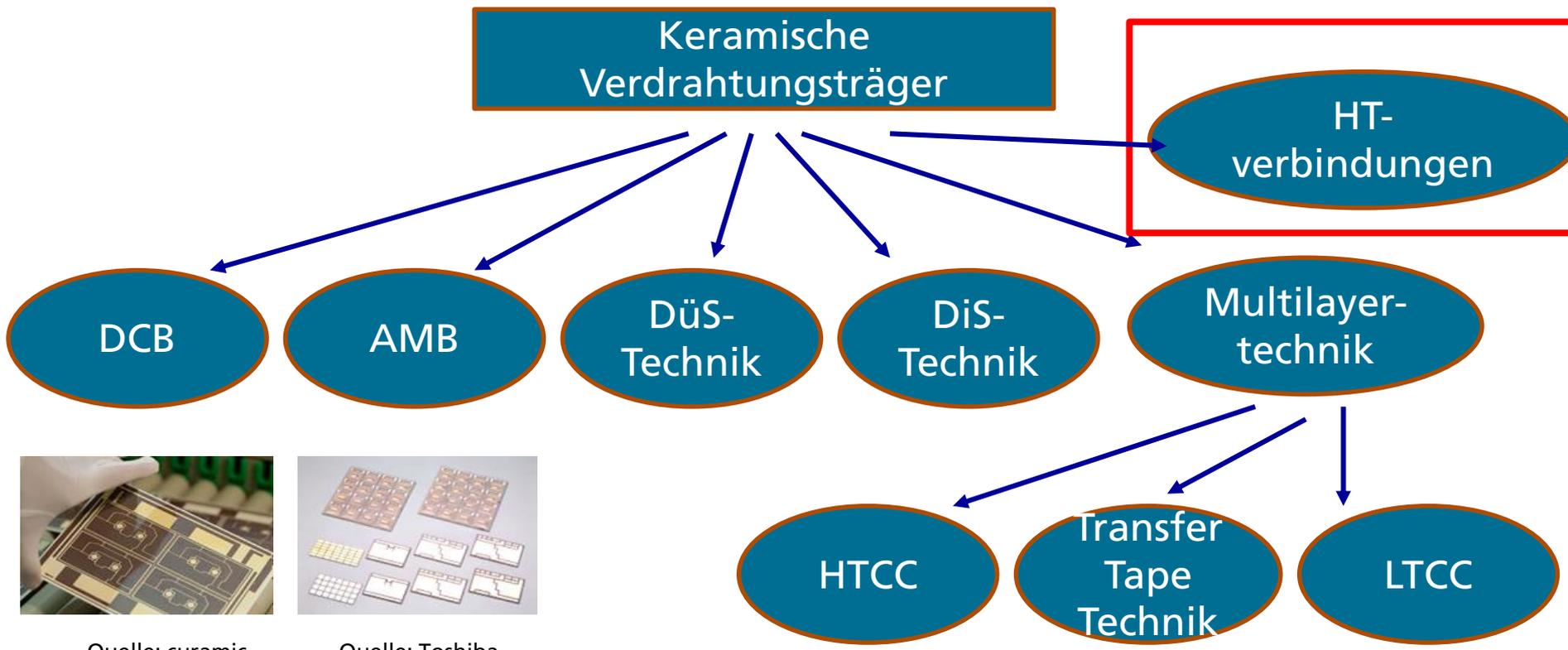
das Bias-Netzwerk mit ESD-Schutz. Darüber hinaus ermöglicht das Coexistence-Filter den Simultanbetrieb von WLAN und Bluetooth mit allen Mobilfunkstandards.

Das LTCC-Modul mit der Bezeichnung D6101 stellt damit alle benötigten Funktionen zwischen WLAN- oder Bluetooth-HF-Transceiver und der Antenne zur Verfügung. Dadurch verkürzt sich die Entwicklungszeit von Endgeräten bei gleichzeitig minimiertem Platzbedarf.

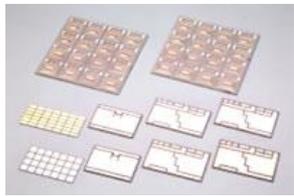


Quelle: EPCOS

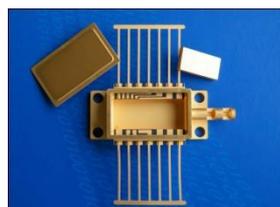
Einordnung nach Metallisierungsstrukturierung



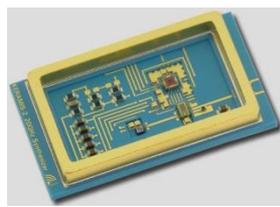
Quelle: curamic



Quelle: Toshiba

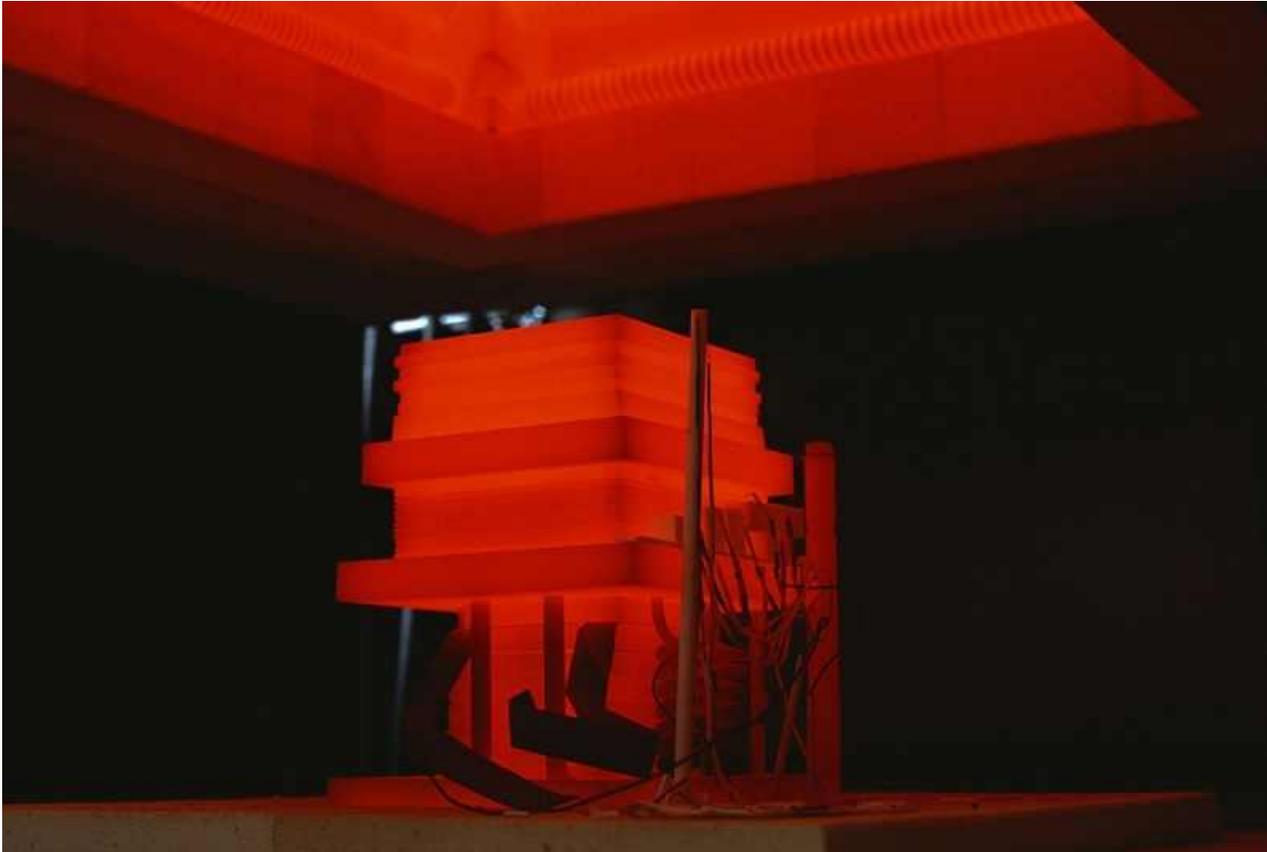


Quelle: STREAMTEK



Quelle: IMST

Hochtemperaturkontaktierung



Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018

IKTS SOFC

Fügetechnologien für Sensorintegration

Fügung mit Glasloten

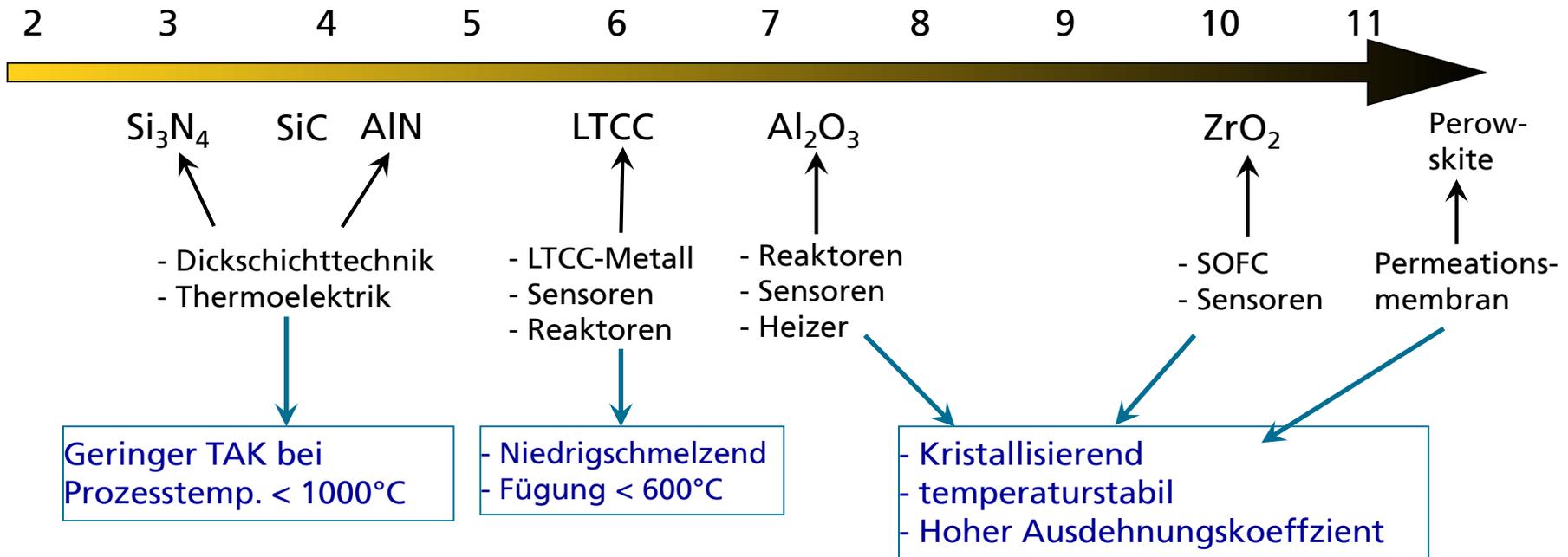
- Spannungsminimierte Keramik-Keramik-Verbunde mit angepassten Glasloten
- Metall-Keramik-Verbunde nur in Ausnahmefällen möglich
 - Gute Anpassung der thermischen Dehnung von Metall und Keramik muss gegeben sein
 - Eignung des Metalls für die Anbindung einer Glasphase muss gegeben sein (Vorbehandlung wie reinigen und beizen notwendig)
- Schützende Abdeckungen

Fügungen mit Metallloten

- Metall-Keramik-Verbunde
 - Ausnutzung duktiler Eigenschaften, um unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten zu überbrücken
- Anbindung der Metalllote an keramische Oberflächen über Aktivphase (Ti oder Zr) im Lot oder über eine separate Metallisierung (Mo-Mn-Dickschichtmetallisierung)

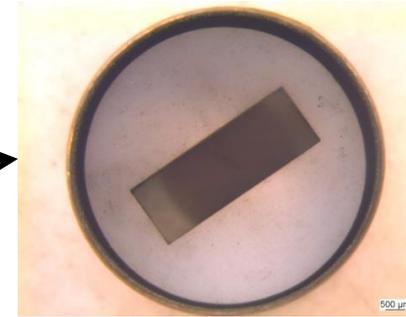
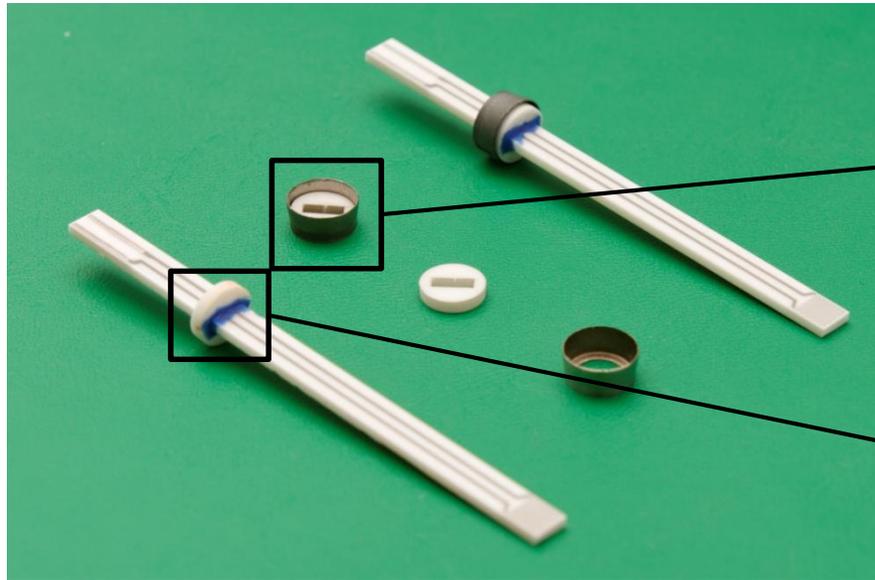
Glaslote und Füge-technologien für Keramik-Metall-Verbunde

Ausdehnungsverhalten Technischer Keramiken / 10^{-6} K^{-1}



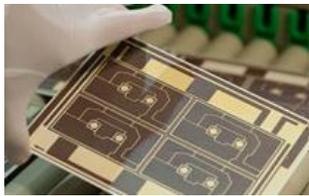
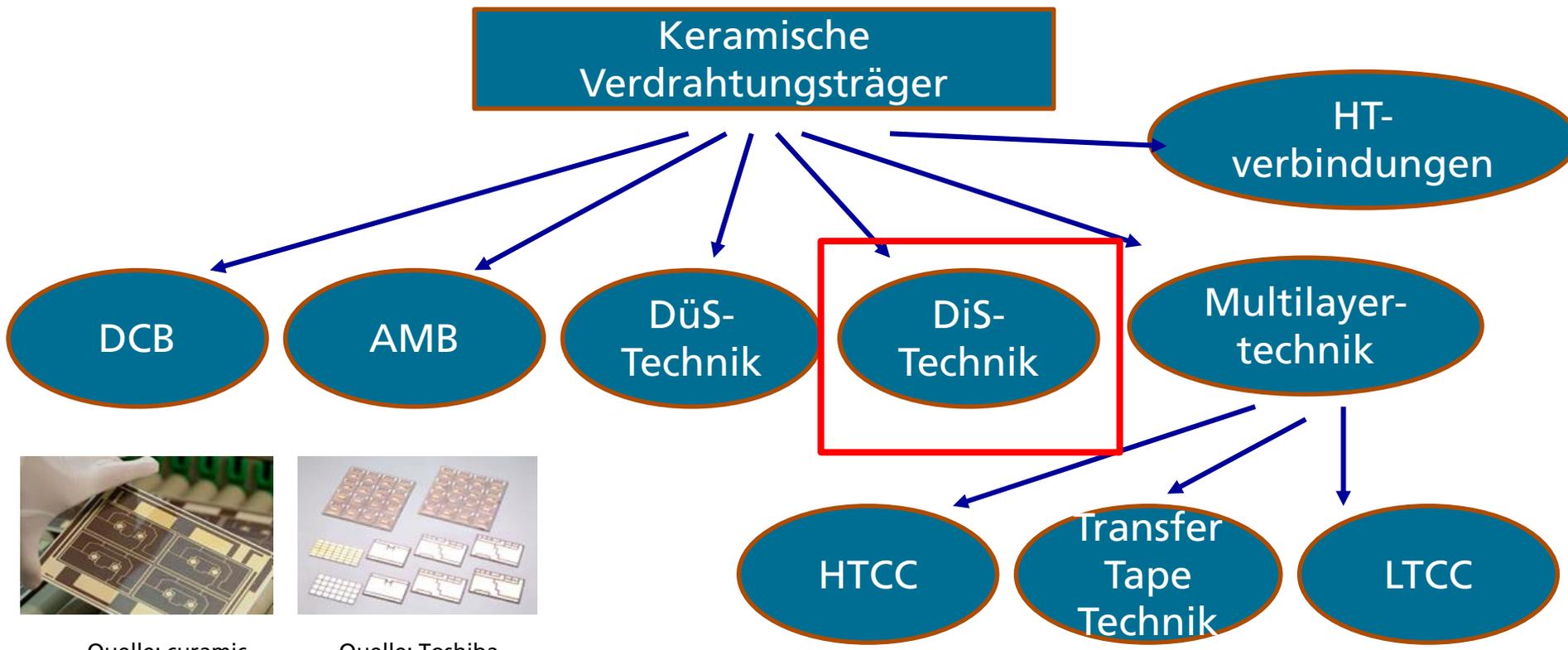
Anforderungen an Glaslote hängen stark von Anwendung, Prozesstechnologie und Materialeigenschaften ab

Modellfügungen für Keramik-HTCC-Verbund und Keramik-Metall-Verbund

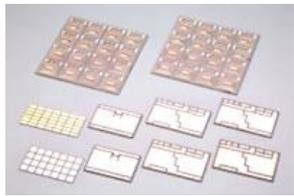


- Kombination verschiedener hermetisch dichter Fügeverbunde
- Thermische Belastbarkeit
- Thermozyklisierbarkeit
- Funktionalität; Stabilität gegenüber Brenngasatmosphären

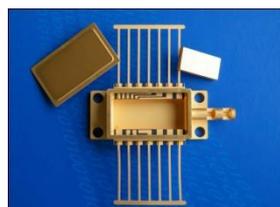
Einordnung nach Metallisierungsstrukturierung



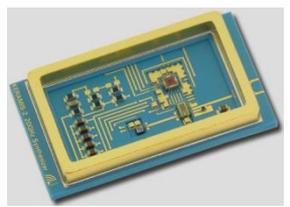
Quelle: curamic



Quelle: Toshiba

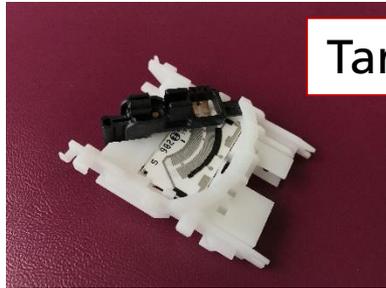


Quelle: STREAMTEK



Quelle: IMST

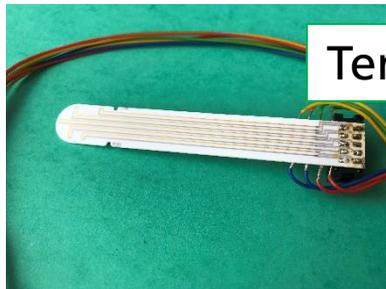
Weitere Applikationen für Dickschichtpasten



Tankstandsanzeiger



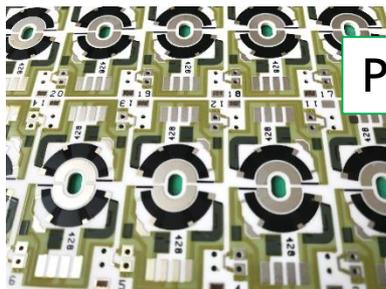
Heizelemente



Temperatursensoren



Feuchtigkeitssensoren

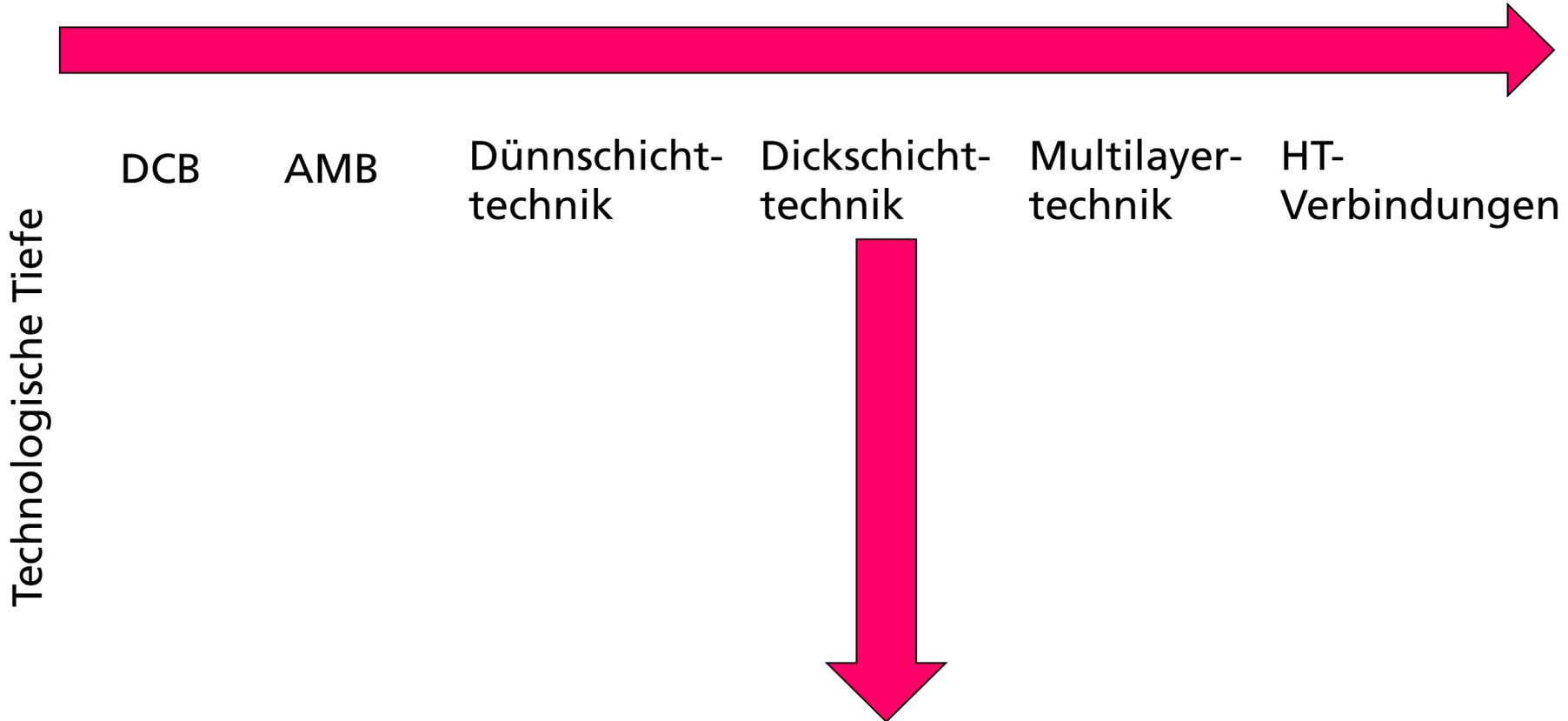


Potentiometer

u.v.m.

Plan für Heute

Keramische Technologien



Inhalt

Einordnung der Hybridtechnik

- Anwendungen, Anforderungen, ...
- Realisierungsvarianten keramischer Verdrahtungsträger

Materialien der Hybridtechnik

- Substrate / Pasten
- Druckformen

Prozess

- Siebdruck
- Thermische Prozesse

Technologie

- Einebenentechnik
- Mehrebenentechnik (cross over Technik, Komplementärdrucktechnik)

Multilayertechnik

Vergleich Substratmaterialien

Wichtige Vorteile

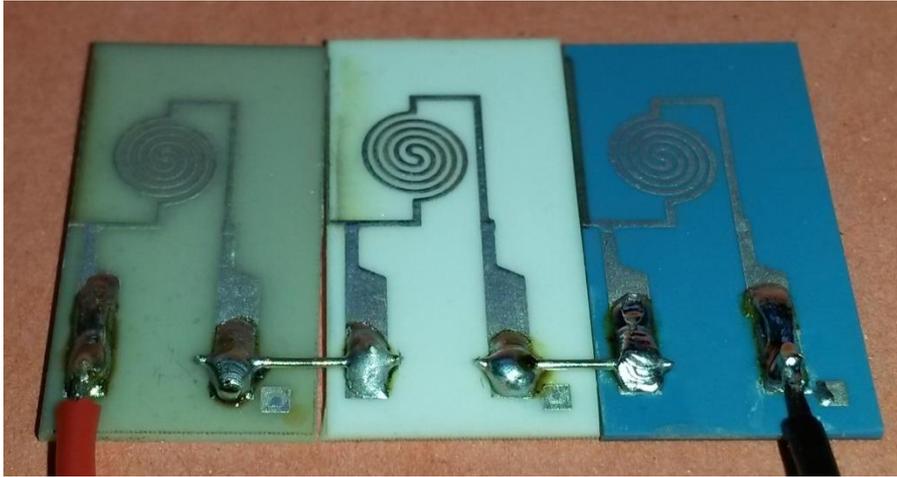
Eigenschaft	Al ₂ O ₃	BeO	ESS	AlN	FR4
max. Prozesstemperatur in °C	≥ 1500	≥ 1800	550 – 650 (≥900)	≥1600	288
Therm. Ausdehnungskoeff. in 10 ⁻⁷ / K	75	85	90	34	10 - 25
Thermische Leitfähigkeit in W/mK	20	230	60 ... 80	150 ... 180	0,2 - 0,4
Biegefestigkeit in N/mm ²	320	170	-	300	
Oberflächenrauigkeit in µm	0,5	≤0,5	-	1 - 5	
Spez. elektr. Widerstand in Ω/cm bei 20 °C	10 ¹⁴	≥10 ¹⁵	≥10 ¹⁴	10 ¹³	
Dielektrizitätszahl	9,5	7,0	6 – 8	10,0	3,6 - 4,8
Kostenfaktor ca.	1	50	0,5 - 2	20 ... 40	

Vergleich Substratmaterialien

Hauptsächlich eingesetzt

Eigenschaft	Al ₂ O ₃	BeO	ESS	AlN	FR4
max. Prozesstemperatur in °C	≥ 1500	≥ 1800	550 – 650 (≥900)	≥1600	288
Therm. Ausdehnungskoeff. in 10 ⁻⁷ / K	75	85	90	34	10 - 25
Thermische Leitfähigkeit in W/mK	20	230	60 ... 80	150 ... 180	0,2 - 0,4
Biegefestigkeit in N/mm ²	320	170	-	300	
Oberflächenrauigkeit in µm	0,5	≤0,5	-	1 - 5	
Spez. elektr. Widerstand in Ω/cm bei 20 °C	10 ¹⁴	≥10 ¹⁵	≥10 ¹⁴	10 ¹³	
Dielektrizitätszahl	9,5	7,0	6 – 8	10,0	3,6 - 4,8
Kostenfaktor ca.	1	50	0,5 - 2	20 ... 40	

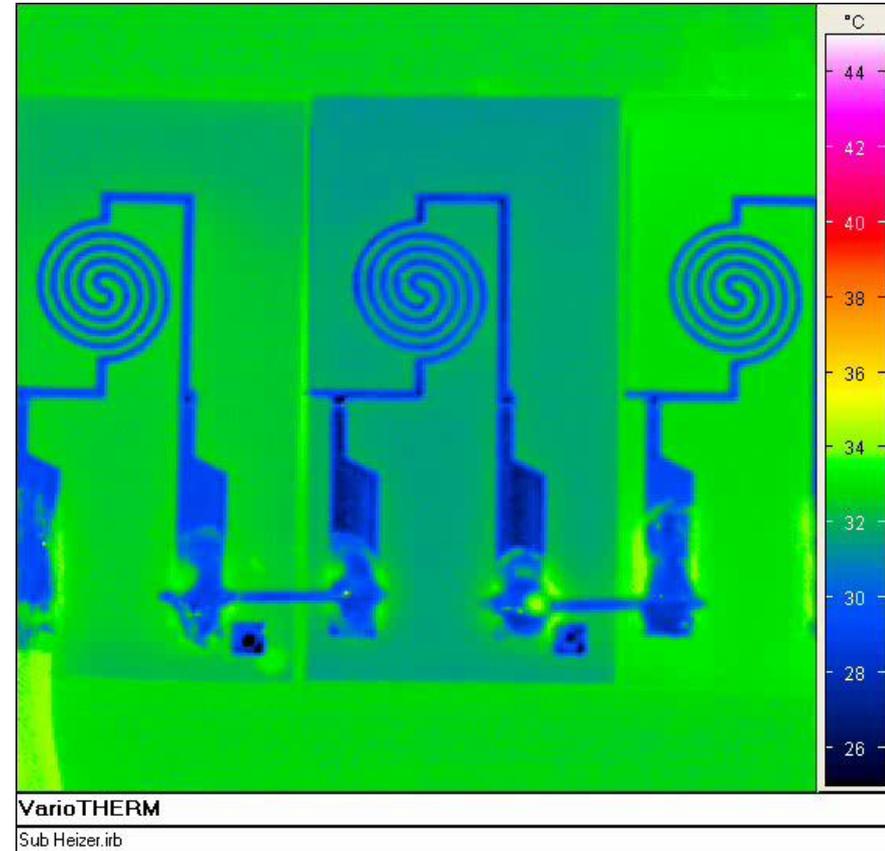
Einfluss der Wärmeleitfähigkeit



AlN
180
W/mK

Al₂O₃
20
W/mK

LTCC
3-4
W/mK



Materialien der Hybridtechnik

Pasten

Verarbeitungs- und Qualitätsmerkmale von Schichten / Funktionale Schichtqualität

- Flächenwiderstand
 - Isolationswiderstand
 - Durchschlagsspannungsfestigkeit
 - Relative Dielektrizitätskonstante
 - Kapazitiver Verlustfaktor
- Elektrische Eigenschaften
- Mechanische Haftfestigkeit
 - thermischer Ausdehnungskoeffizient
- Mechanische Eigenschaften
- Wärmeleitfähigkeit
 - Thermische Verlustleistungsdichte
 - Thermischer Ausdehnungskoeffizient
- Thermische Eigenschaften

Verarbeitungs- und Qualitätsmerkmale von Schichten / Verarbeitung der Paste im Prozess

- Pastenkompatibilität, Verdruckbarkeit → Schichtsysteme
- Ablegierfestigkeit →
- Lotbenetzbarkeit → Kontaktsysteme
- Drahtbondbarkeit →
- Schichtdicke →
- Strukturauflösung → Verdrahtungsdichte
- Schrumpfungsrage
- Thermischer Ausdehnungskoeffizient

Was sind Dickschichtpasten?

- Pseudoplastische, strukturviskose Dispersionen von anorganischen Pulvern in einem organischen Druckträger, die mittels Siebdruck auf einem Substrat abgeschieden werden können



Quelle: C. Kretschmar

Arten von Dickschichtpasten

■ Leitpasten

- Lötbar
- Bondbar
- ...

■ Isolationspasten

■ Widerstandspasten

- Temperaturstabil
- ...

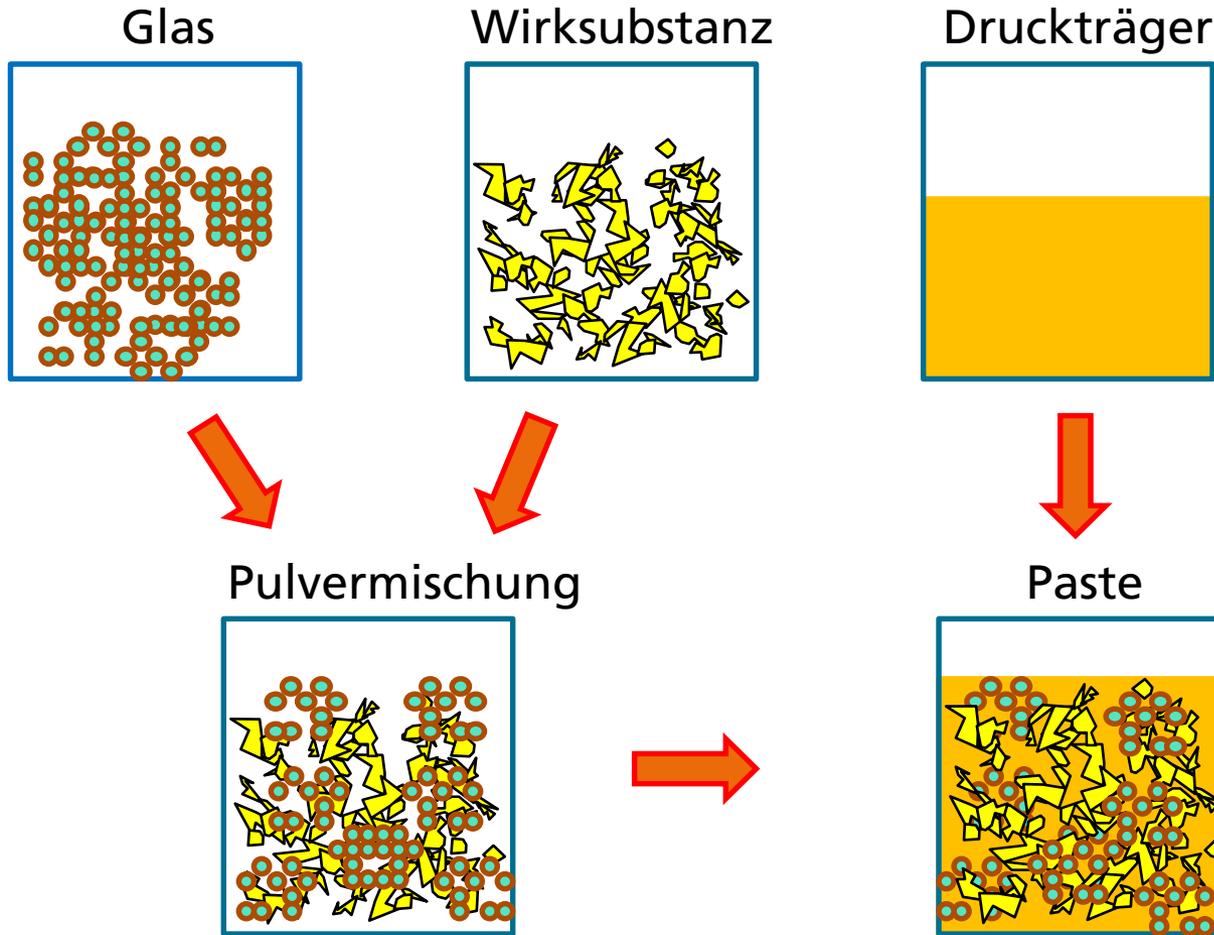


Dreiwalzwerk

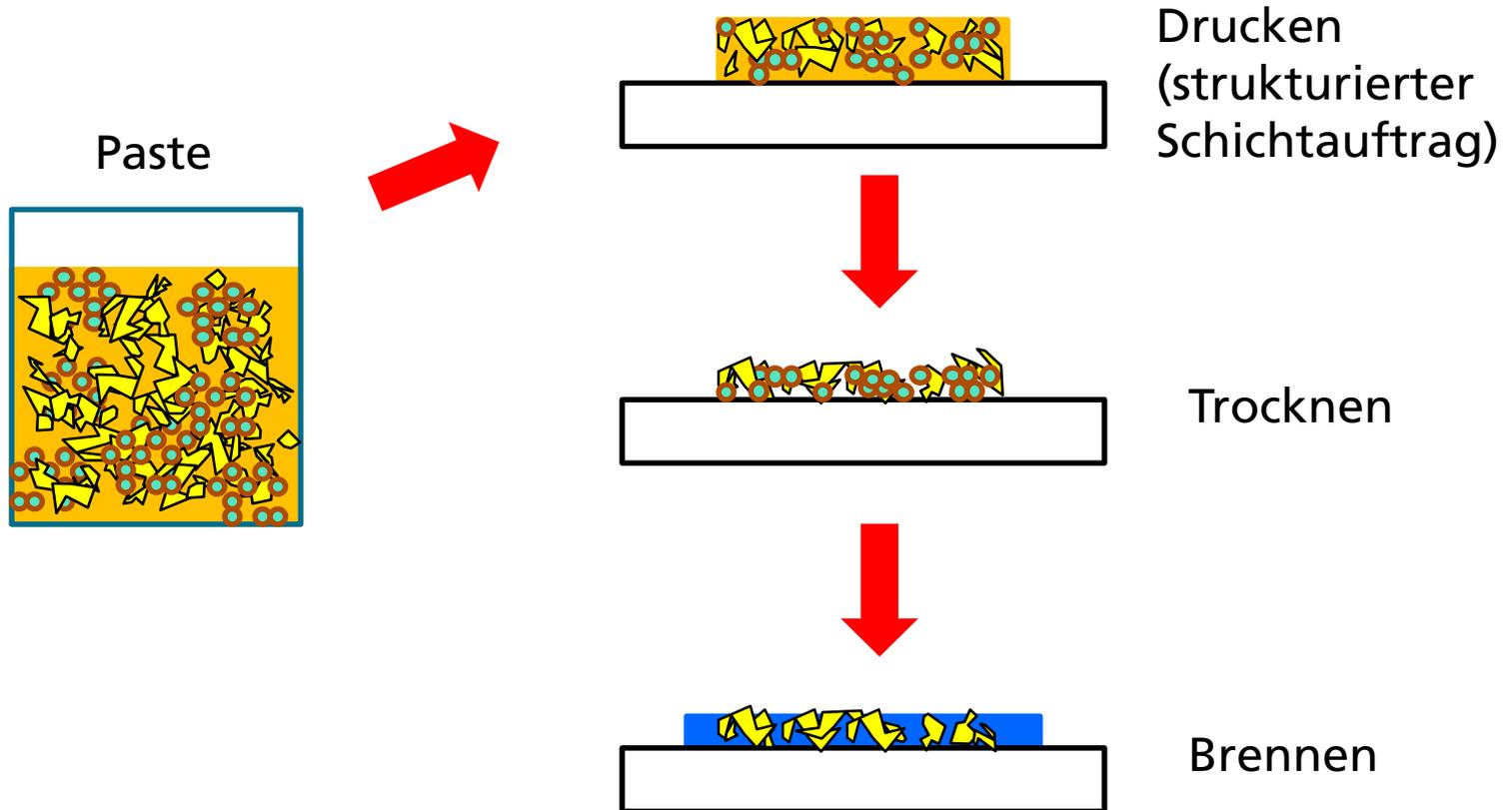
Zusammensetzung von Dickschichtpasten

Wirkphase	Druckträger, Organische Binder	Lösungsmittel	Gläser
Metall, Metalloxide, Glas, Keramik	Ethylzellulose, Acetate u.a.	Terpinöl u.a.	Borosilikatglas wismuthaltige Gläser u.a.
Prozentualer Gewichtsanteil			
(30 ... 70)%	(12 ... 25)%	(10 ... 20)%	
Funktion / Einflüsse			
Bestimmt die elektrischen Eigenschaften der finalen Schicht	<ul style="list-style-type: none"> ■ rheologische Pasteneigen- schaften ■ mech. Stabilität der getrockneten Paste 	rheologische Pasteneigen- schaften	Bestimmt die mech. Stabilität und Haftfestigkeit der gebrannten Schicht

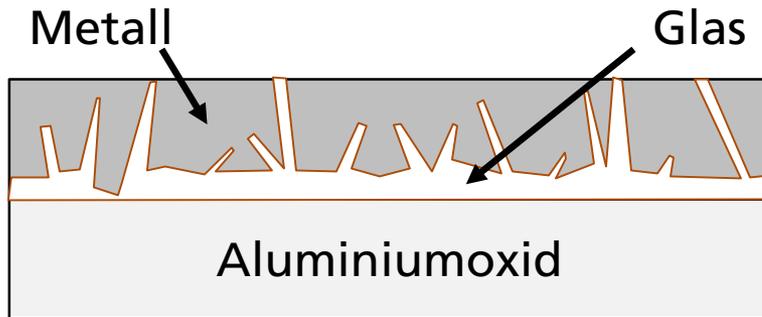
Prinzip Pastenherstellung



Pastenstrukturierung



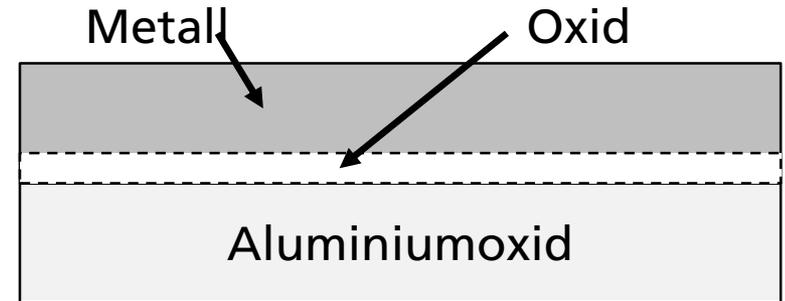
Haftmechanismen



„glas bonded system“

Glas diffundiert in das Metall-Keramikinterface

→ Mechanische Haftmechanismen



„fritless conductor“

Zugabe von Oxiden; z.B. CuO, CdO, NiO; Reaktion z.B. zu CuAlO_2

→ Chemische Haftmechanismen



Mischformen



Bestandteile des Glases

Netzwerkbildner: SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 ...

Grundgerüst des Glases in Form eines unregelmäßigen, räumlichen **Netzwerkes**

→ Gewährleistung der strukturellen Integrität

Netzwerk wandler: Na_2O , CaO , MgO , Y_2O_3 ...

Brechen das Netzwerk auf und bilden Trennstellen

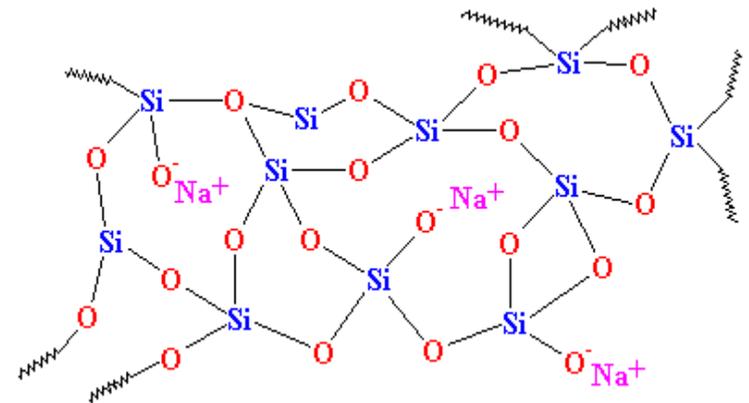
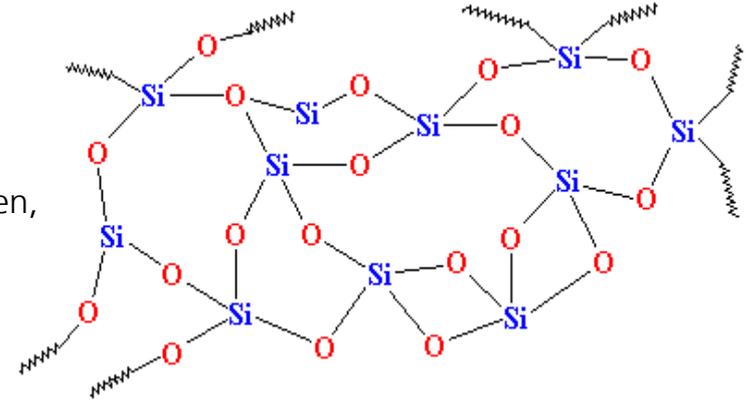
→ Wandlung der Glasstruktur

→ Beeinflussung der Glaseigenschaften

Zwischenoxide: Al_2O_3 , PbO , Bi_2O_3 ...

Wirken in Abhängigkeit von Anteil und Glaszusammensetzung netzwerkbildend & wandelnd

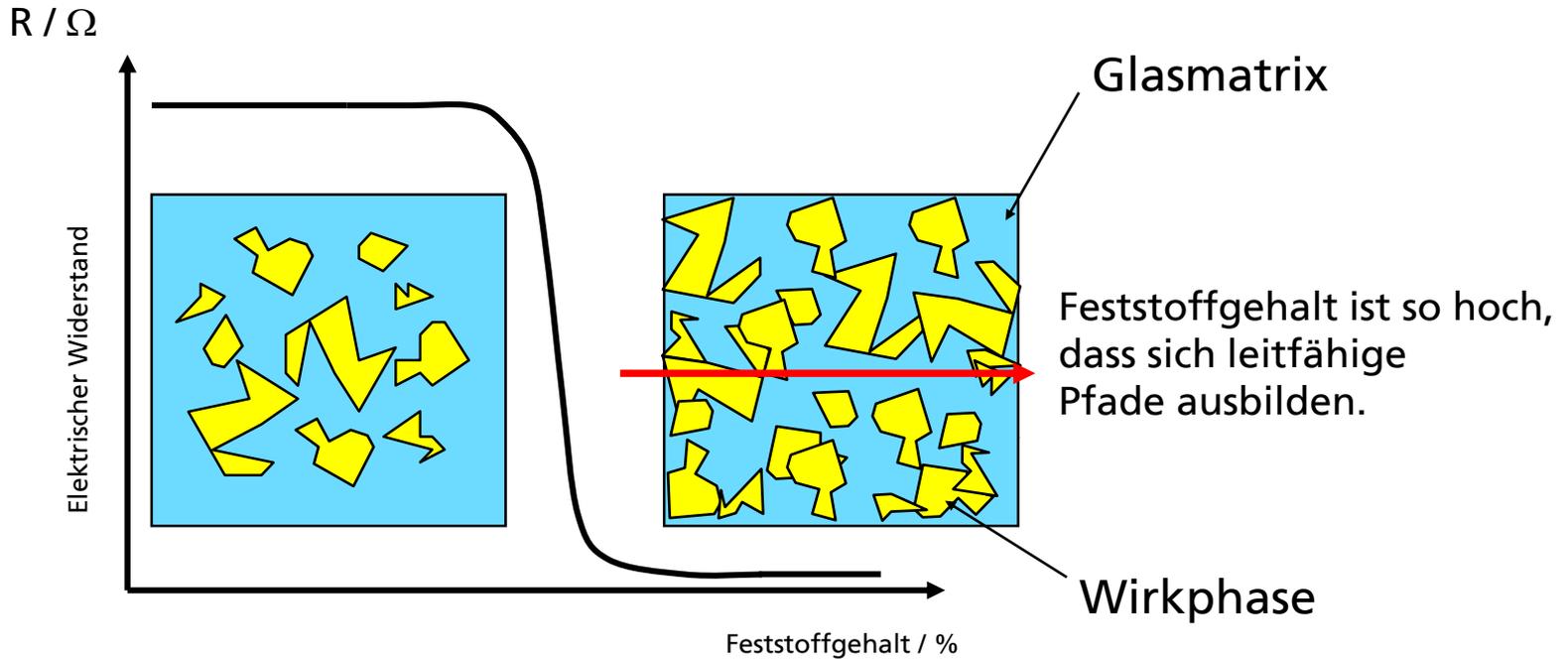
→ Stabilisierung der Glasstruktur



Materialien der Hybridtechnik

Leitpasten

Perkolationsschwelle (Leitpasten)

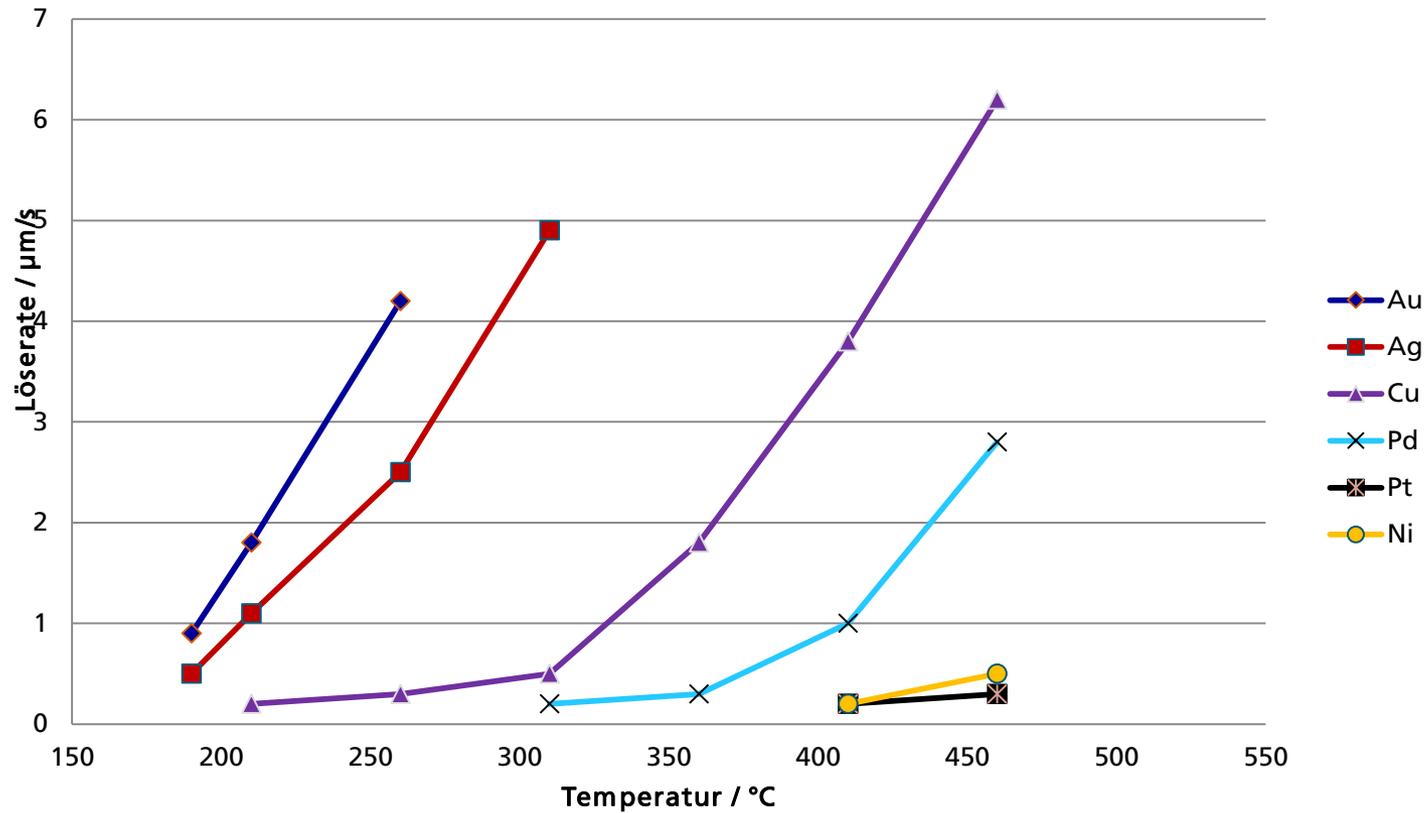


Vergleich Leitpasten

Pasten-material	Widerstand in $m\Omega/sq$	Adhäsion in kg/mm^2	Löten	Bonden	Preis	Bemerkung
Ag	1 – 10	0,7 – 0,9	X	--	+	Ag-Migration
AgPd	10 – 30	0,9 – 1,1	X	±	±	Standard-paste
AgPt	3 – 20	0,9 – 1,1	X	+	-	
Au	1 – 6	0,9 – 1,1	X	++	-	Bondpads, MIL, HF
AuPd	20 – 100	0,6 – 0,8	X	++	-	MIL
AuPt	20 – 100	0,7 – 0,9	X	+	--	gut lötbar
Cu	1 – 4	0,5 – 0,7	X	±	++	

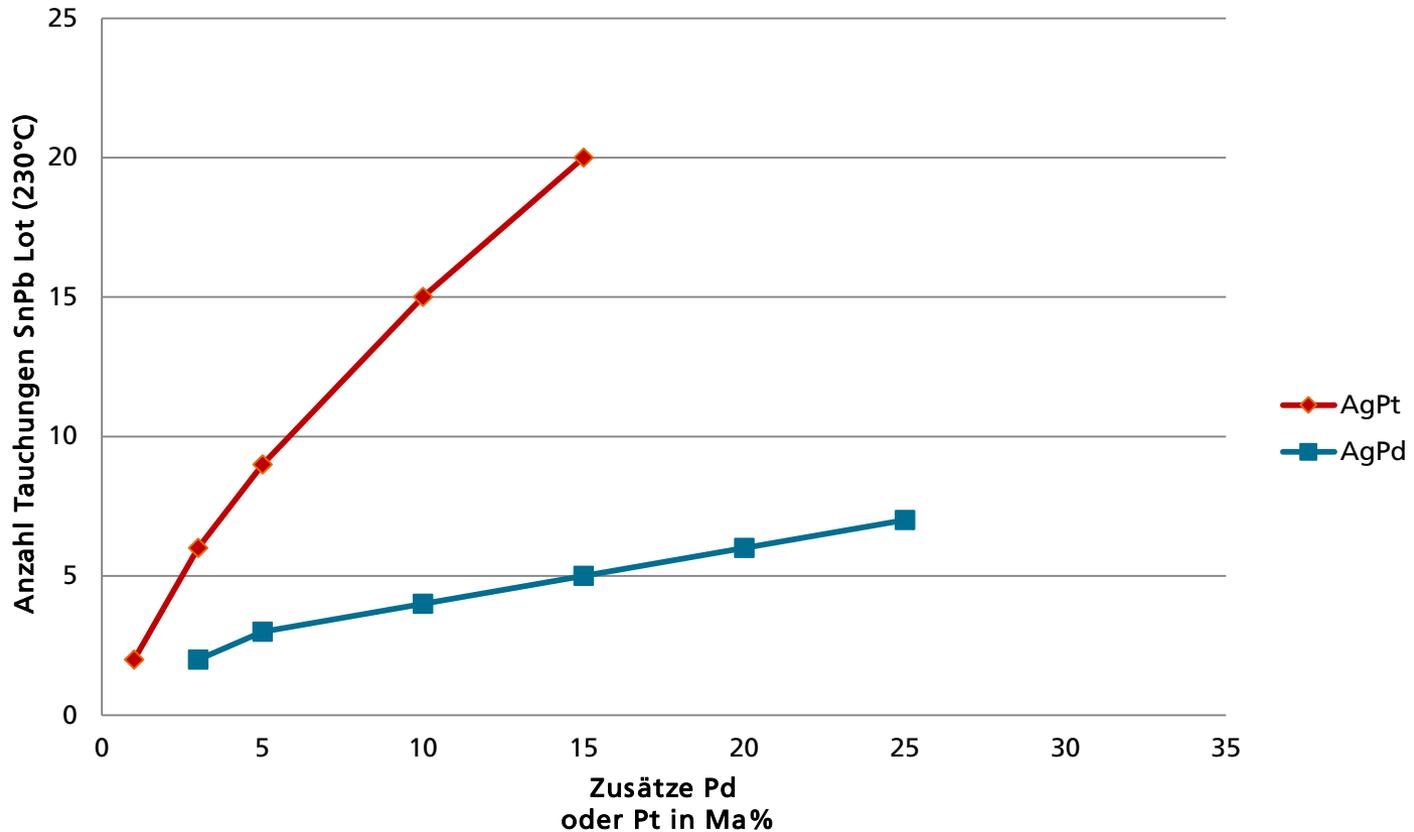
Löseraten

Löserate von Metalleindrähten

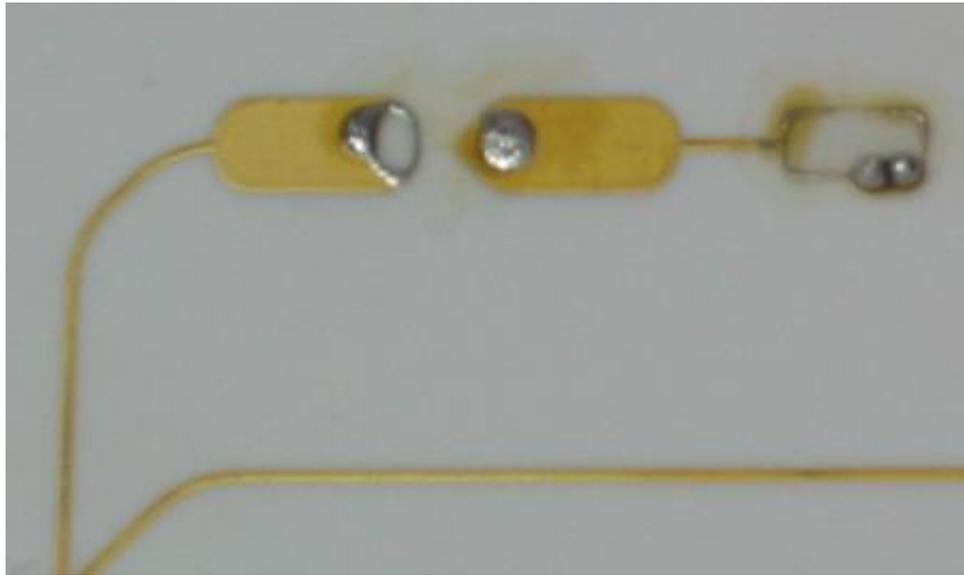


Ablegierfestigkeiten von Dickschichtpasten

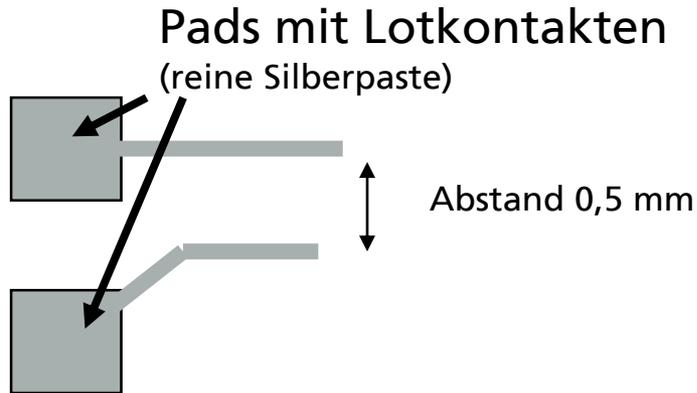
Ablegierfestigkeit



Weichgelötete Goldpaste



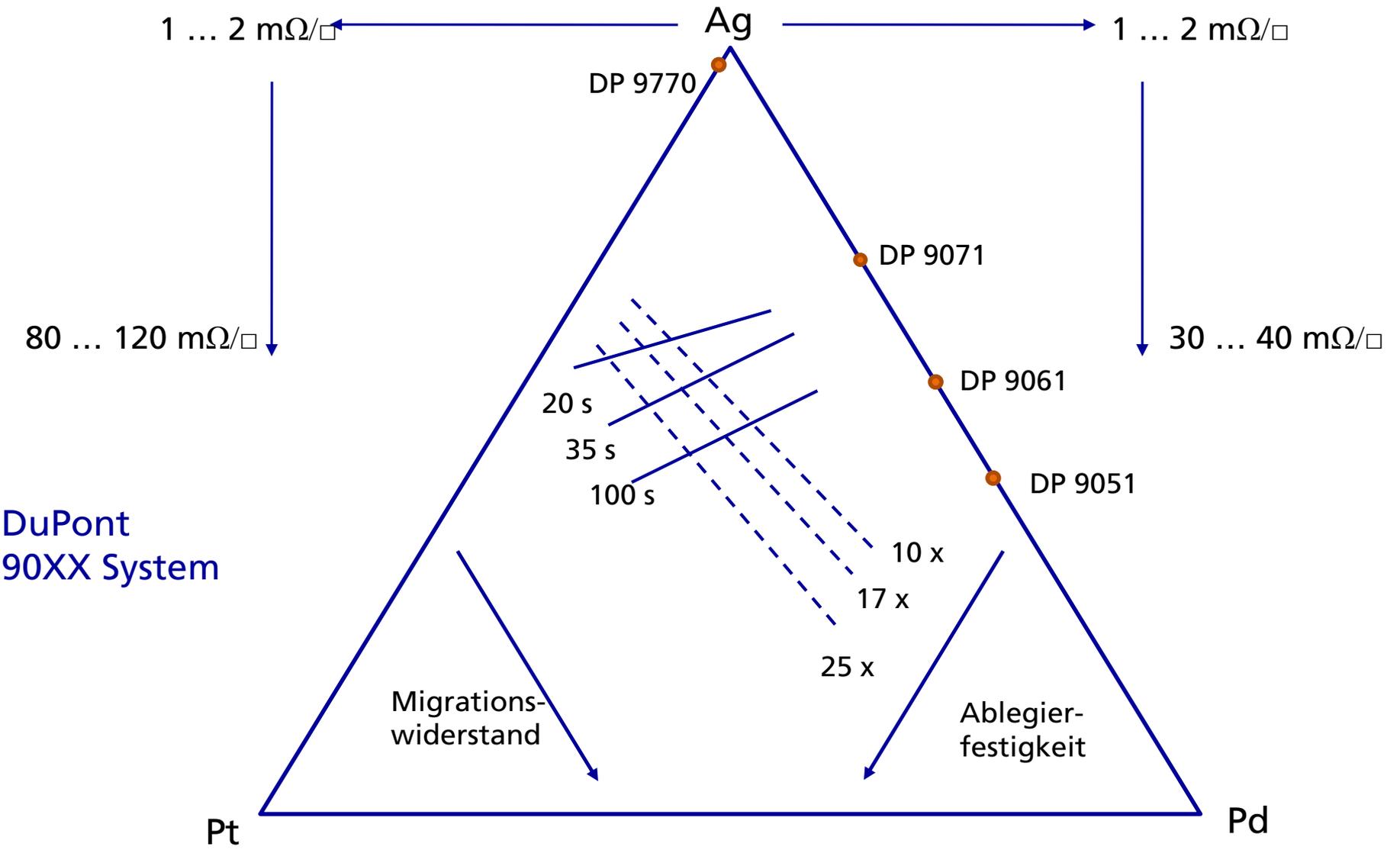
Beispiel Silbermigration



- Potentialunterschied 5 Volt
- Wassertropfen wird per Hand aufgesetzt

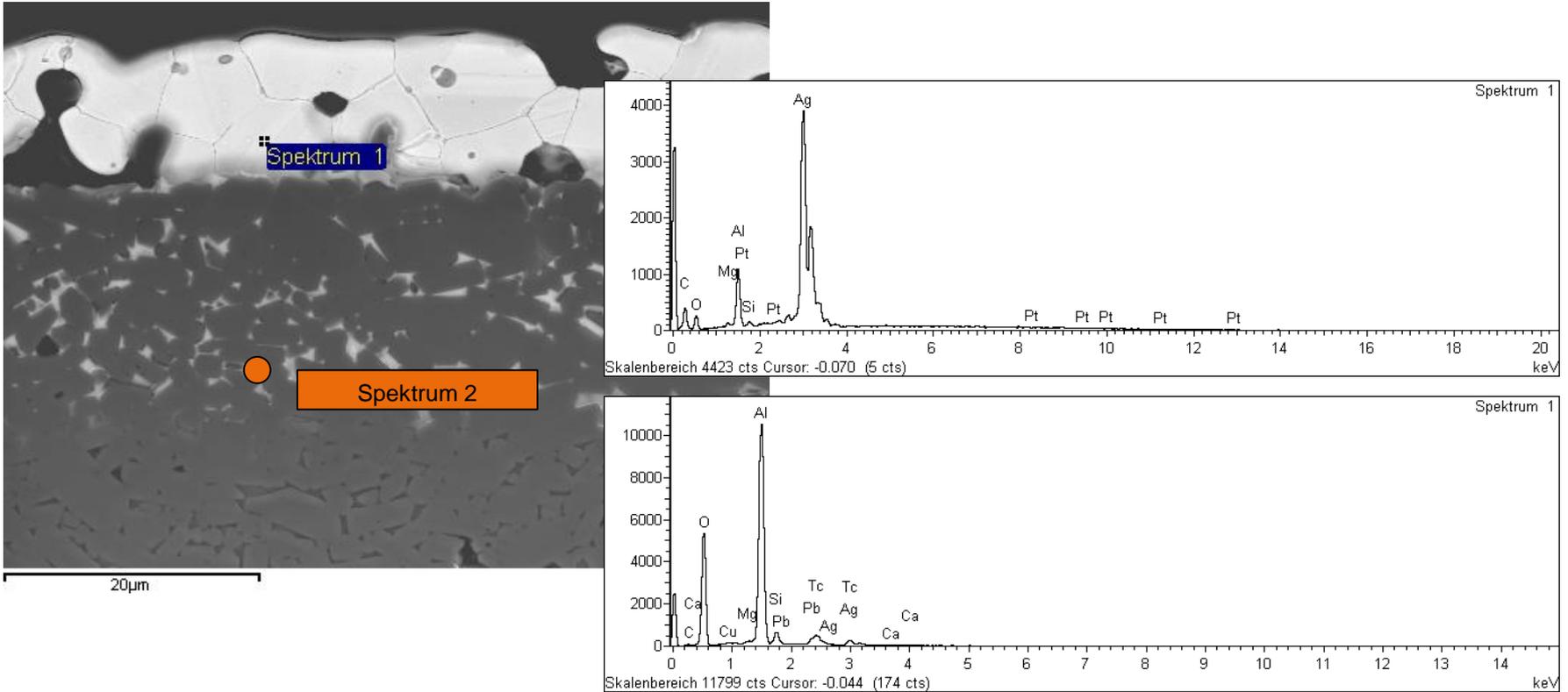


Pastenlegierungen



Source: Hanke „Hybridträger“; Prudenziati

Typische AgPt Paste



Hier weiter

Materialien der Hybridtechnik

Widerstandspasten

Widerstands- und Heizpasten

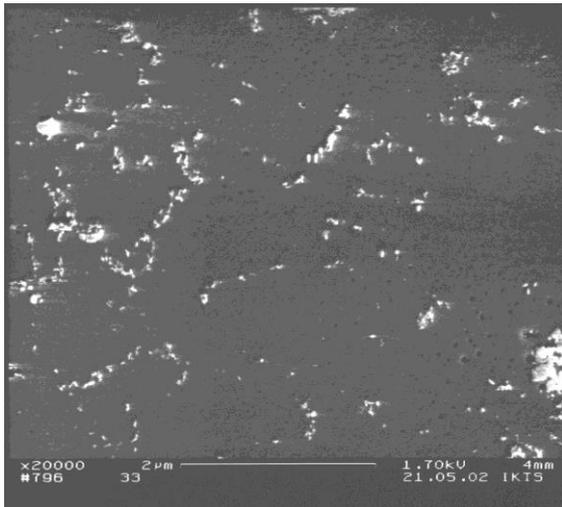
- $\text{Bi}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$, $\text{Pb}_2\text{Ru}_2\text{O}_{6,5}$, RuO_2 , Ag/Pd/PdO
- Glas
- TKR-Modifizier
- Additive



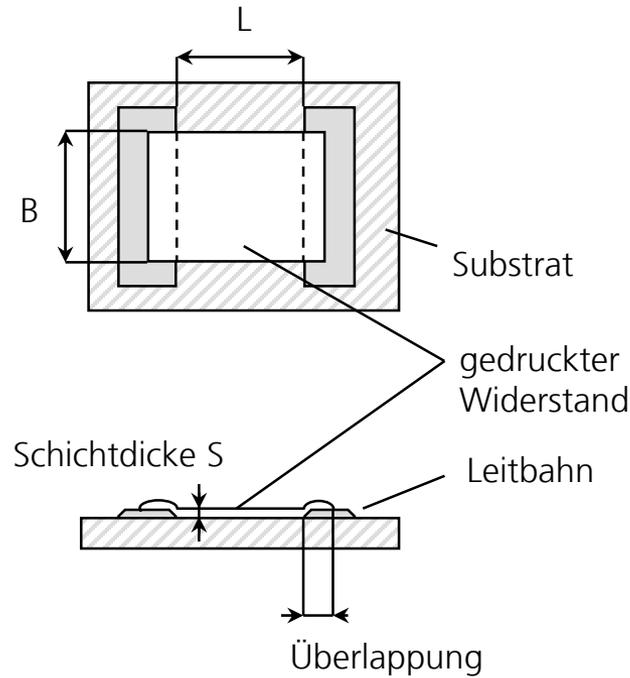
- Festwiderstände
- Leistungswiderstände
- Potentiometer
- Heizer
- Temperatursensoren
- Drucksensoren



- Definierter Flächenwiderstand
- Kleiner oder großer Temperaturkoeffizient
- Hohe Stabilität (150°C, 85°C – 85%RH)
- Elektrische Belastbarkeit
- Dehnungsempfindlichkeit



Der Begriff „Flächenwiderstand“



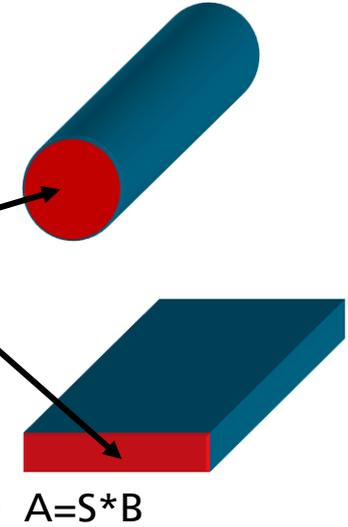
Allg. Formel:
Elektrischer Leiter

$$R = \rho * \frac{L}{A}$$

$$R = \rho * \frac{L}{S * B}$$

$$R = R_F * \frac{L}{B}$$

R_F : Flächenwiderstand



Widerstandspasten Kennwerte Datenblatt Heraeus R8900 Serie



Resistors

R 8900 Series

Air Fired Resistor System

Description

The Heraeus resistor R 8900 Series resistor materials are part of complete thick film materials system. Materials in this system are designed for production of high reliability, commercial and industrial hybrid microcircuit and resistor networks. The Series is entirely free of cadmium, nickel and phthalate, and it shows additionally the following key advantages:

- Excellent noise and STOL values
- Compatible with C 2000 Series (Ni and Cd-free)
- R 8900 Series offers a range of $1 \Omega / \square - 1 M\Omega / \square$.

Typical Fired Resistor Properties ¹⁾

R 8900 Series ^{2,3}	R 8911	R 8921	R 8931	R 8935 L	R 8935 HN ¹⁰	R 8941 N ¹⁰	R 8951 N ¹⁰	R 8961 N ¹⁰
Resistivity ⁴ [Ω/\square]	$10 \pm 10\%$	$100 \pm 10\%$	$1 k \pm 10\%$	$5 k \pm 10\%$	$5 k \pm 10\%$	$10 k \pm 10\%$	$100 k \pm 10\%$	$1 M \pm 10\%$
Temperature coefficient of resistance ⁴ TCR [ppm/K]	± 100	± 100	± 100	± 100	± 100	± 100	± 100	± 100
Voltage coefficient of resistance ⁵ VCR [ppm/V/mm]	-	-	-	-	-	-50	-	-
Short term overload voltage ⁶ [V/mm]	9	28	87	155	180	238	497	524
Standard working voltage ⁷ [V/mm]	3.6	11	35	62	72	95	199	209
Maximum rated power dissipation ⁸ [mW/mm ²]	1300	1280	1220	770	1040	910	395	44
Quantum noise ⁹ [dB]	-	-32	-21	-10	-13	-10	-3	-

Quelle: Datenblatt Heraeus R 8900

Schichterzeugung

Inhalt

Einordnung der Hybridtechnik

- Anwendungen, Anforderungen, ...
- Realisierungsvarianten keramischer Verdrahtungsträger

Materialien der Hybridtechnik

- Substrate / Pasten
- Druckformen

Prozess

- Siebdruck
- Thermische Prozesse

Technologie

- Einebenentechnik
- Mehrebenentechnik (cross over Technik, Komplementärdrucktechnik)

Multilayertechnik

Schichtherstellung

Paste

Substrat

Schichtauftrag

Strukturierter Schichtauftrag
mittels Siebdruck

Temperaturprozess

Trocknen

Verdampfen der für den Siebdruck
erforderlichen Lösungsmittel

Brennprozess

Ausbrennen

Entfernung der für die Schichtstabilität nach dem Trocknen
und für die Einstellung der Fließeigenschaften der Paste
beim Siebdruck notwendigen organischen Binder

Einbrennen

Ausbildung der inneren Stabilität der Schicht sowie der
Haftfestigkeit zum Trägersubstrat und
Ausbildung der funktionellen Eigenschaften

Gebrannte Schicht

Strukturierter Schichtauftrag

Hauptdruckverfahren

Druckform

Druckformlos
(Digitaldruck)

Hochdruck



z.B. Stempeldruck

Tiefdruck



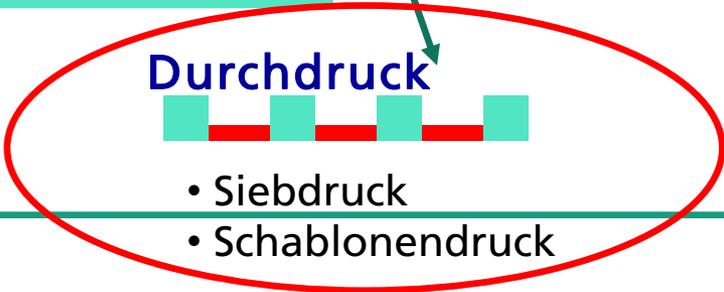
z.B. Gravurdruck

DIN 16500

Flachdruck



Durchdruck



- Siebdruck
- Schablonendruck

InkJetdruck

Aerosoldruck

Mikrodispensen

Siebdruck

Einordnung:

Siebdruck hat hohe Bedeutung im grafische Gewerbe in der Elektroniktechnologie sowie in der Photovoltaik.

Ziel:

Abbildung der zu realisierenden Struktur durch das Durchdrucken einer Druckform mit Paste

Alternativ (im Bereich der Dickschichthybridtechnik):

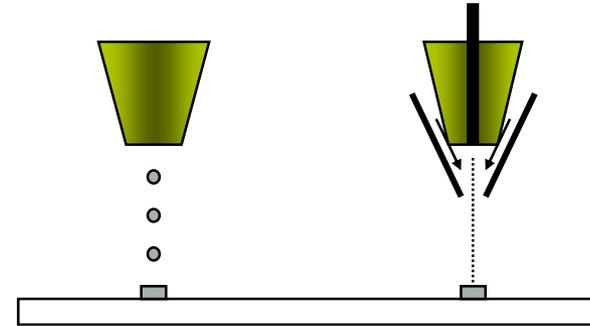
- Dünnschichttechnik (siehe Kapitel: „Dünnschicht“ sowie Script AVT I)
- Fotostrukturierung von Dickschichtpasten „Fodel[®]“ (siehe Kapitel: „Siebdruck“)
- Druckformlose Verfahren / Direktschreibverfahren von Dickschichtpasten:
- InkJet Druck
- Aerosoldruck

Einsatz alternativer Strukturierungsverfahren

- InkJet Druck
- Aerosoldruck

(Vermutete) Vorteile:

- exaktere Geometrie (geringere Toleranzen)
- genauere und geringere Strukturauflösung (derzeit nicht unter 100 μm im SD in Serie)
- steuerbare Schichtdicken



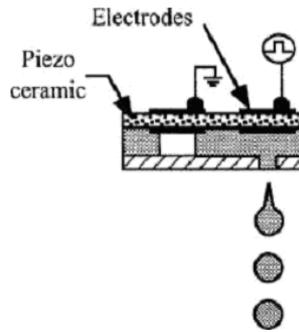
Vergleich Drucktechniken

	Siebdruck (Hotmelt)	Tampondruck	Ink-Jet-Druck	Aerosol Druck
Minimale Leiterbahnbreite	ca. 60 μm	ca. 40 μm	ca. 40 μm	ca. 10 - 15 μm
Maximale Leiterbahnbreite	flächig	flächig	bis zu 500 μm	bis 5 mm
Bahnhöhe	5-20 (40) μm	5-100 μm	ca. 0,1 μm	0,25 μm – 10 μm (durch Mehrfachdruck)
Viskosität Tinten/Pasten	>10.000 mPa·s	>10.000 mPa·s	5 – 15 mPa·s	0,7 – 1.000 mPa·s
3D Direkt Schreiben	planar/ tubular	planar/ sphärisch	planar	möglich (Höhenunterschiede bis 5 mm)

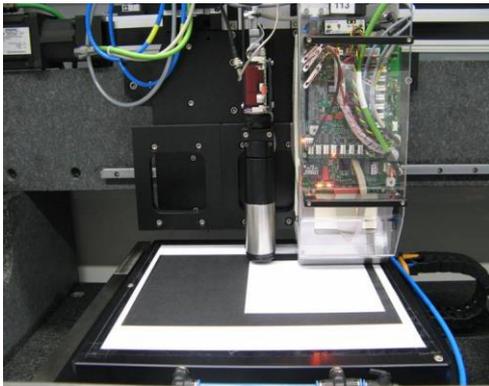
Quelle: SF2020; IKTS Partsch, Fritsch, Mosch

Ink-Jet Anlage

Printing principle



Printing platform



DoD300 from Schmid Tec.



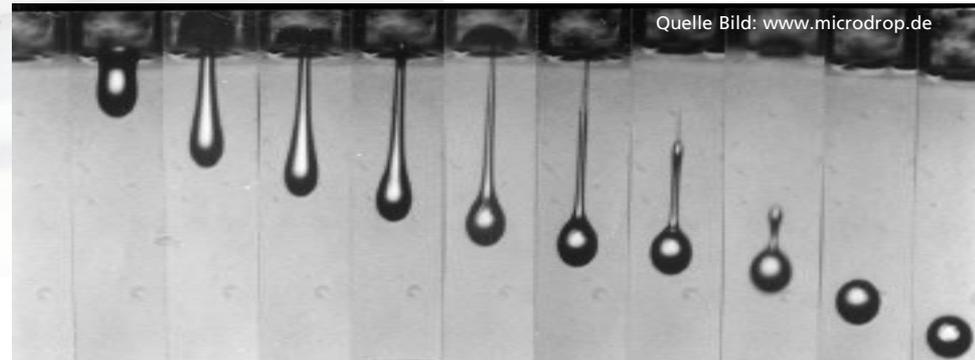
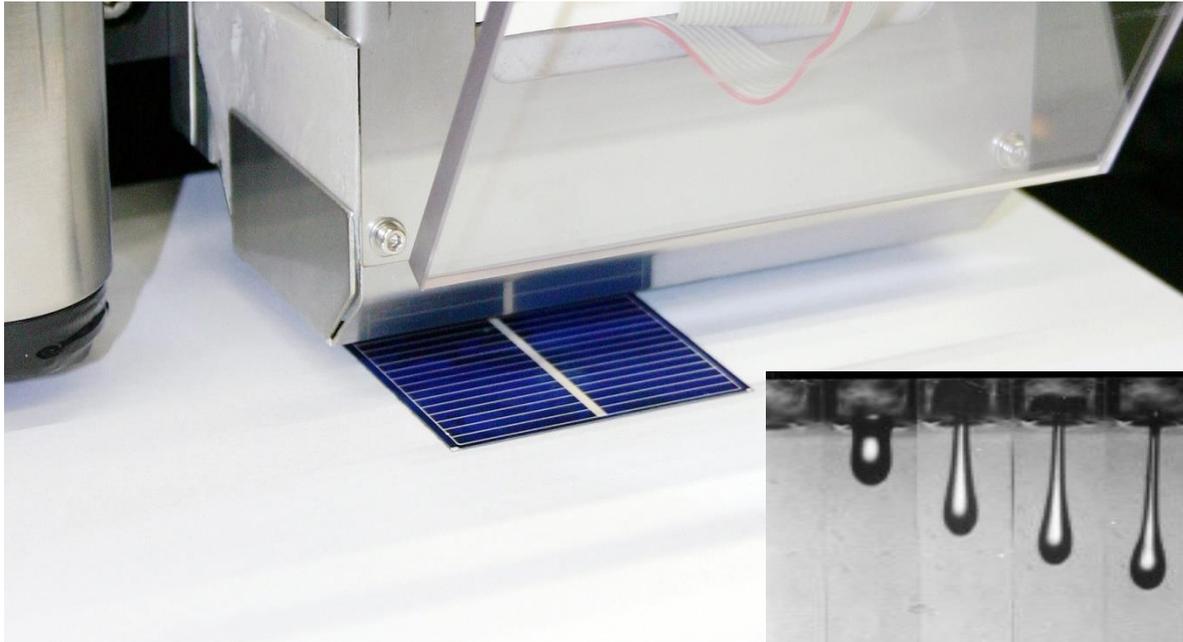
Specifications

Brand	Schmid
Home	Germany
Type	DoD300
Ink-Jet Principle	Piezo DoD
Print head	Dimatix, Konica-Minolta, more
Number of nozzles	up 512 scale able
Nozzle \varnothing μm	variable ($< 15 \mu\text{m}$ possible)
Drops pL	e.g. 4..30
η ink mPas	6..15
Particles μm	$< 1..5$
Positioning	x-y-(z)
Printing area mm^2	300*300
Accuracy μm	± 10
Printing speed mm/s	< 1000
Dimensions L-B mm^2	900*1500
Remarks	Industrial inline compatible printer

Direktstrukturierung - InkJet Druck

(„Tintendrucker am PC“)

3



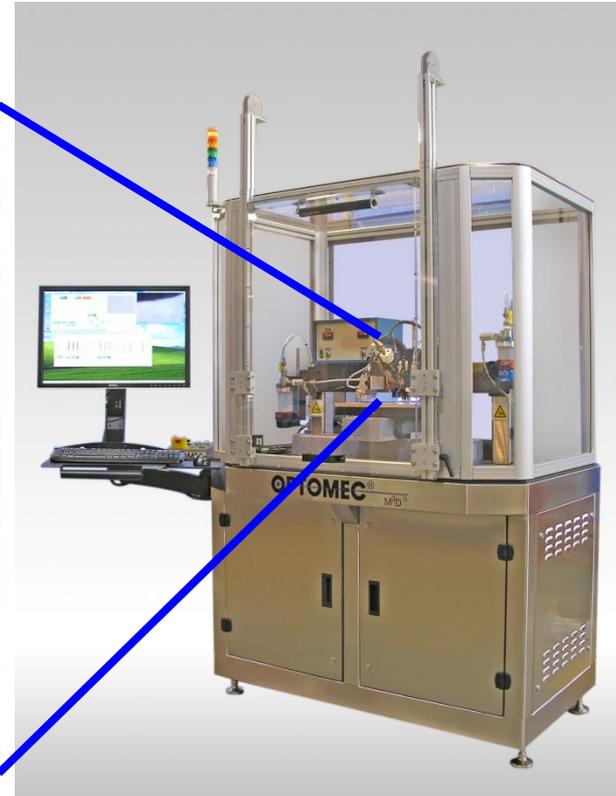
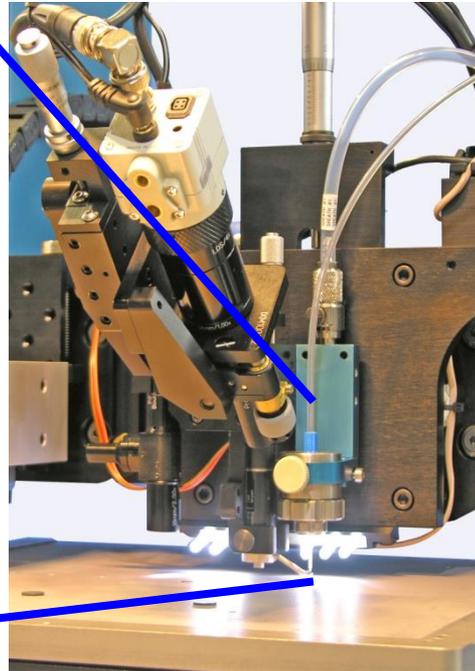
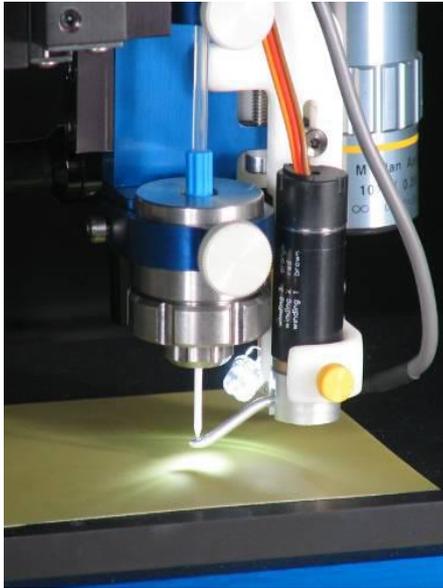
Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018

Quelle: Fritsch IKTS

Direktstrukturierung – Aerosoldruck

(„Mikro Spray Dose“)

3

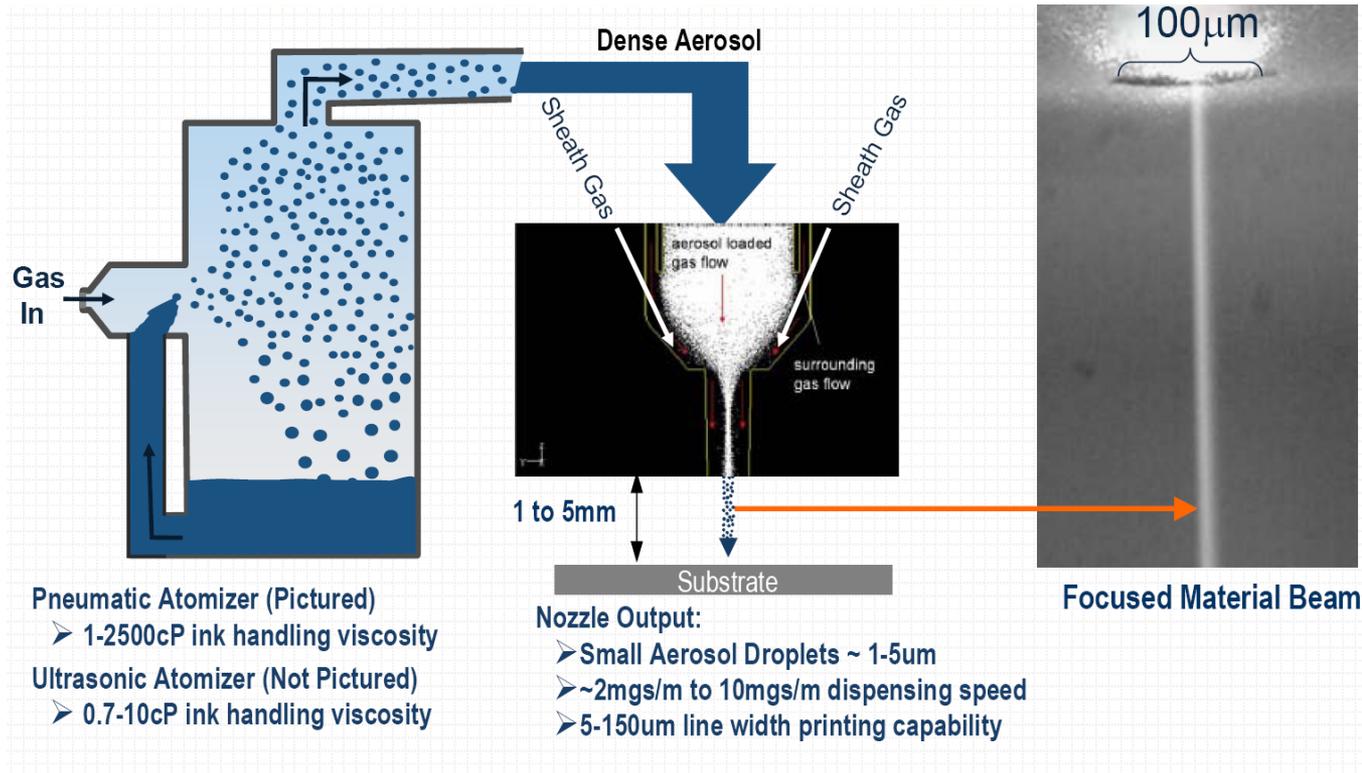


Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018

Quelle: Mosch IKTS

Direktstrukturierung – Aerosoldruck

(„Mikro Spray Dose“)



- Pneumatic Atomizer (Pictured)
 - 1-2500cP ink handling viscosity
- Ultrasonic Atomizer (Not Pictured)
 - 0.7-10cP ink handling viscosity

- Nozzle Output:
- Small Aerosol Droplets ~ 1-5µm
 - ~2mgs/m to 10mgs/m dispensing speed
 - 5-150µm line width printing capability

Quelle: Optomec, IDTec Dresden 2008

Druckformen

Siebherstellung: 1. Rahmen

3

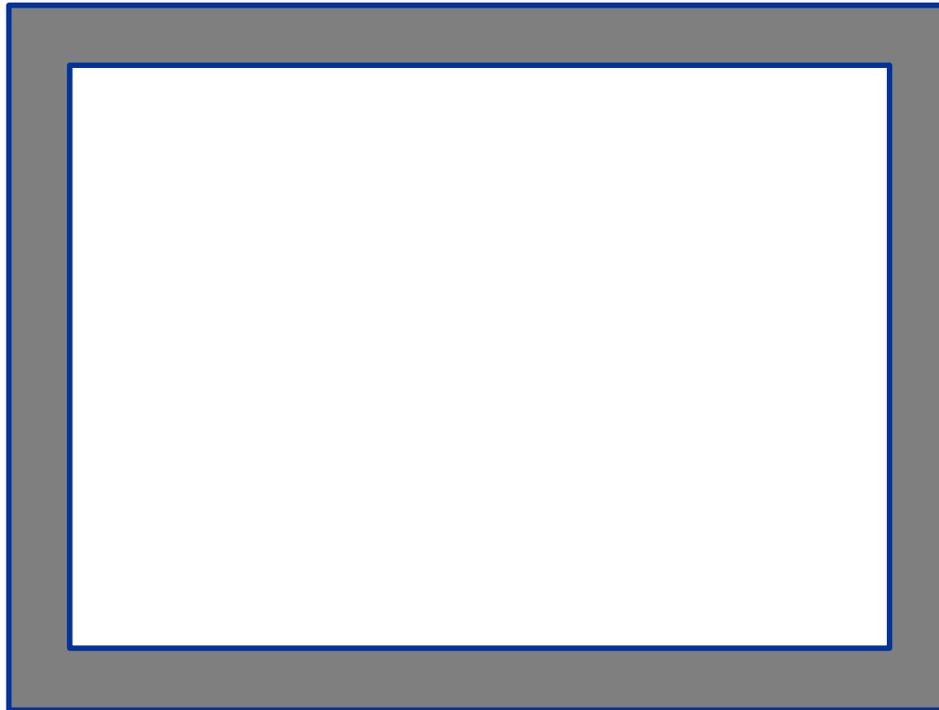


Bild: Gröner Siebdruck

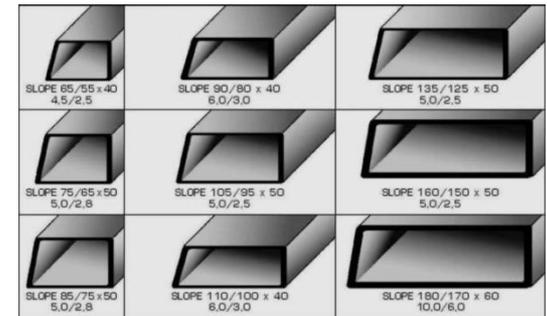


Bild: Böttcher Siebdruck

Siebherstellung: 2. Sieb einkleben

3

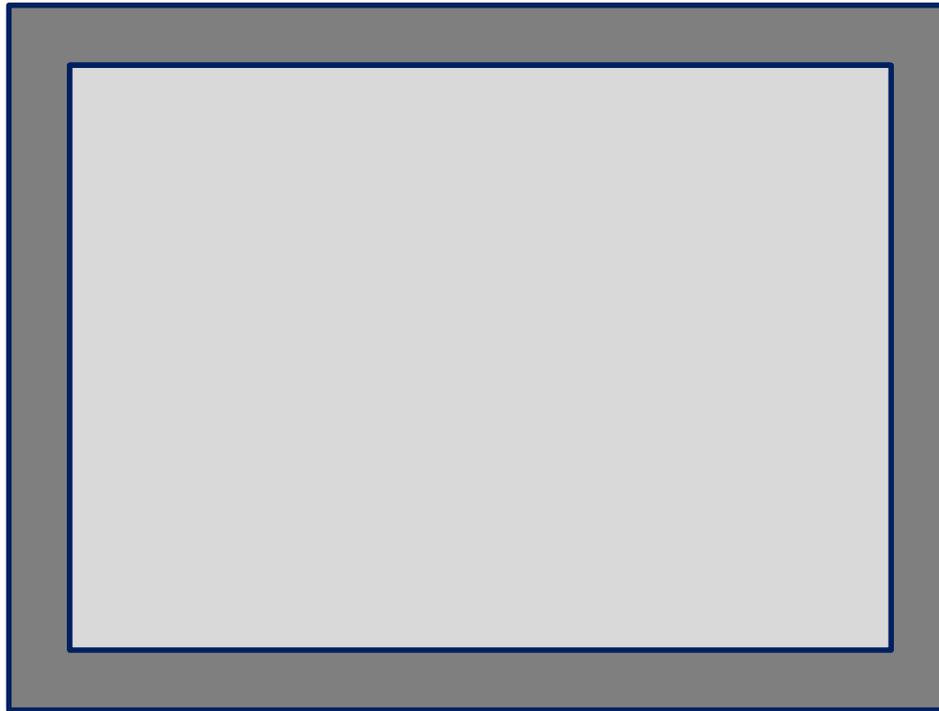


Bild: UV Siebdruck



Bild: Gröner Siebdruck

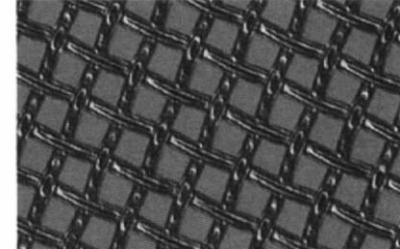
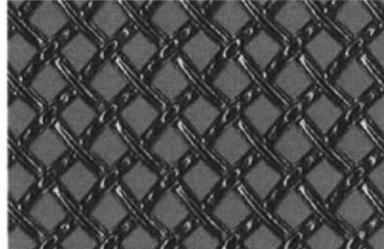
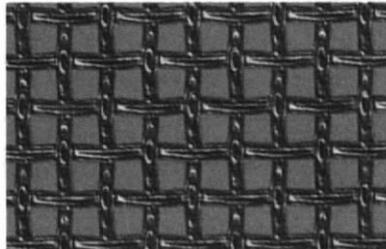
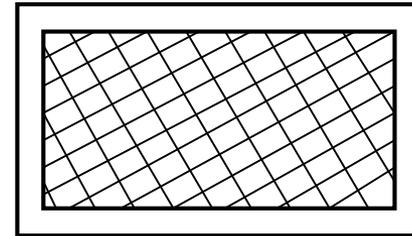
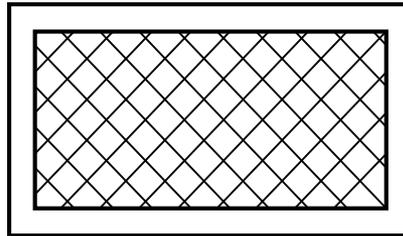
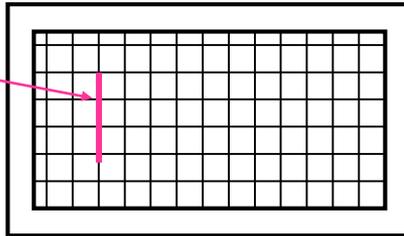
Siebbespannung

90 ° Fadenwinkel

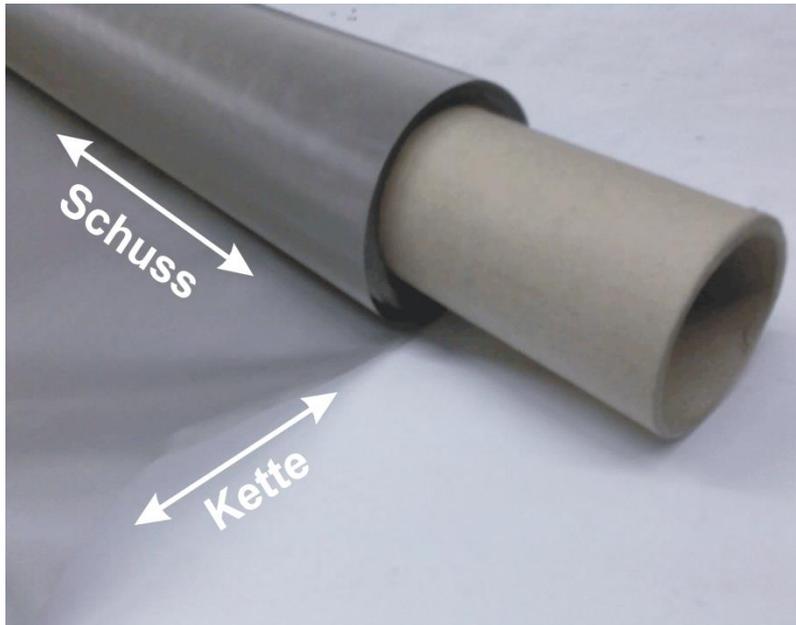
45 ° Fadenwinkel

22,5 ° Fadenwinkel

mögl. Krit.
Belastung der
Querfäden



Gewebearten



Leinenbindung (Glatte Bindung)
Wechsel 1-1



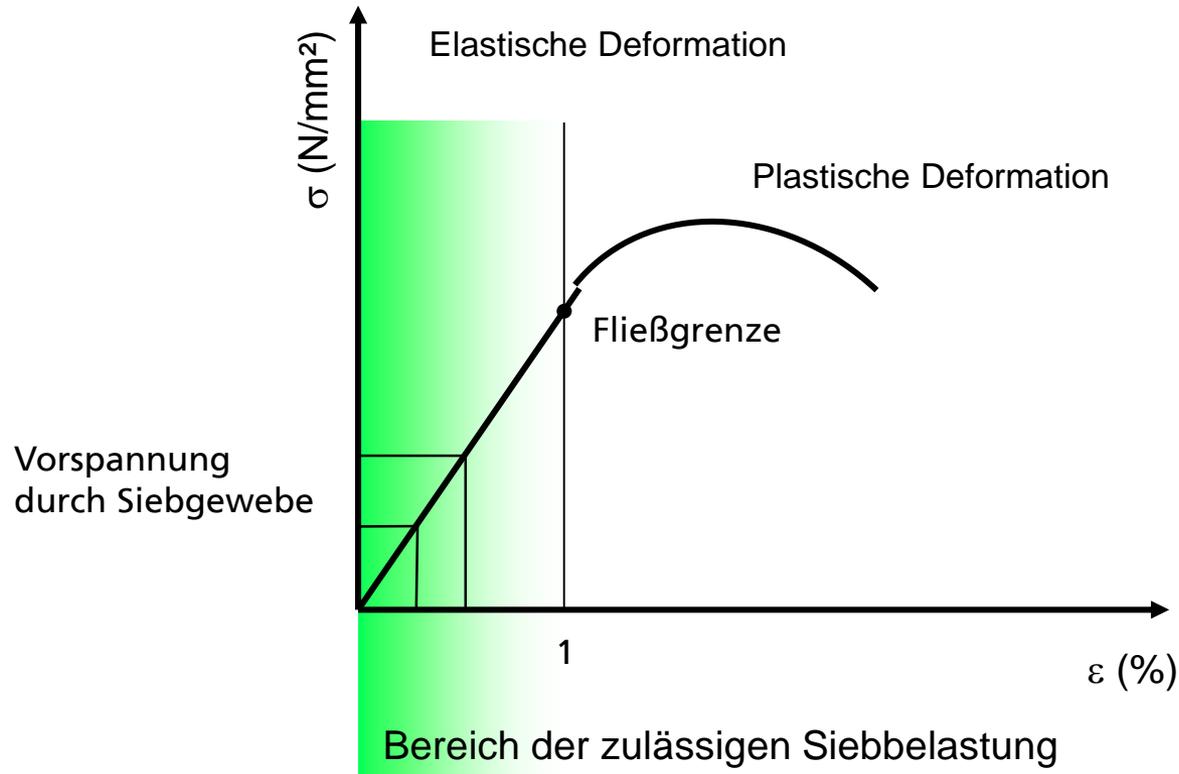
Körperbindung
Wechsel 2-2



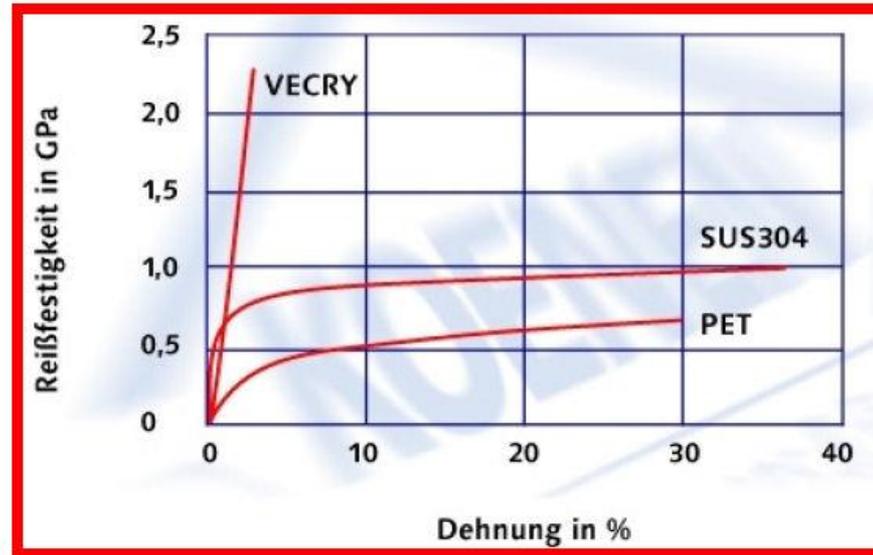
5-Schaft-Körperbindung (Atlasbindung)
Wechsel 4-1

Quelle: Dr. L. Luniak, TUD/IAVT

Siebbelastung



V Screen Gewebe

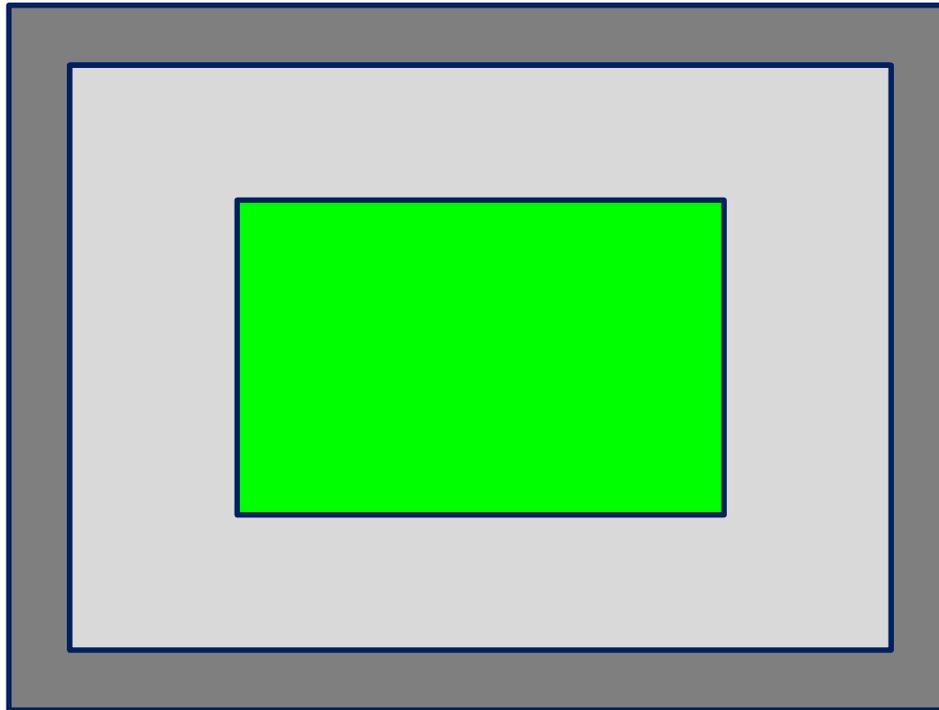


- *30 μ m Fäden aus V-Screen (VECRY)*
- *Edelstahl (SUS304)*
- *Polyester (PET)*

Quelle Bilder: www.koenen.de

Siebherstellung: 3. Emulsion beschichten

3

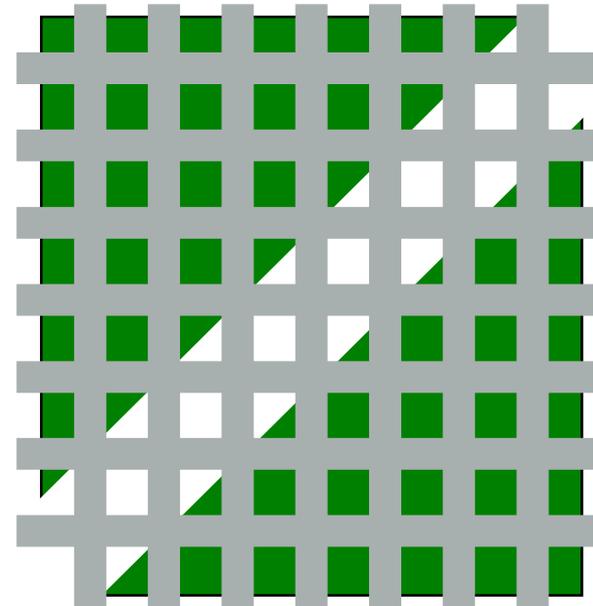
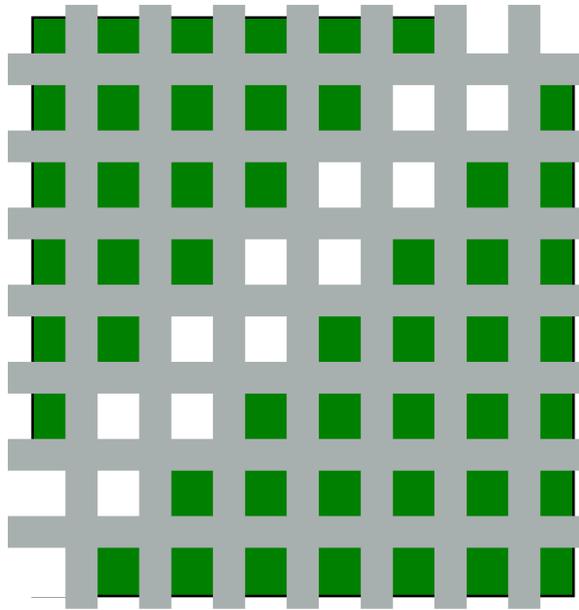


Das erfolgt mit Folie!! Ich hatte bloß kein anderes Bild!!



Bild: Wikipedia

Vergleich: direkte vs. indirekte Siebbeschichtung



Prinzipdarstellung: nicht Maßstäblich!

Siebherstellung: 4. Emulsion härten

3

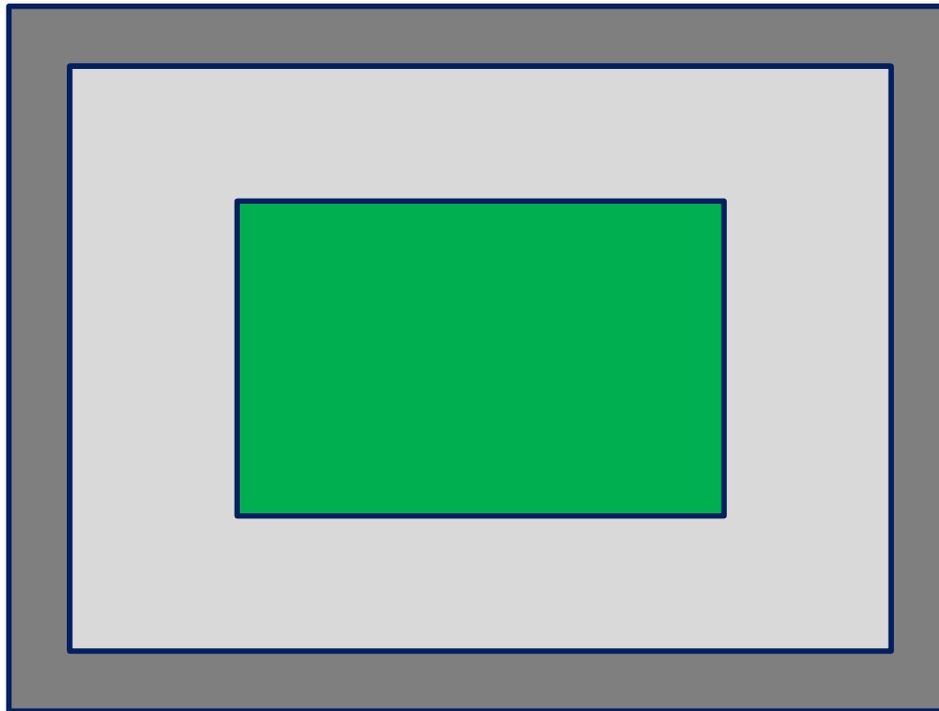


Bild: memmert

Siebherstellung: 5. Belichten mit Fotoplott

3

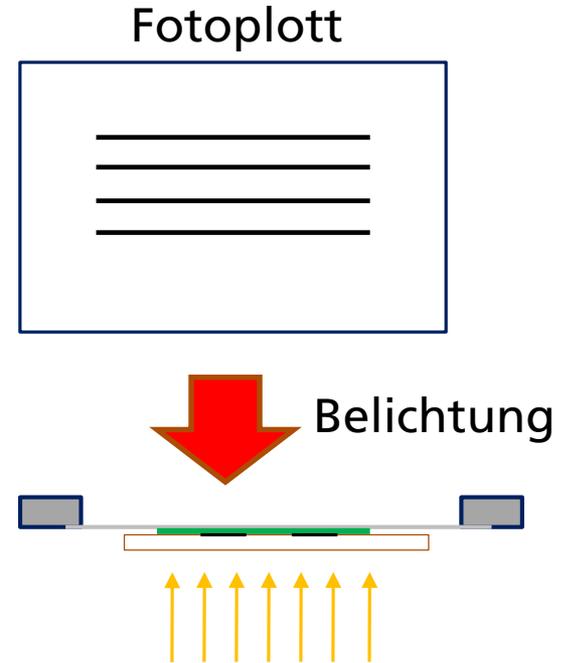
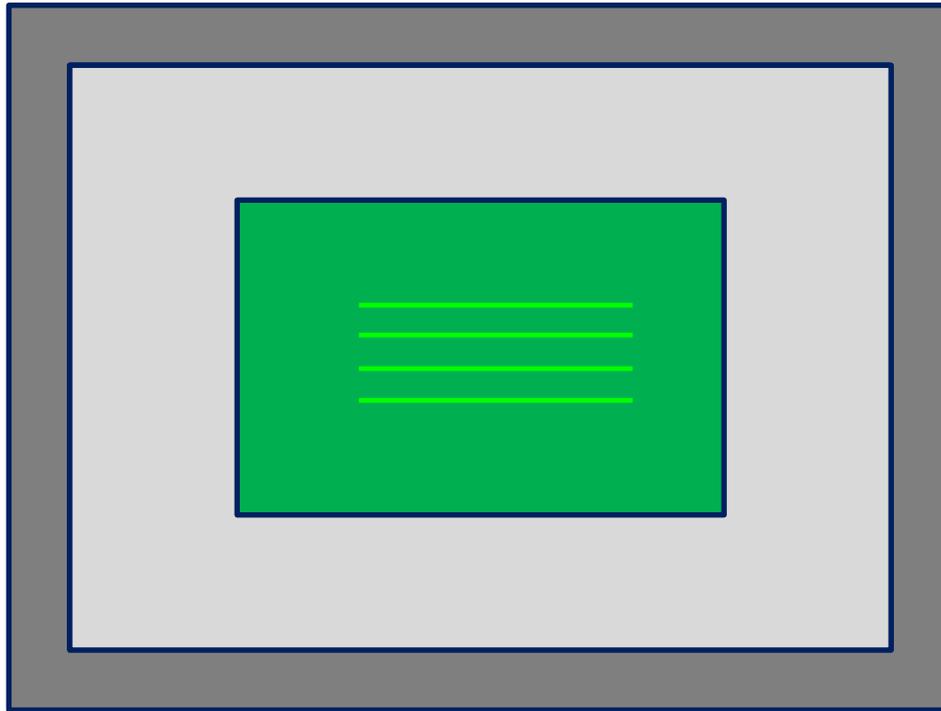


Bild: Siebdruckland.de

Siebherstellung: 6. Entwickeln

3

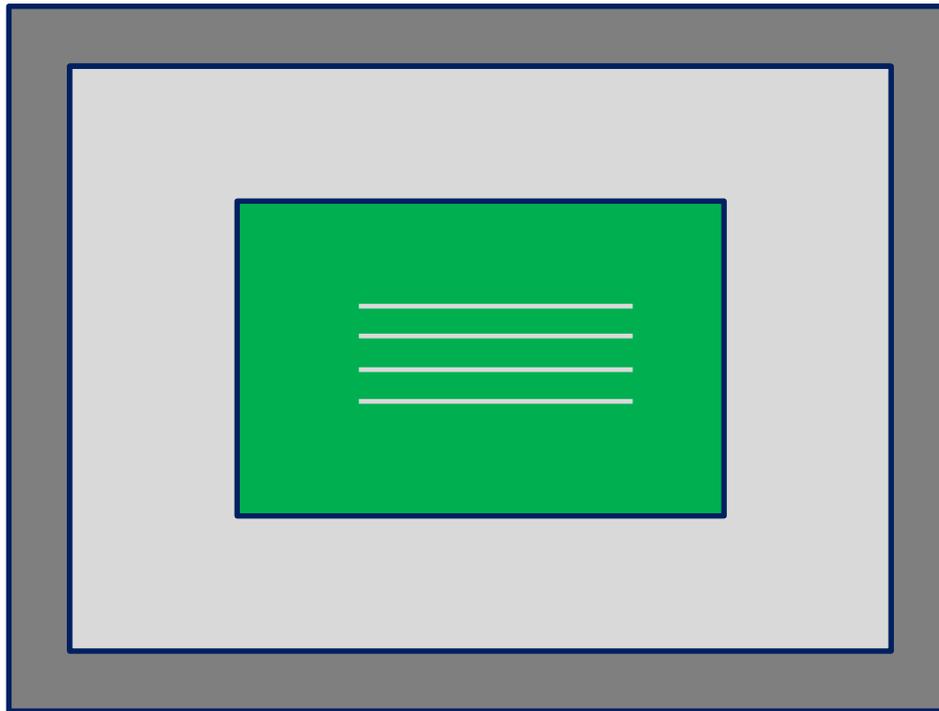


Bild: walterlemmen.de

Siebherstellung: 7. Randbeschichtung/Trocknen

3

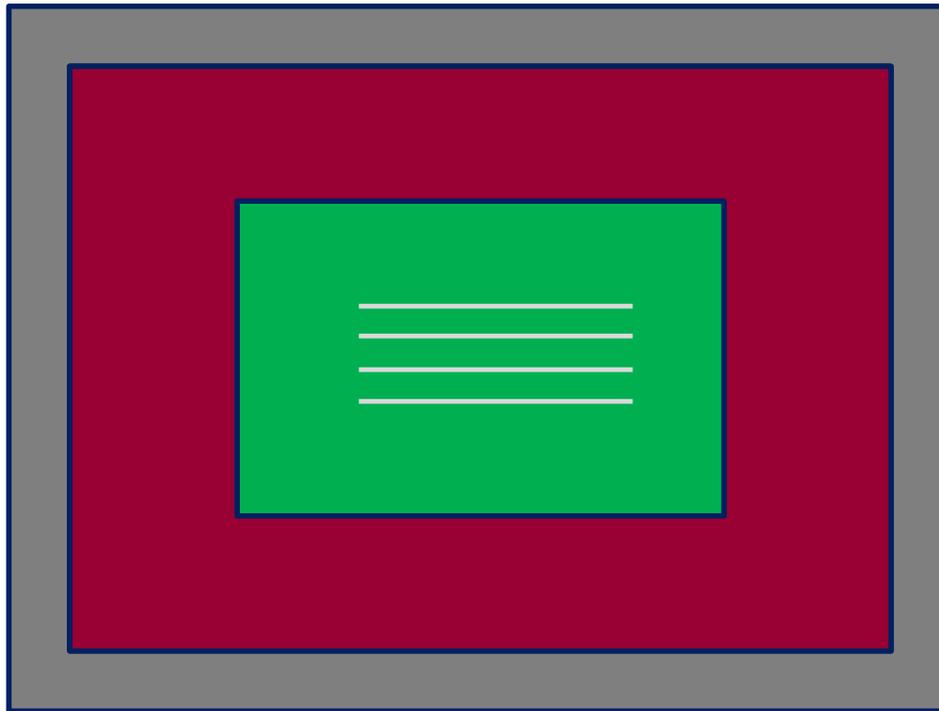
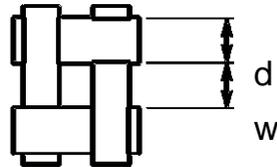
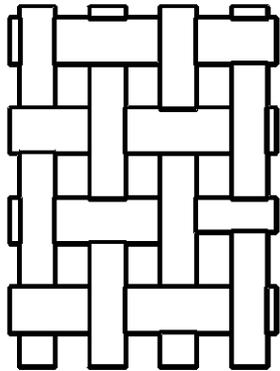


Bild: Könen

Siebgewebe (ausgewählte Siebparameter)

Siebparameter



- Drahtdurchmesser d (μm) 16 ... 70
- Maschenweite w (μm) 20 ... 300
- Meshzahl m (Maschen pro Zoll) 70 ... 600
- Öffnungsverhältnis \ddot{o} (%) 25 ... 70
- Gewebedicke D_G (μm) 30 ... 150
- Theoretisches Farbvolumen V_{th} (cm^3/m^2) 20 ... 100

$$w = \frac{25,4\text{mm}}{m} - d$$

$$D_G = (2 \dots 2,5)d$$

(Kalandriert -20%)

$$\ddot{o} = \frac{w^2}{(w + d)^2}$$

$$V_{\text{th}} = \ddot{o} * (D_G + E_D)$$

kommerzielle Siebgewebe

Gewebe- bezeichnung		Maschen- weite	Draht- stärke	Maschen- anzahl	offene Siebfläche	Gewebe- dicke	theoret. Farbauftrag	Gewebe- dicke	theoret. Farbauftrag
		w in μm	d in μm	25.4 mm	A_o in %	D in μm	V_{th} cm^3/m^2	D_c in μm	V_{th} cm^3/m^2
SD+	32/18	32	18	500	41 %	36 ± 2	15	32 ± 2	13
SD+	40/23	40	23	400	40 %	46 ± 2	19	40 ± 2	16
SD+	40/25	40	25	400	38 %	50 ± 2	19	42 ± 2	16
SD+	45/18	45	18	400	51 %	36 ± 2	18	31 ± 2	16
SD+	56/16	56	16	350	60 %	33 ± 2	20	27 ± 2	16
SD+	50/28	50	28	325	41 %	56 ± 2	23	49 ± 2	20
SD+	50/30	50	30	325	39 %	60 ± 2	23	50 ± 2	20
SD+	53/24	53	24	325	47 %	48 ± 2	23	38 ± 2	18
SD+	56/32	56	32	300	40 %	64 ± 2	26	52 ± 2	21
SD+	63/36	63	36	250	40 %	72 ± 2	29	61 ± 2	25
SD+	65/20	65	20	300	58 %	40 ± 2	23	30 ± 2	18
SD+	67/25	67	25	280	53 %	50 ± 2	27	40 ± 2	21
SD+	71/30	71	30	250	49 %	60 ± 2	30	48 ± 2	24
SD+	75/36	75	36	230	46 %	72 ± 2	33	59 ± 2	27
SD+	80/30	80	30	230	53 %	60 ± 2	32	49 ± 2	26
SD+	85/25	85	25	230	60 %	50 ± 2	30	37 ± 2	22
SD+	90/36	90	36	200	51 %	72 ± 2	37	57 ± 2	29
SD+	90/40	90	40	200	48 %	80 ± 2	38	65 ± 2	31
SD+	98/30	98	30	200	59 %	60 ± 2	35	47 ± 2	28
SD+	265/50	265	50	80	71 %	100 ± 2	71	60 ± 2	42

Quelle Bilder: www.koenen.de

Einsatz von Druckformen

Einsatz von Druckformen

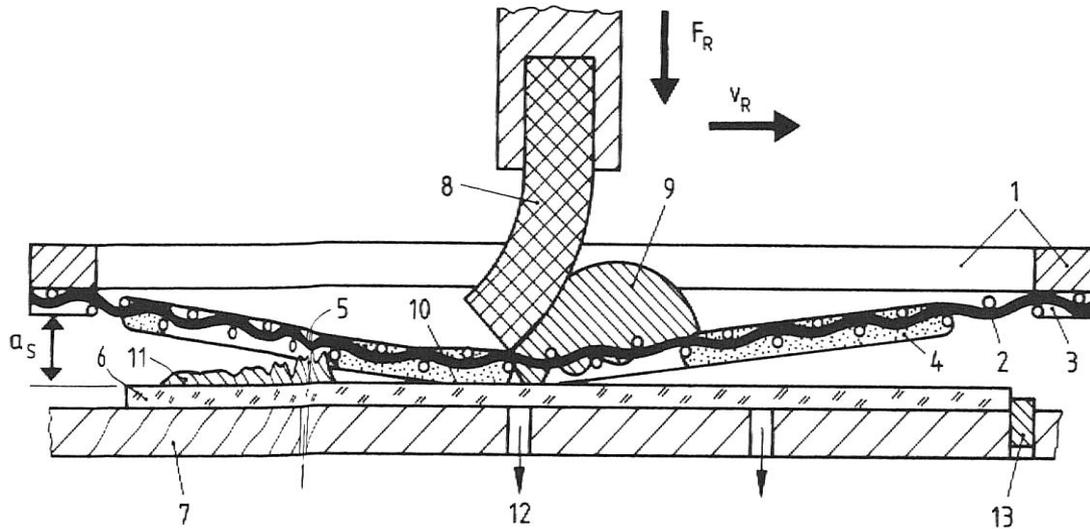


Siebart		Technologie	Bemerkung	Standzeit
Gewebesieb	direkt	Emulsionsauftrag (fotoempfindlich)	unkontrollierte Emulsionsdicke, Auflösung maschenquerender Strukturen mangelhaft	sehr hohe Standzeit (bis 100.000 Drucke)
	indirekt	fotoempfindlicher Film	kontrollierte Emulsionsfilmdicke, Auflösung maschenquerender Strukturen hervorragend	schneller Herstellungsprozess, mittlere Standzeit
	direkt/ indirekt	Fotoempfindlicher Film (Druckseite) und fotoempfindliche Emulsion	kontrollierte Emulsionsfilmdicke, Auflösung maschenquerender Strukturen gut	gute Detailtreue, hohe Standzeit
Metallfolien Kontaktdruck	direkt	Metallfolie, Lochstruktur von oben und Druckstruktur von Druckseite geätzt	sehr gute Detailtreue und Kantenschärfe bei an Druckstruktur angepasste Lochstruktur	extrem hohe Standzeit (!! bei sehr sorgfältigem Handling !!, Preis --)
		Laserstrukturiert, Kunststoffauftrag (außerhalb der Drucköffnungen) zur Abdichtung beim Druck	bei angepasster Lochstruktur <50 µm Linienbreite/-abstände möglich	Abnutzung der Kunststoffschicht
	indirekt	strukturierte Metallfolie (geätzt, laserstrukturiert, gestanzt)	auf Gewebesieb (unbeschichtet) geklebt oder gelötet	Gefahr der Abscherung der Folie
Metallfolien Absprungdruck	indirekt	strukturierte Metallfolie (geätzt, gebohrt, laserstrukturiert, gestanzt)	Rand der strukturierten Folie auf gespanntes Gewebesieb geklebt, Gewebe über Druckstruktur entfernt	Gefahr der Abscherung

Quelle: Jillek, Keller „Handbuch der Leiterplattentechnik“

Siebdruck

Prinzip Siebdruck

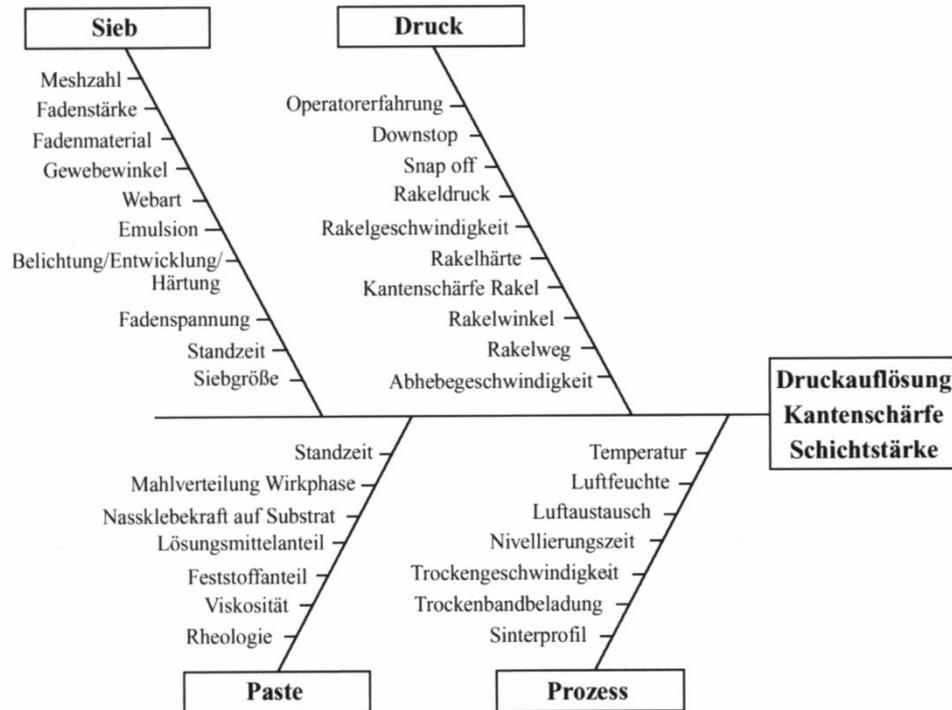


- 1 Siebrahmen
- 2 Schablonenträger (Siebgewebe)
- 3 Epoxydharzkleber
- 4 Siebdruckschablone (Fotopolymer)
- 5 Druckbild (Struktur)
- 6 Substrat
- 7 Drucktisch
- 8 Rakel
- 9 Dickschichtpaste
- 10 Siebschlepe
- 11 Druckstruktur (Druckstrukturbild)
- A Absprung
- F Rakelanpresskraft
- v Rakelgeschwindigkeit

Quelle: Hanke „Hybridträger“

Begriffe: (vgl. auch DIN 16 610)

Einflussfaktoren in der Dickschichttechnik

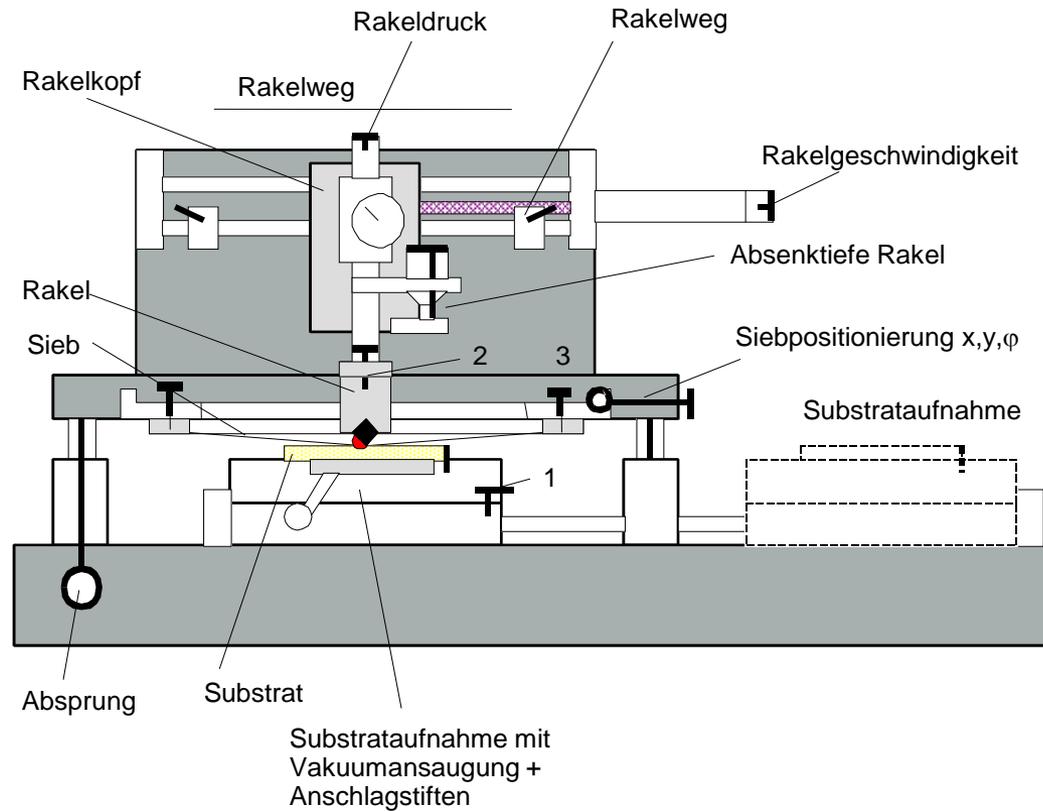


Quelle: Jillek, Keller: Handbuch der Leiterplattentechnik Bd. 4

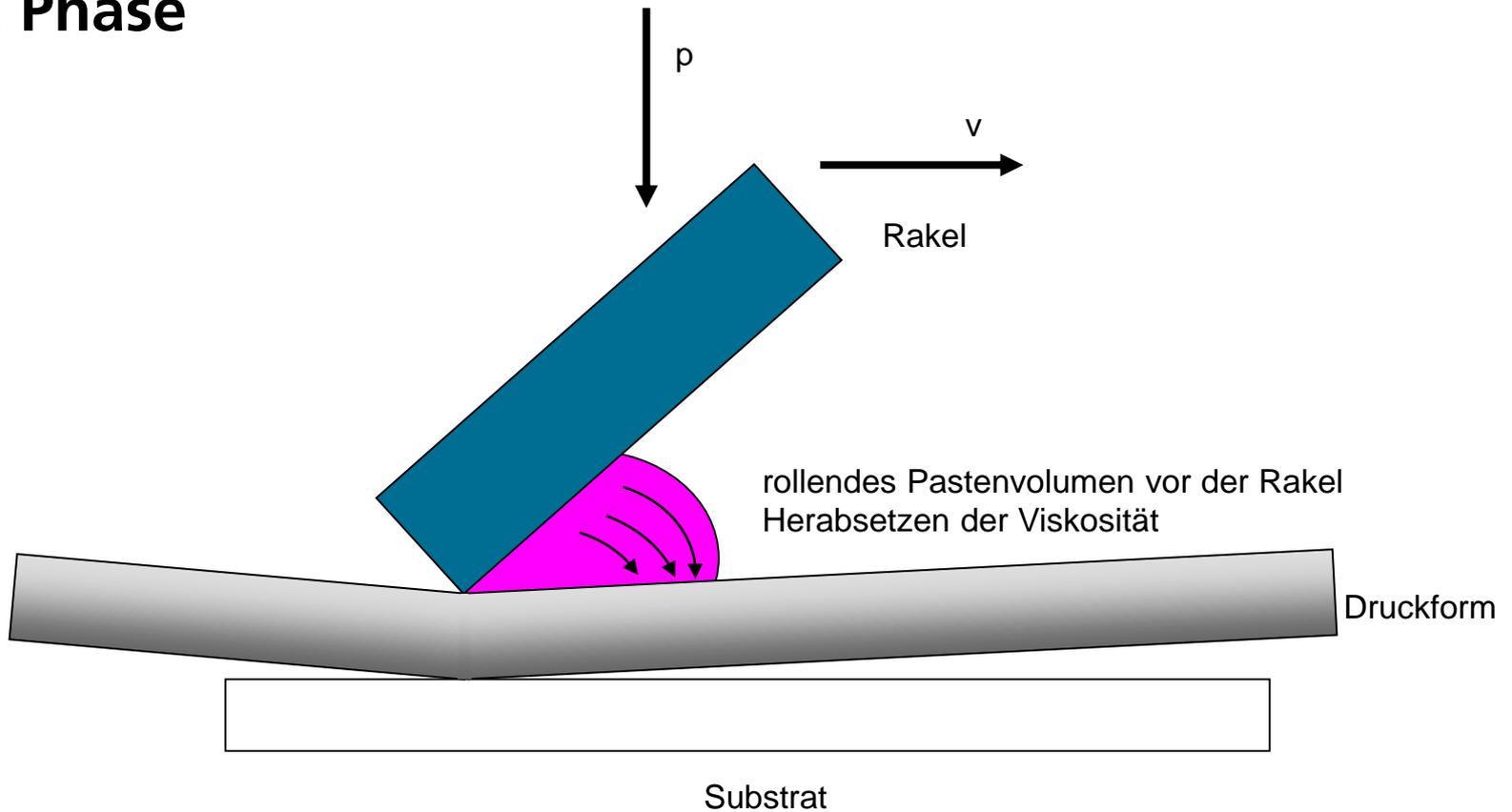
Wesentliche Einflussfaktoren während des Siebdrucks

- Absprung
- Rakelgeschwindigkeit
- Rakeldruck
- Verfahrlänge
- Siebvorspannung, Siebgröße
- Druckbildgröße
- Pastentheologie
- Umweltbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, ...)
-

Prinzipieller Aufbau eines Siebdruckers

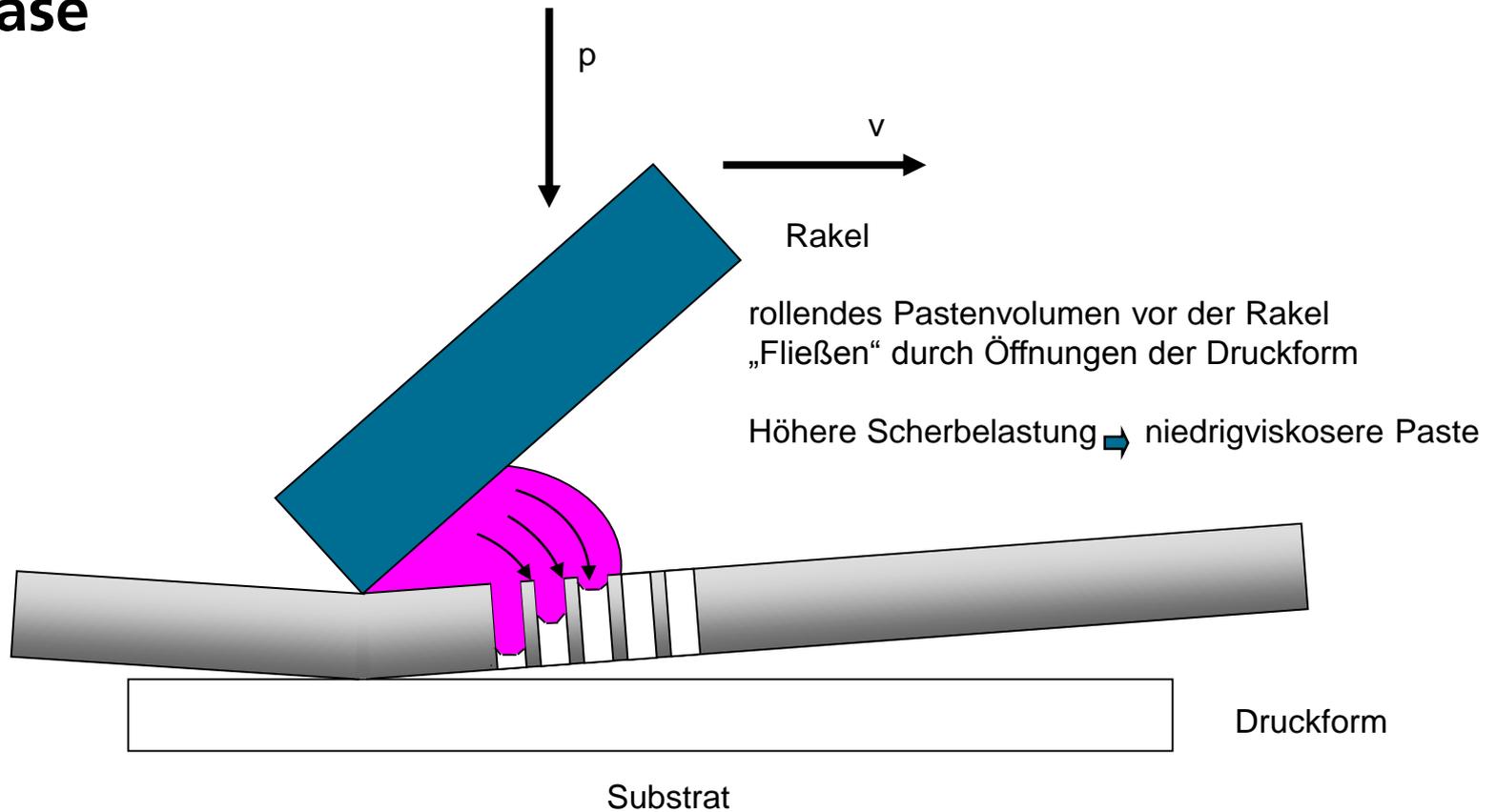


1. Phase



Prinzipbild: Nicht maßstäblich!

2. Phase

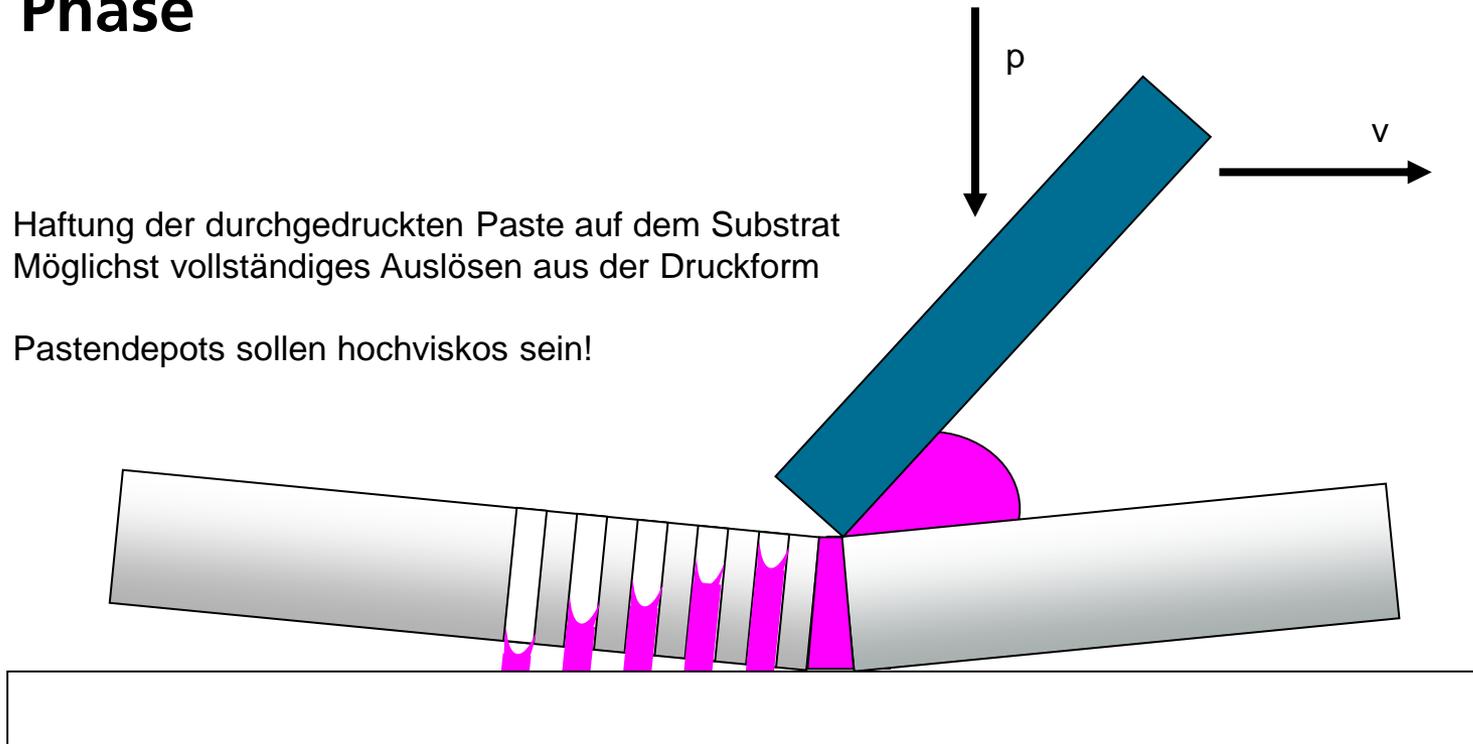


Prinzipbild: Nicht maßstäblich!

3. Phase

Haftung der durchgedruckten Paste auf dem Substrat
Möglichst vollständiges Auslösen aus der Druckform

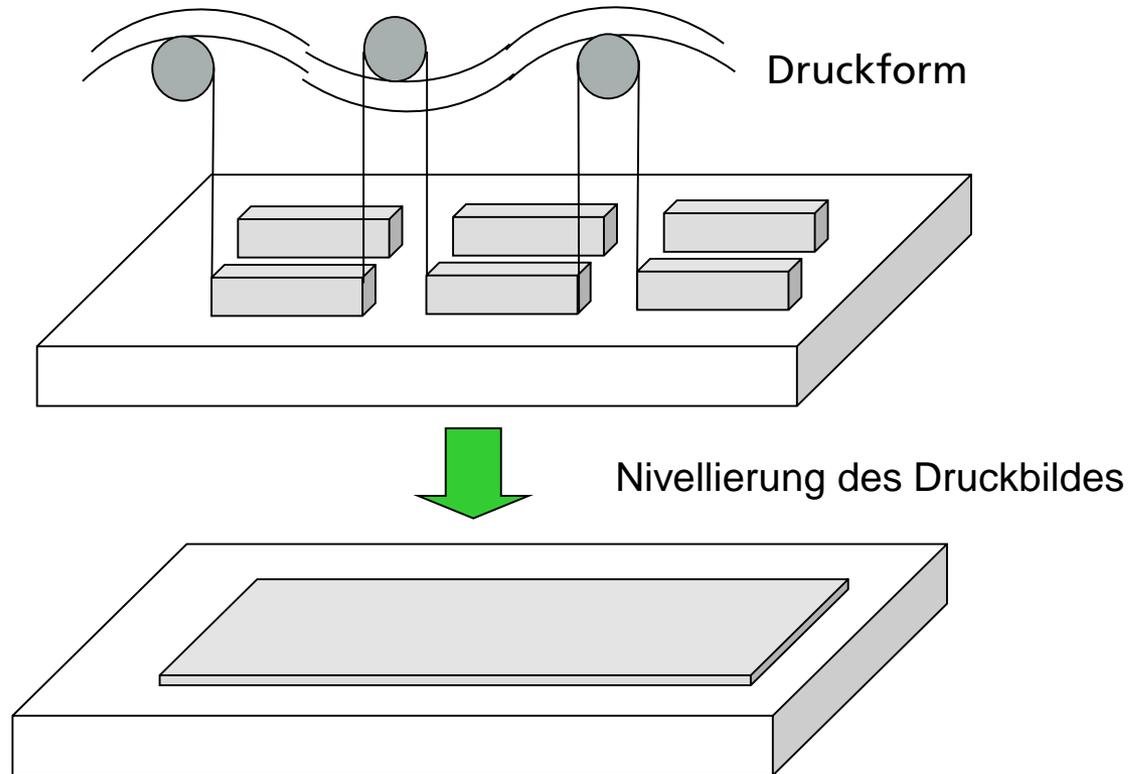
Pastendepots sollen hochviskos sein!



Auslösen der Paste !!

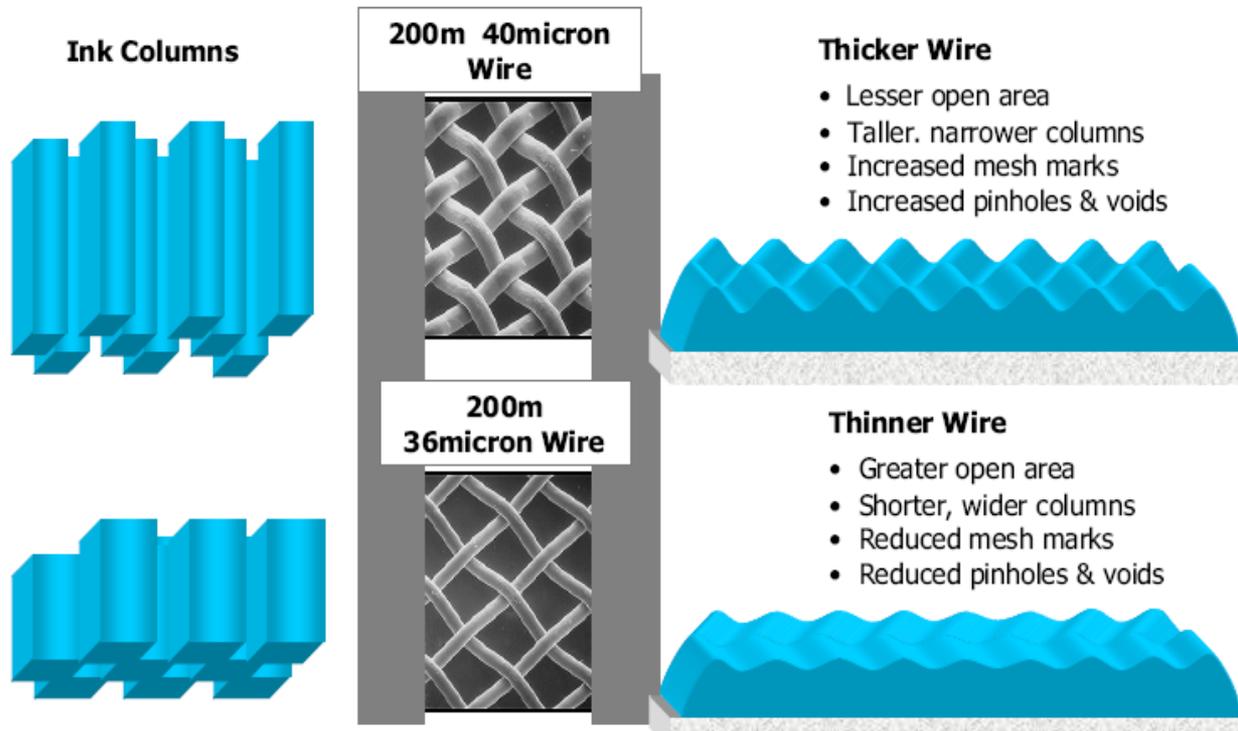
Prinzipbild: Nicht maßstäblich!

4. Phase



Prinzipbild: Nicht maßstäblich!

Einfluss der Siebparameter auf das Druckbild



Quelle: John Oleksyn
DuPont Bristol UK

Einflussgrößen auf Druckprozess

(Zusammenfassung)

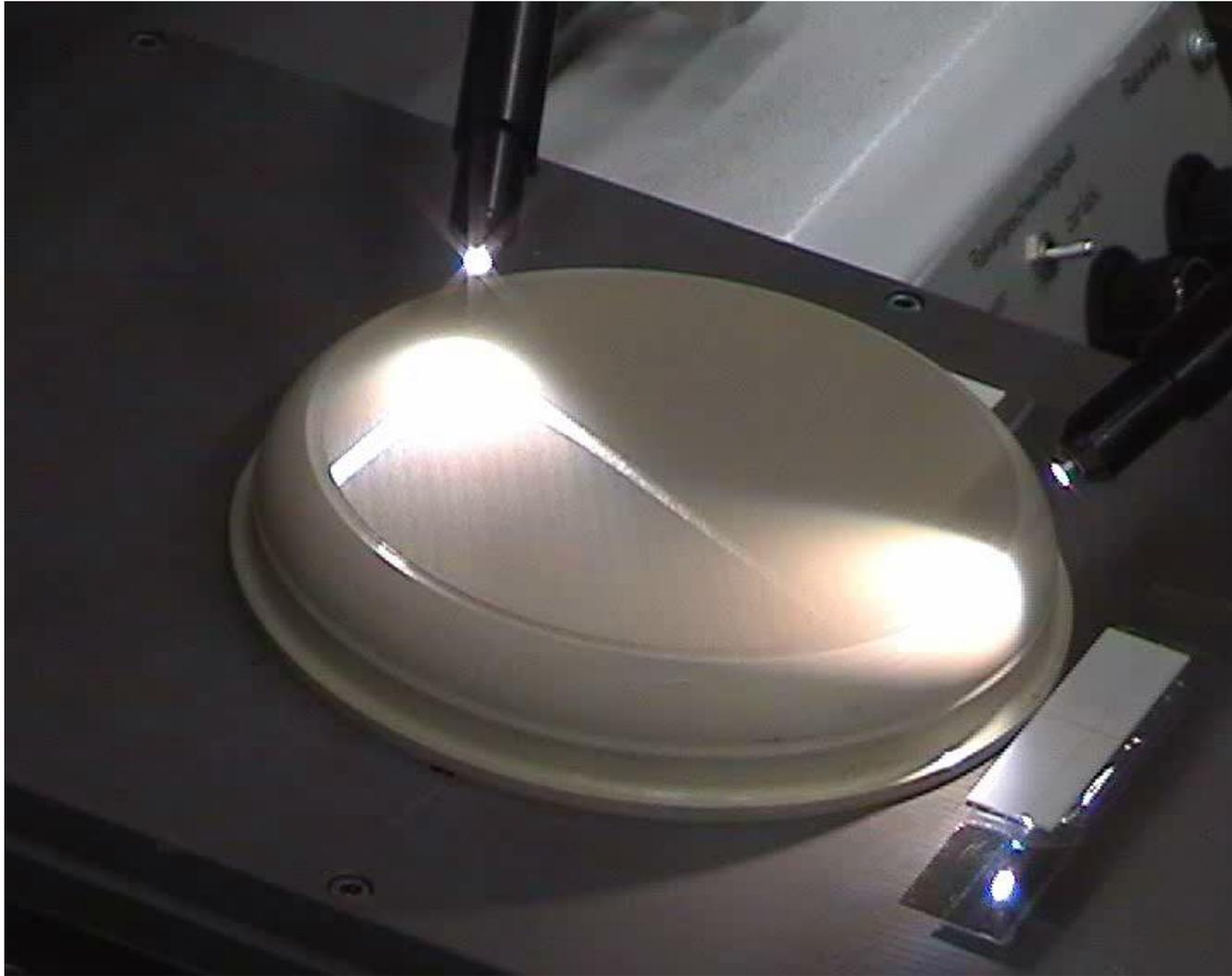
	I. Phase - Strömung der Paste vor der Rakel	II. Phase - Strömung der Paste durch die Druckformöffnung	III Phase - Entformung der Paste	IV Phase - Ausgleich der Paste auf Substrat
Pasten-einflüsse	<ul style="list-style-type: none"> • Viskosität • Pastenvolumen 	<ul style="list-style-type: none"> • Viskosität • Thixotropie • Teilchengröße • Fließgrenze 	<ul style="list-style-type: none"> • Visokoelastizität • Viskosität • Adhäsionskräfte 	<ul style="list-style-type: none"> • Viskosität • Thixotropie • Oberflächenspannung • Fließgrenze • Teilchenform
Prozess-einflüsse	<ul style="list-style-type: none"> • Rakelwinkel • Druckgeschwindigkeit • Rakelkraft 	<ul style="list-style-type: none"> • Druckgeschwindigkeit • Rakelkraft 	<ul style="list-style-type: none"> • Abhegeschwindigkeit 	
Druckform-einflüsse	<ul style="list-style-type: none"> • Eigenschaften der Druckformoberfläche 	<ul style="list-style-type: none"> • Geometrie der Druckstruktur • Druckformdicke 	<ul style="list-style-type: none"> • Geometrie der Druckstruktur • Wandungsfläche • Druckformabmessung • Siebspannung 	<ul style="list-style-type: none"> • Schichtdicke
Druckstruktur-einflüsse		<ul style="list-style-type: none"> • Siebgewebe • Druckstruktur 	<ul style="list-style-type: none"> • Grundfläche auf dem Bedruckgut 	<ul style="list-style-type: none"> • Strukturbreiten, -abstände

Absprung

- mindestens notwendiger Absprung für die Entformung
- maximal zulässiger Absprung der Gewebedehnung
- maximal zulässiger Absprung der Druckstrukturdehnung
- maximal zulässiger Absprung zur Vermeidung des Unterdrückens in Rakelrichtung

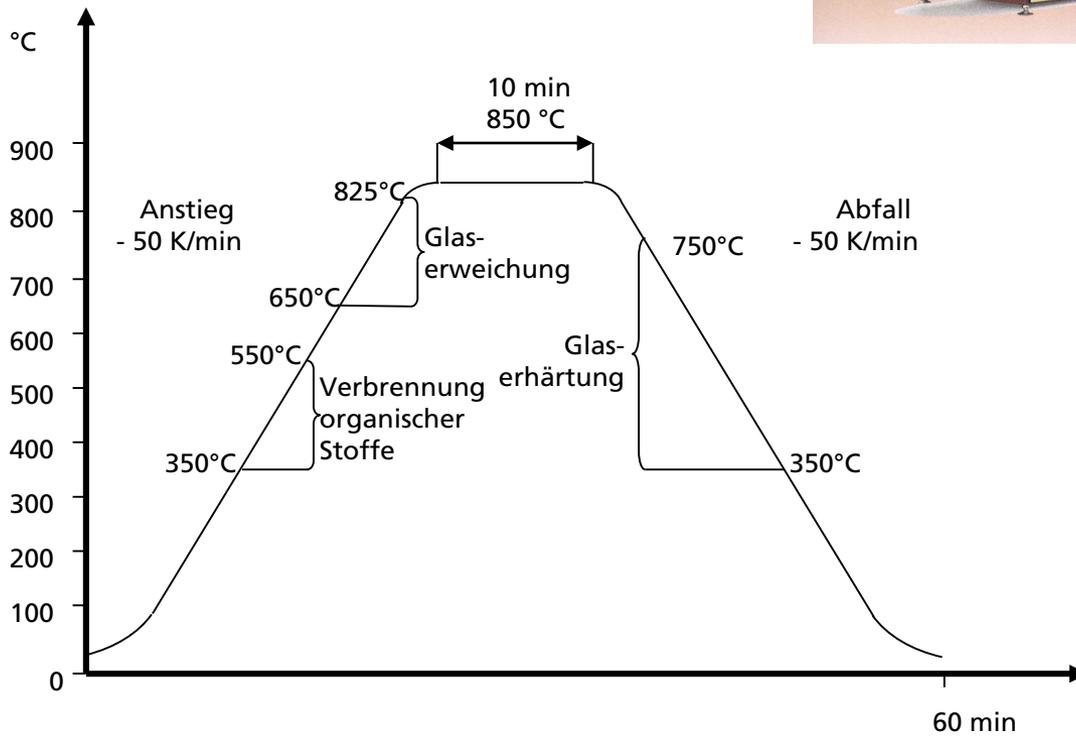
- Druckbildgröße, Rakelweg, Siebvorspannung, Flächenbelegung des Druckbildes, Siebgröße
- Siebgewebeart, Siebgröße, Rakelbreite, Siebvordehnung
- Siebgröße, Druckstrukturgröße, Rakelbreite
- Siebgröße, Emulsionsdicke, Rakelkraft, Pastenvolumen vor der Rakel

Siebdruck Bsp. EKRA



Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018

Brennprofil



Thermische Prozesse

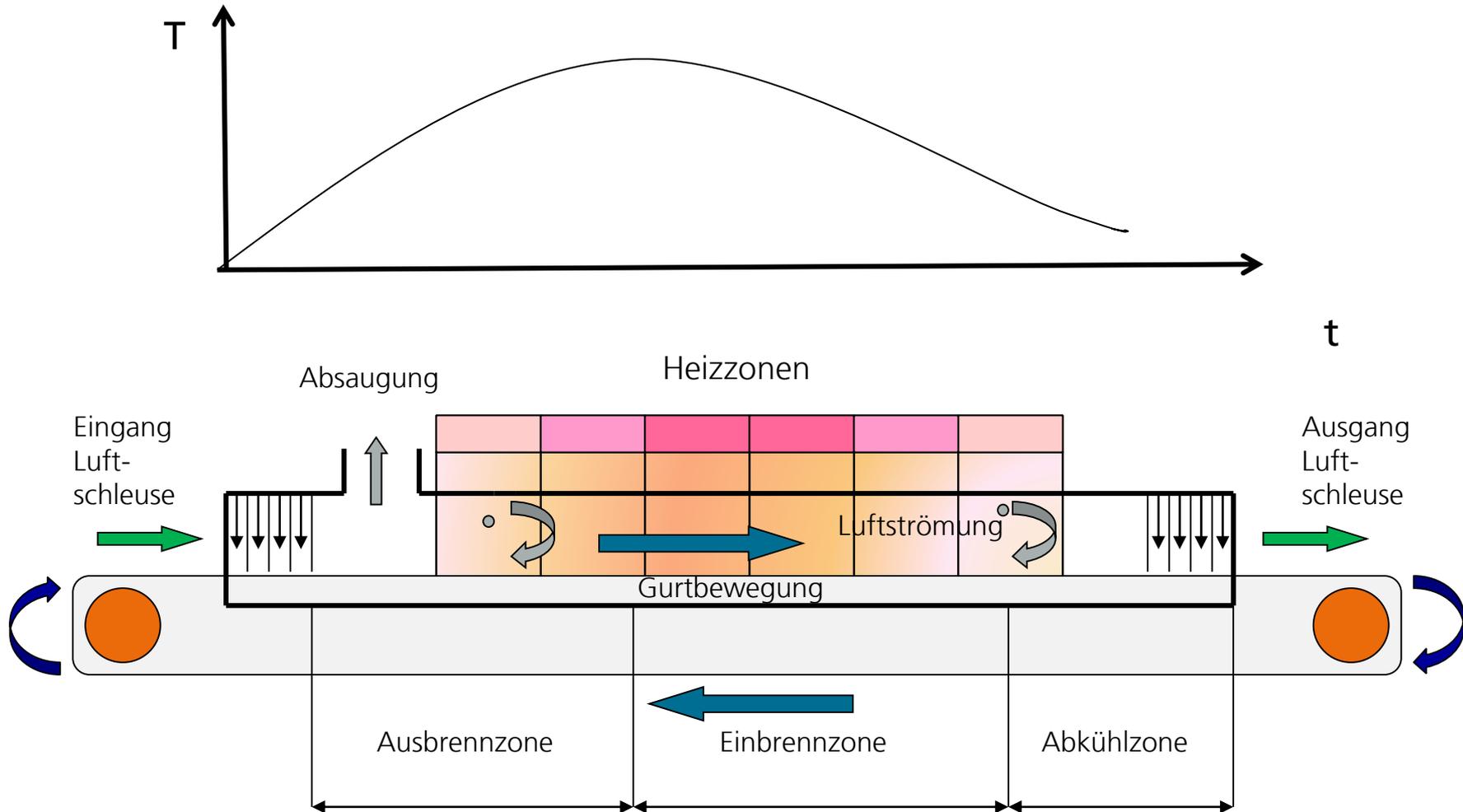
allgemein:

- Trockenprozess
 - Verdampfen der Lösungsmittel
 - Adsorption der Druckträgerpolymere auf den Feststoffteilchen
- Ausbrennprozess
 - Polymerzersetzung und -entfernung durch Oxidation und / oder Pyrolyse
- Einbrennprozess
 - Glaserweichung und Ausbildung der mechanischen Haftmechanismen
 - Sinter- und Legierungsprozesse
 - Ausbildung des chemischen Haftmechanismus
 - Oxidations- und Reduktionsreaktionen
 - Kristallisation von Gläsern

Pastenart Trocknungsbedingungen weitere Temperaturprozesse

CERMET-Pasten (Leit-, Widerstands-, Isolationspasten)	Trocknen 120 °C - 150 °C	Ausbrennen 200 °C - 500 °C	Einbrennen > 500 °C typisch 850 °C, 900 °C, 925 °C
		im allgemeinen wird das Ausbrennen und Einbrennen als Brennprozess in einem Tunnelofen durchlaufend.	
Abdeckpasten	Trocknen 120°C - 150 °C	Ausbrennen 200 °C - 500 °C	Einbrennen bzw. Aufschmelzen typisch 450 °C, 500°C
Lotpasten	Trocknen bei Raumtemperatur	Aufschmelzen 200 °C - 280 °C	
Polymerpasten (Leit-, Widerstands-, Isolationspasten)	Trocknen 60 °C - 125 °C	Aushärten 150 °C - 400 °C	

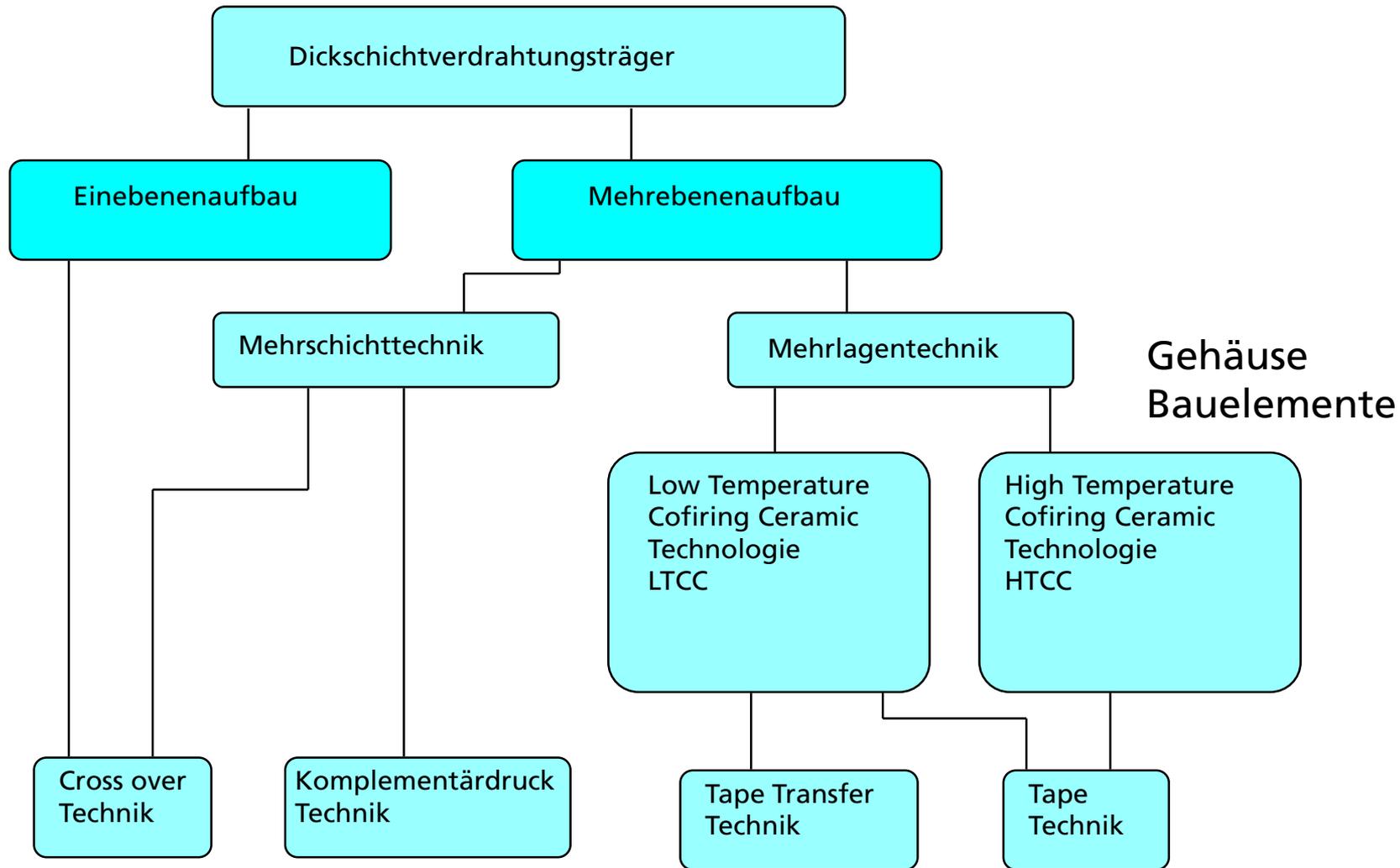
Schematischer Aufbau eines Dickschichtofens



Einfluss ungenügender Gasmenge beim Einbrennen

Leiterbahnen	Widerstände	Dielektrika
hoher Widerstand	kleiner Widerstand	Blasenbildung
schlechte Oberflächenrauigkeit	großer Widerstand	hohe Porosität
schlechte Lötbarkeit	schlechte Oberfläche	hohes $\tan \delta$
geringe Haftung		

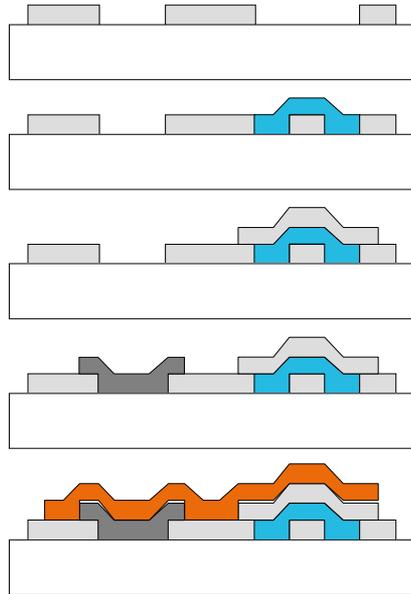
Einordnung Dickschichtverdrahtungsträger



Technologieablauf beim Mehrebenenbau

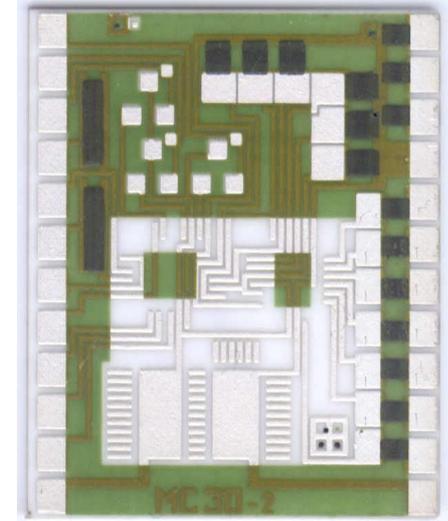
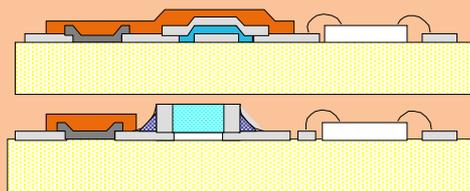
1

Cross over Technik

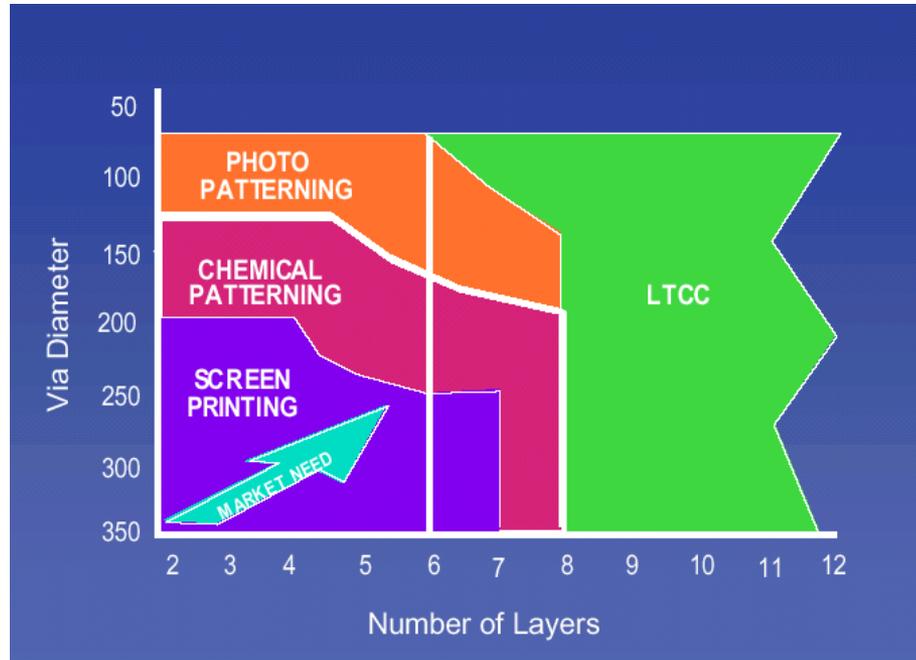


Leitstrukturdruck / Trocknen	
Brennen	850 °C
Isolationsdruck / Trocknen	
Brennen	850 °C
Isolationsdruck / Trocknen	
Brennen	850 °C
Leitstrukturdruck / Trocknen	
Brennen	850 °C
Widerstandspastendruck / Trocknen	
Brennen	850 °C
Abdeckpastendruck / Trocknen	
Brennen	500 °C

Montage

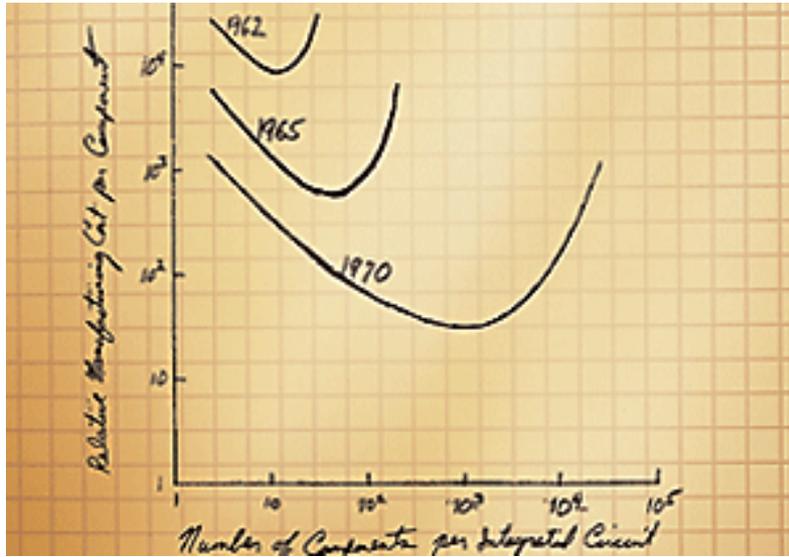


Technologietreiber

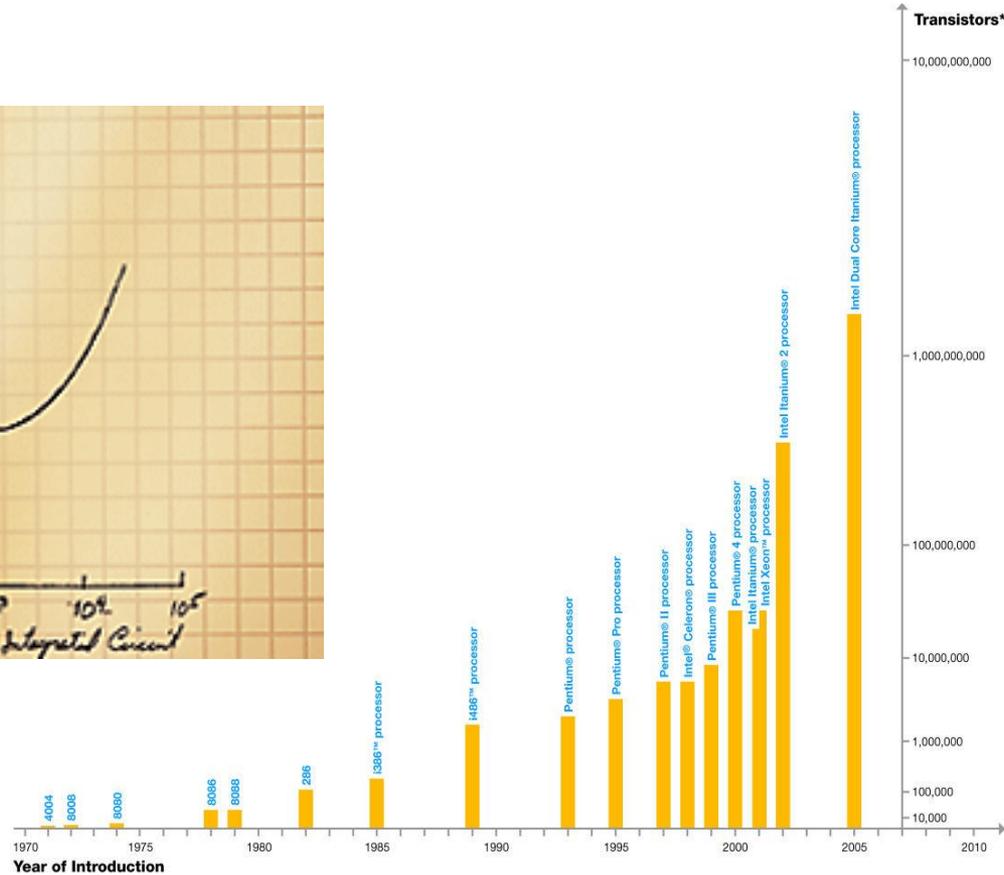


Quelle: 1998 National Electronics Manufacturing
Technology Roadmaps

Technologietreiber „Performance“ – Moore’s Law



Moore's Law
Gordon E. Moore 1964
Quelle: www.intel.com/technology/mooreslaw



*Note: Vertical scale of chart not proportional to actual Transistor count.

Technologietreiber „Performance“ – > Roadmap

Jahr	2004	2005	2006	2007	2008	2009
max. Verlustleistung [W]						
Low-cost	2,7	2,8	3,0	3,0	3,0	3,0
High-performance	160	170	180	190	200	200
max. Anschlusszahl						
Low-cost	122-500	134-550	144-600	160-660	180-720	180-800
High-performance	3000	3400	3800	4000	4400	4600
Chip-board-Freq. [MHz]						
Low-cost	100	100	100	100	100	100
High-performance	2500	3125	3906	4883	6103	7629
max. Junc.-Temp. [°C]						
Low-cost	90	85	85	85	85	85
High-performance	90	85	85	85	85	85

TCM Modul 1

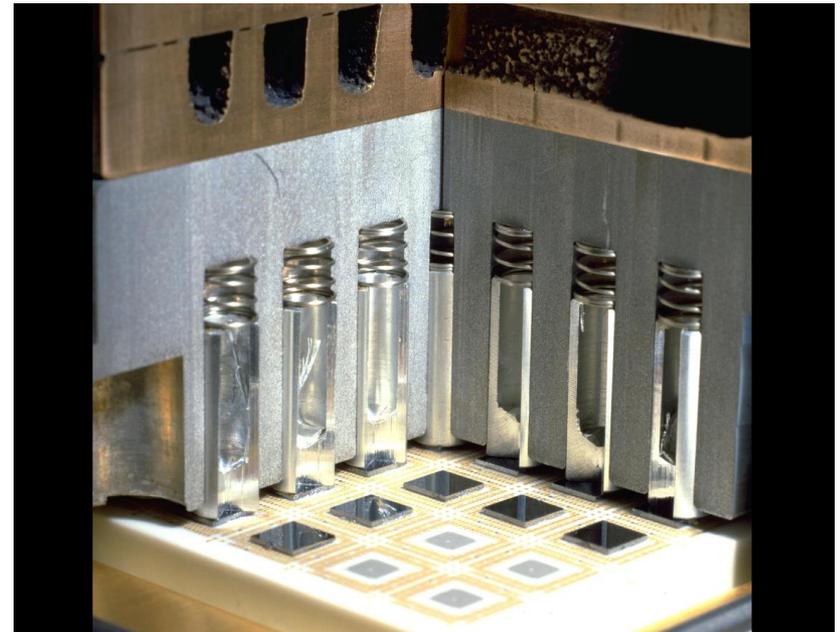
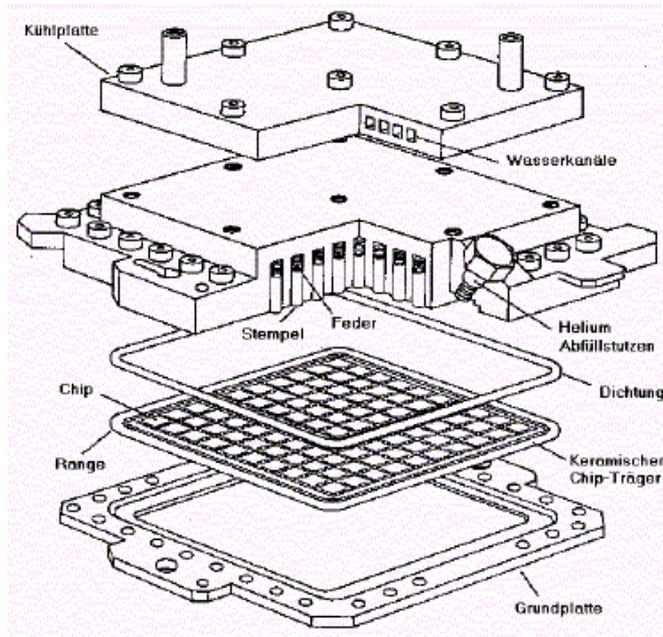
Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018



Quelle: www.ibm.com

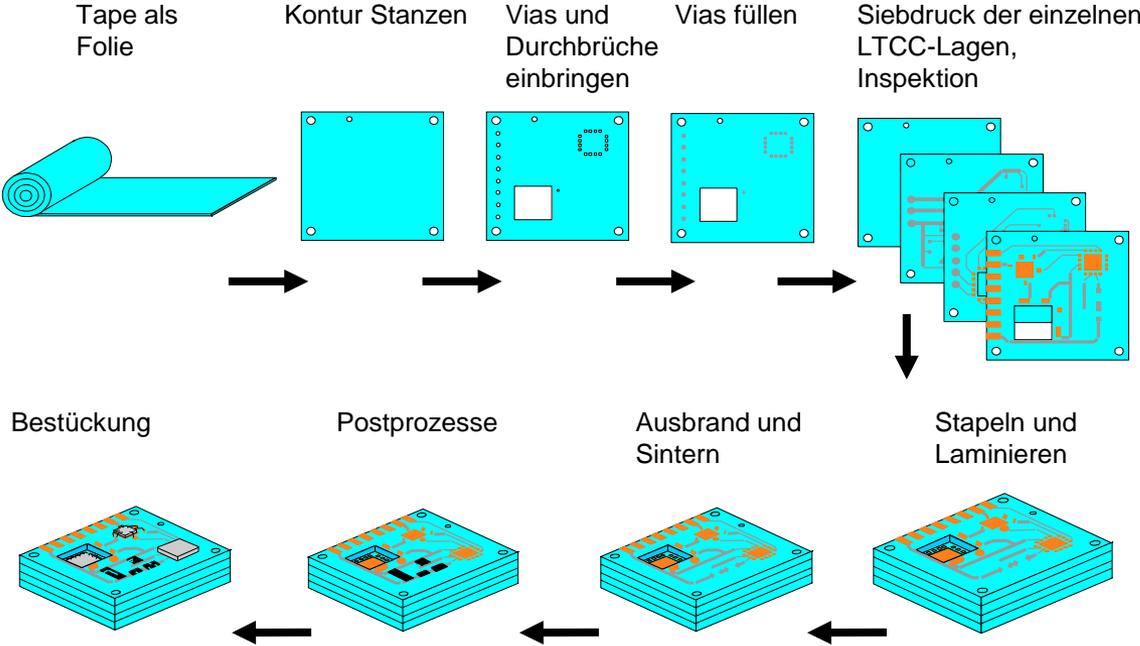
TCM Modul 2

Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018



Standardprozess LTCC

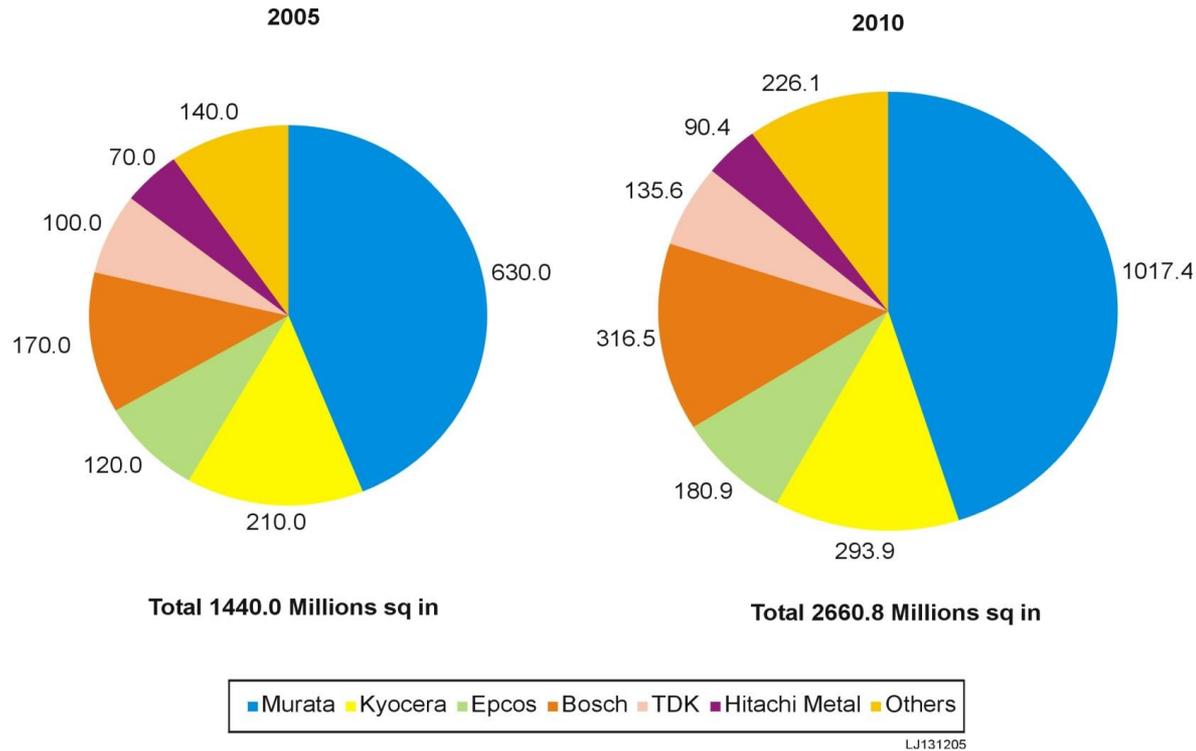
Technologieablauf LTCC



Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018

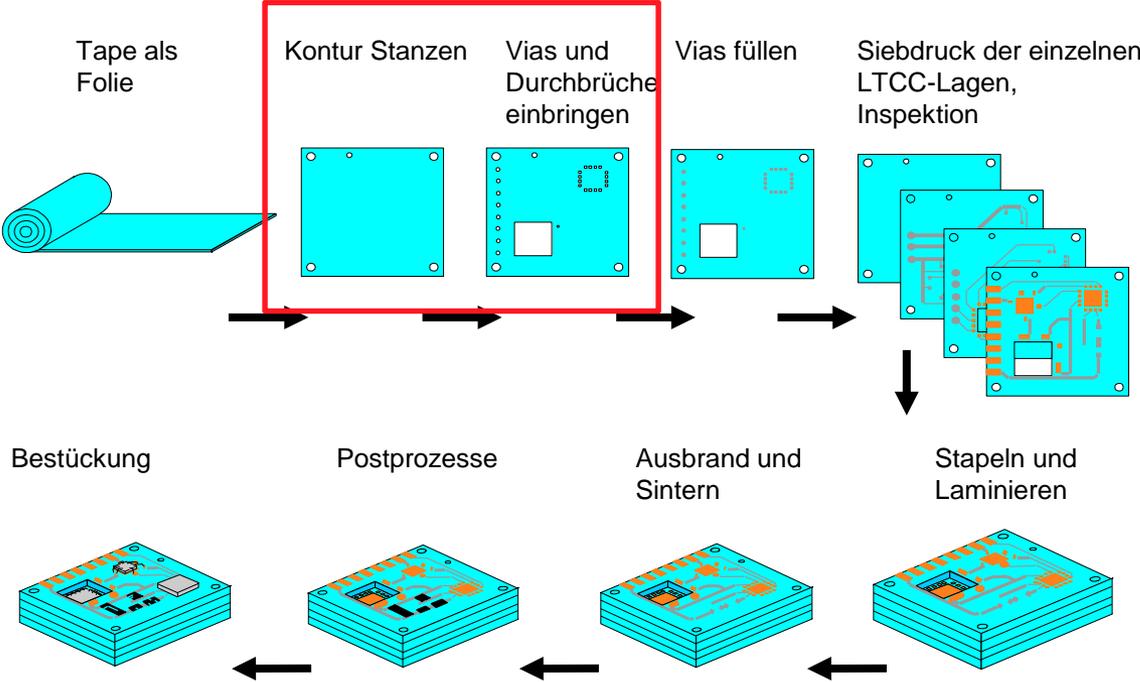
M. Luniak, TUD IA VT

Marktverteilung LTCC



Quelle: BPA Studie 2006

Technologieablauf LTCC



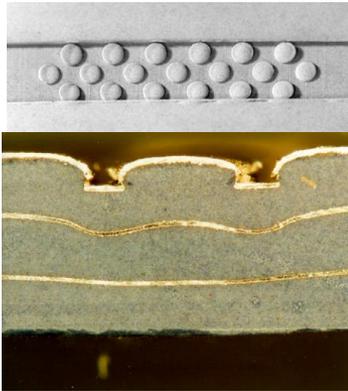
Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018

M. Luniak, TUD IA VT

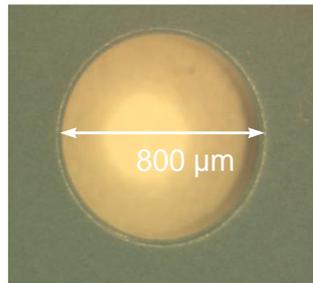
Strukturierung von LTCC Tapes

Mechanisch

Prägen

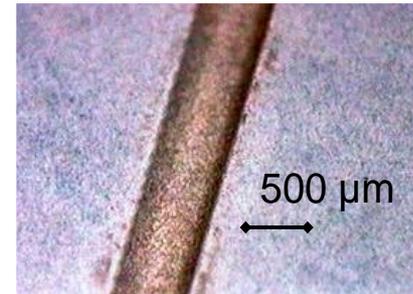


Bohren/ Schneiden



Laserbearbeitung

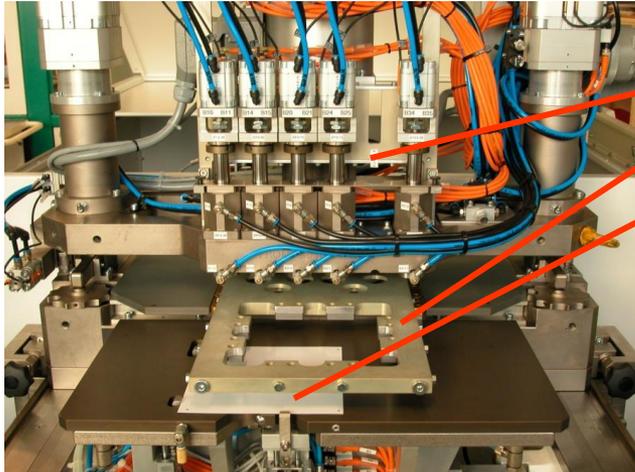
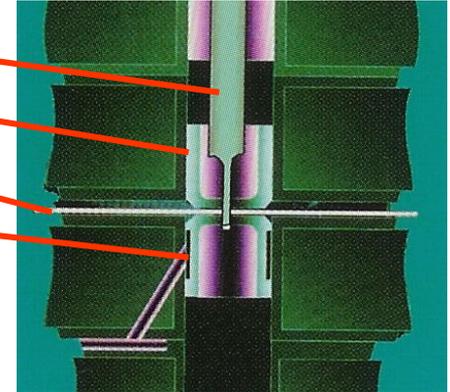
Laserschneiden (CO₂) Laserablation (Nd:YAG)



Via Stanzen

Aufbau eines Stanzwerkzeuges: (schematisch)

- Stanzstempel
- Absteiferbuchse
- LTCC-Grünfolie
- Schnittbuchse



Stanzwerkzeug in der Praxis:

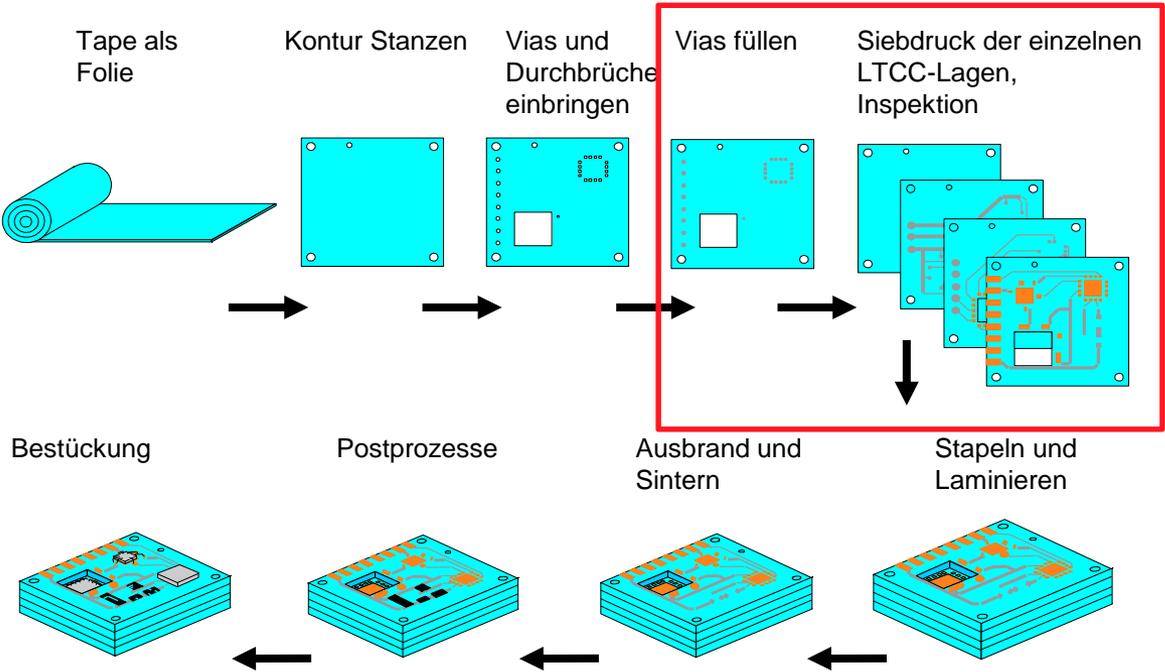
- Präzisions-Stanzwerkzeug mit Mehrfachstempelanordnung
- Substrathalterung (Saugrahmen)
- LTCC-Substrat



Automatische Stanzanlage:

- Entnahme der Folien aus Kassette
- Stanzen
- Inspektion
- Ablage in Einzeltrays

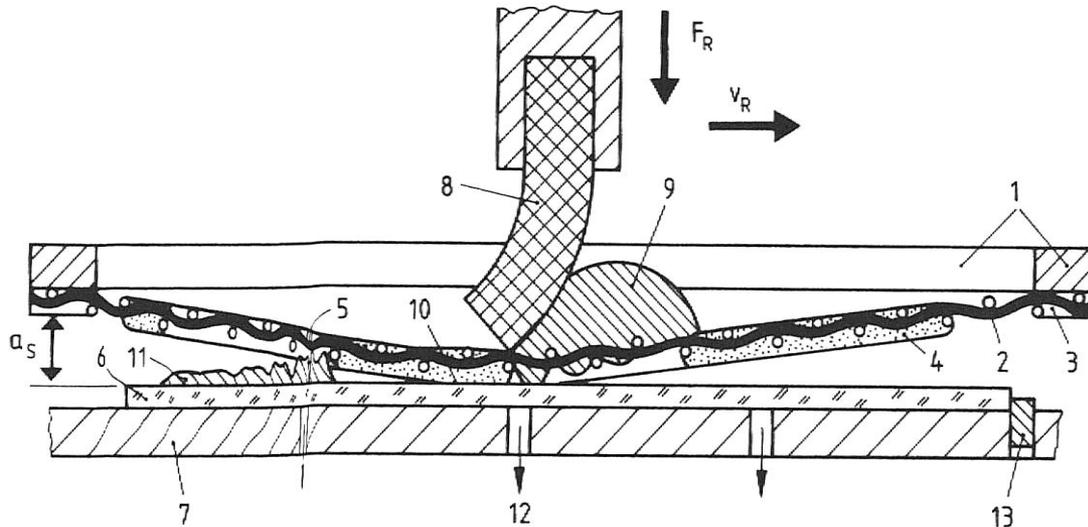
Technologieablauf LTCC



Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018

M. Luniak, TUD IA VT

Prinzip Siebdruck

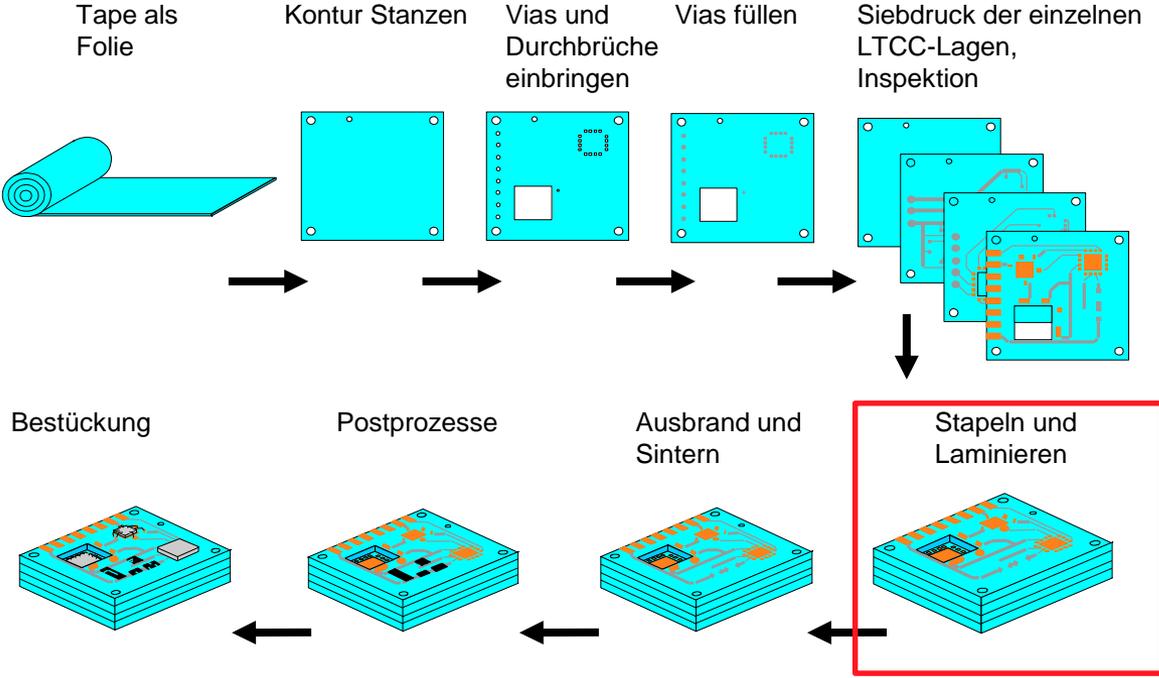


- 1 Siebrahmen
- 2 Schablonenträger (Siebgewebe)
- 3 Epoxydharzkleber
- 4 Siebdruckschablone (Fotopolymer)
- 5 Druckbild (Struktur)
- 6 Substrat
- 7 Drucktisch
- 8 Rakel
- 9 Dickschichtpaste
- 10 Siebschleppe
- 11 Druckstruktur (Druckstrukturbild)
- A Absprung
- F Rakelanpresskraft
- v Rakelgeschwindigkeit

Quelle: Hanke „Hybridträger“

Begriffe: (vgl. auch DIN 16 610)

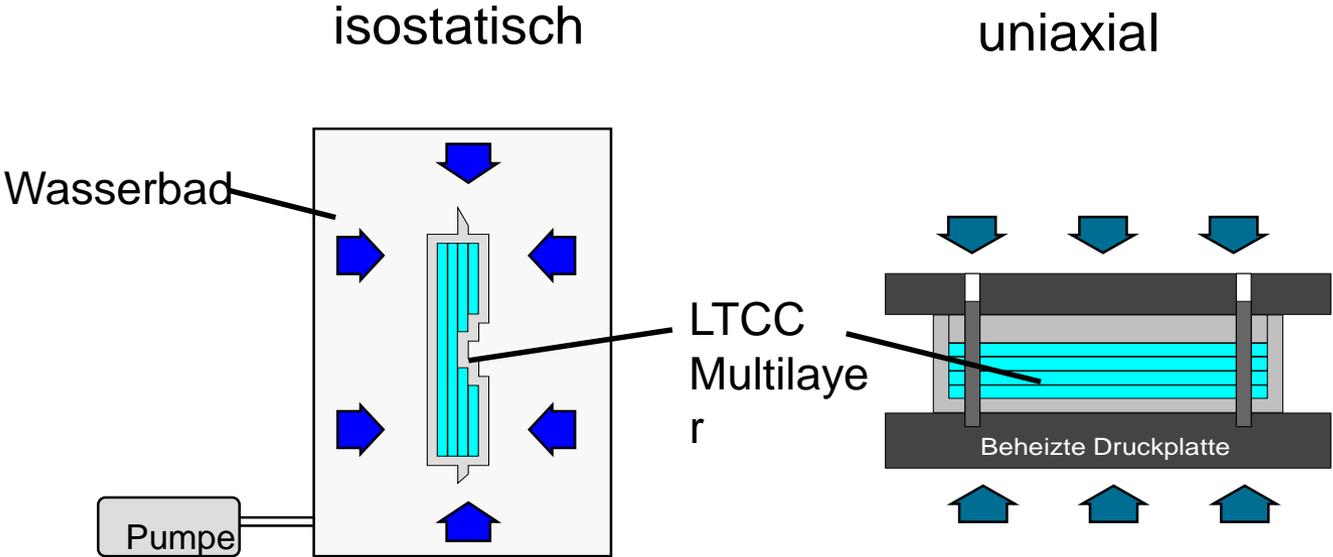
Technologieablauf LTCC



Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018

M. Luniak, TUD IA VT

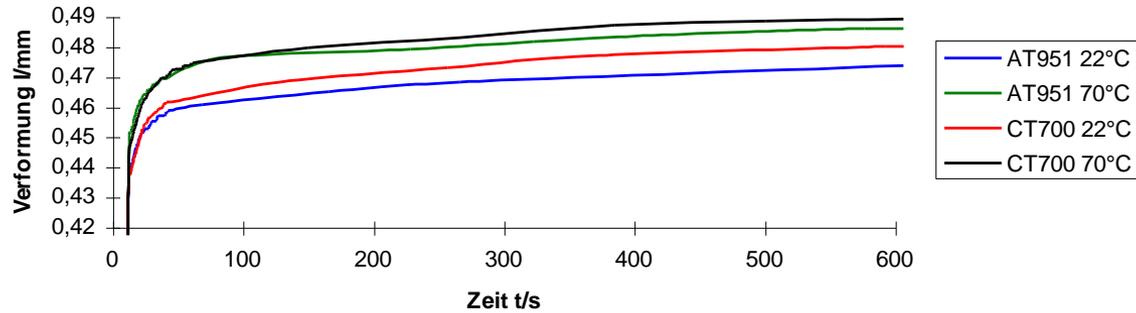
Laminationsverfahren



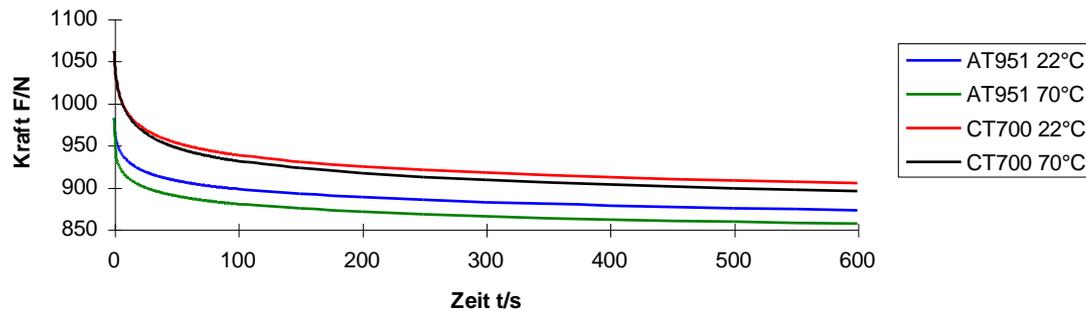
Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018

Materialverhalten im ungesinterten Zustand

Kriechverlauf 8lagige Proben

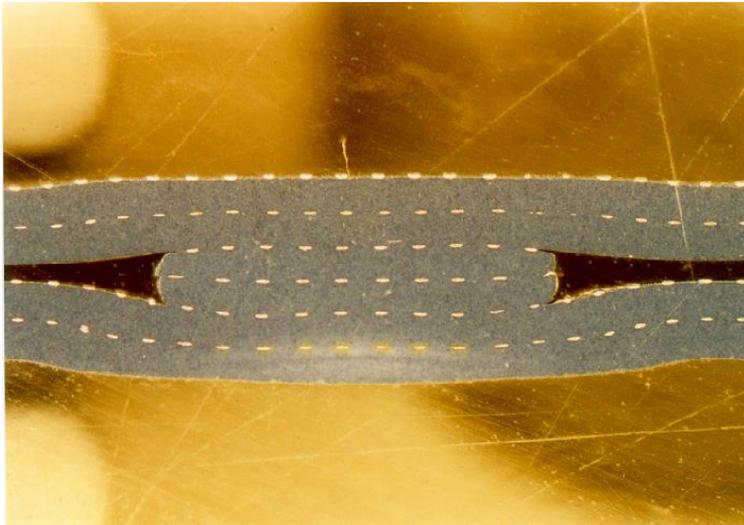


Relaxationsverlauf 8lagige Proben



Lamination

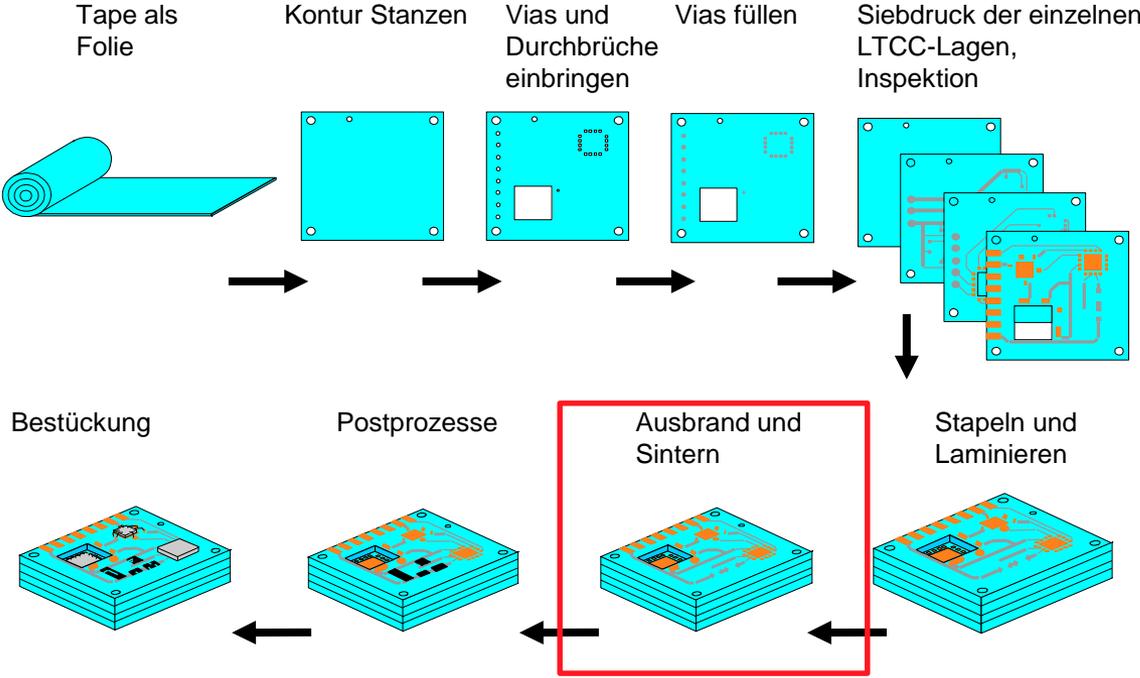
Laminationsparameter zu hoch



Laminationsparameter optimiert



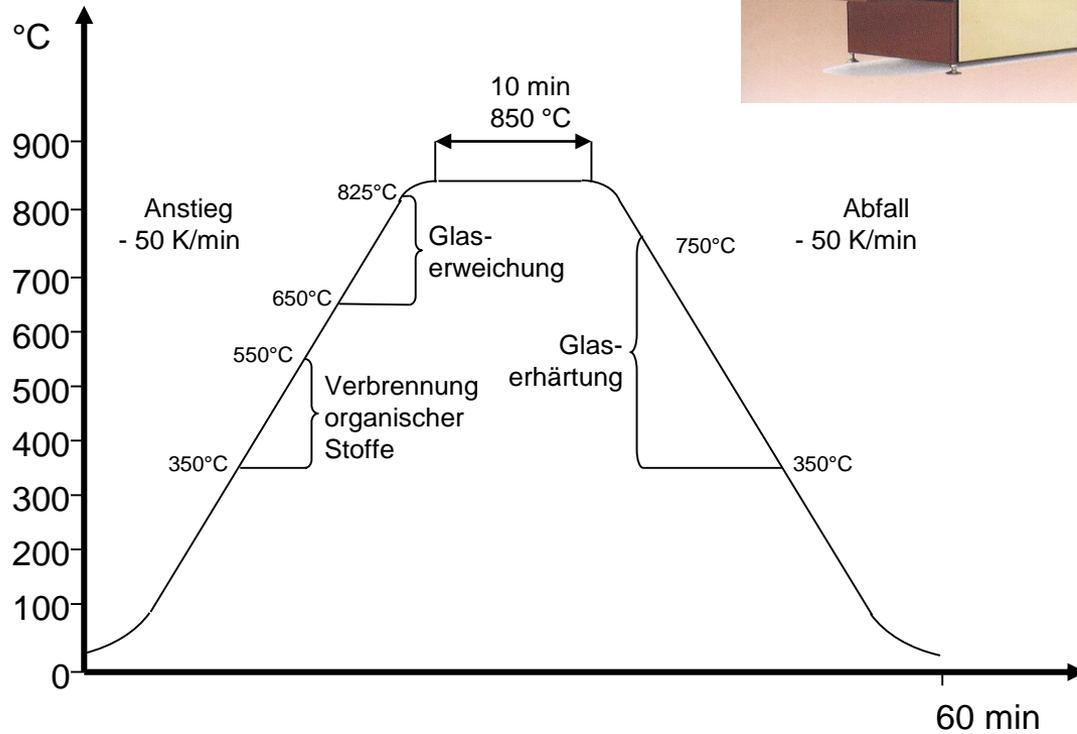
Technologieablauf LTCC



Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2018

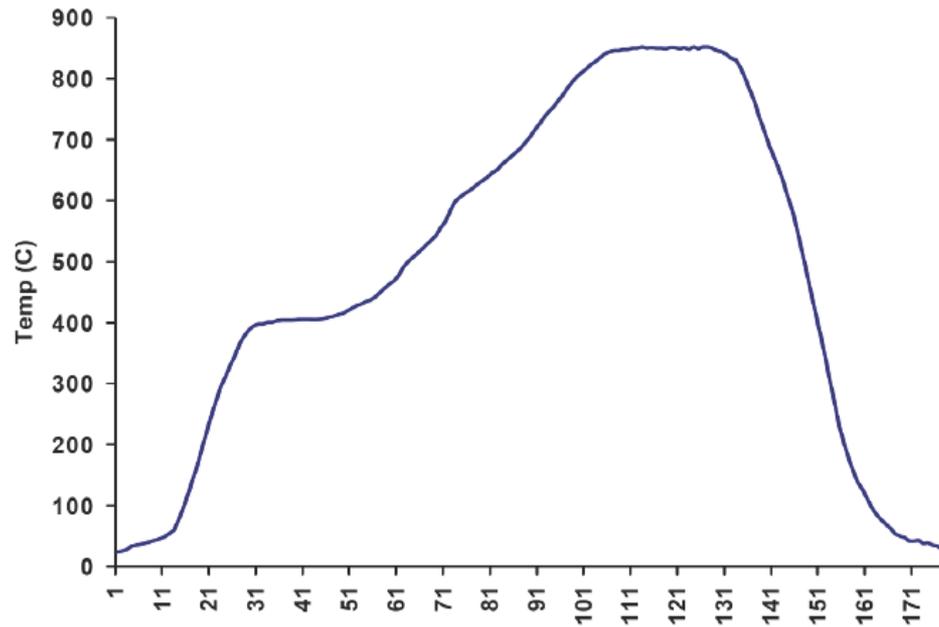
M. Luniak, TUD IA VT

Einbrennprofil für 850 °C Temperaturprofil (Standard DS)



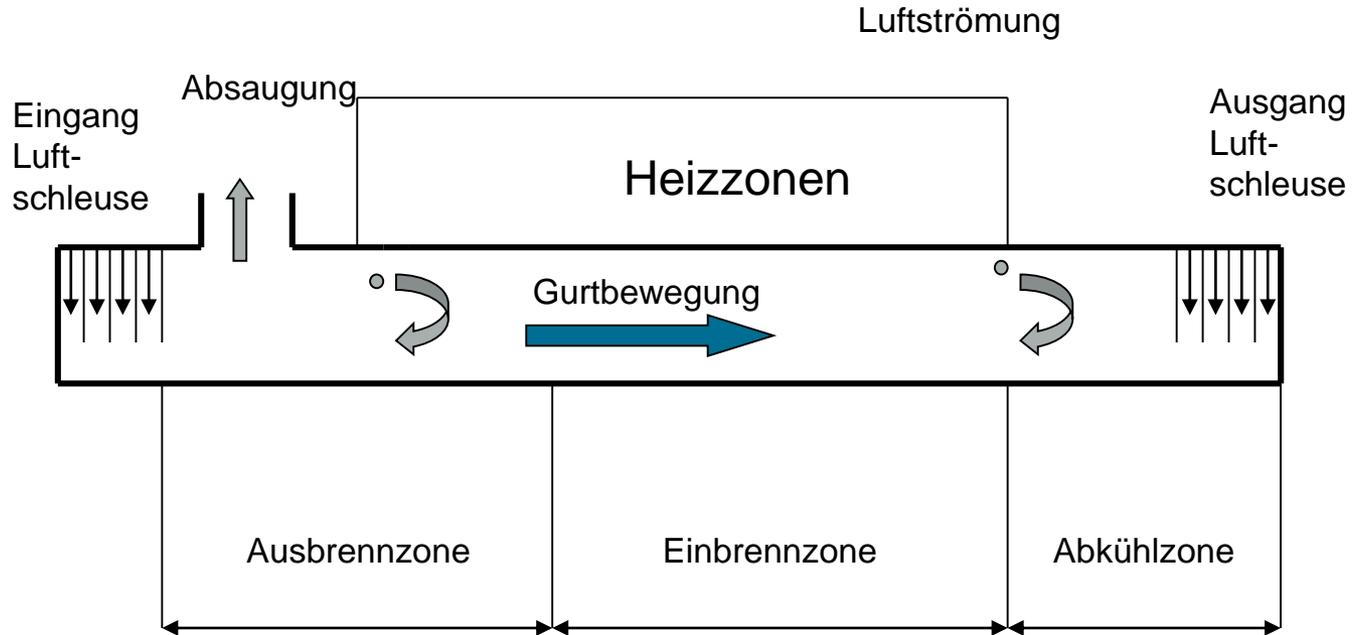
Brennprofil LTCC z.B. DP 951

Recommended Firing Profile

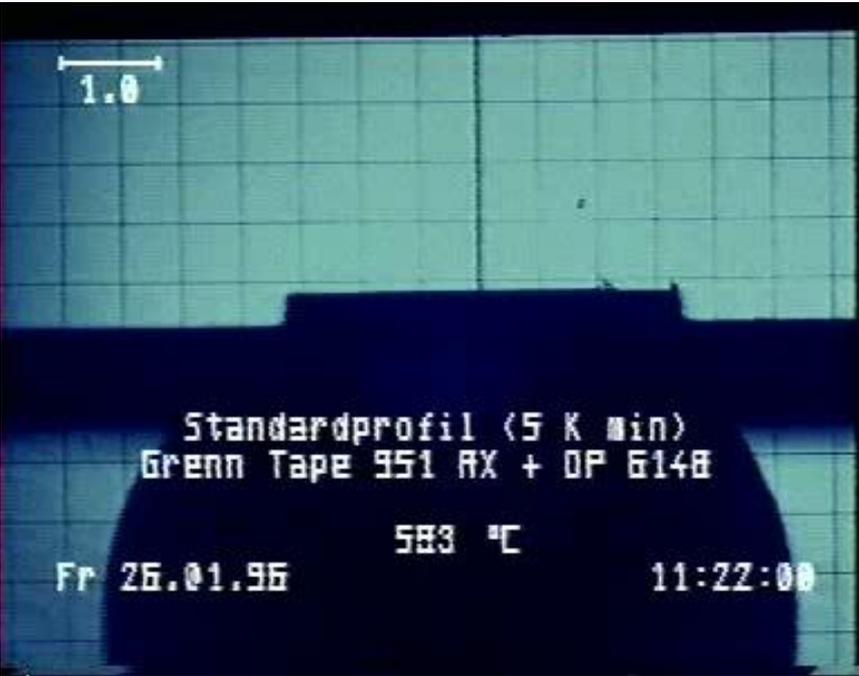


Quelle: Datenblatt DP 951

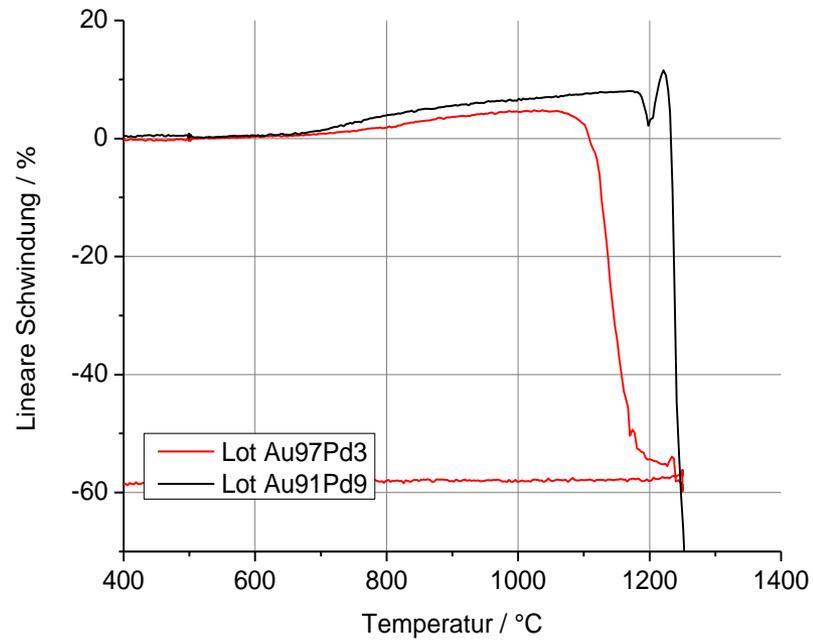
Schematischer Aufbau eines Dickschichtofens



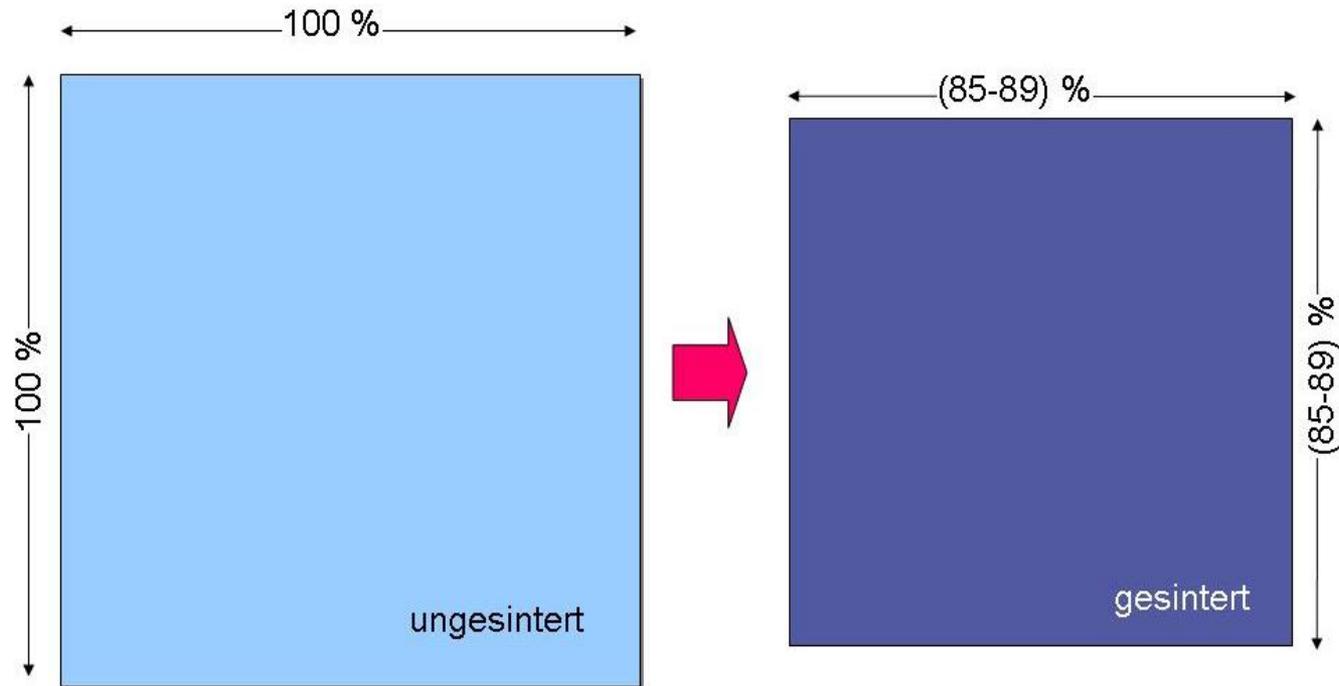
Ausbrand



Schwindungsuntersuchungen



Sinterschrumpf kommerzieller LTCC Materialien



Konzepte zur Unterdrückung des Sinterschrumpfes

	UCS	TOS	PAS	PLAS	SCS
laterale Schrumpfung	12 - 18 %	gering, nimmt mit höherer Dicke zu	0,0 – 0,3 %	0,2 - 0,4 % (Kantenbereich)	0,2 - 0,4 %
Toleranzen	0,15 - 0,4 %	dickenabhängig	0,05 - 0,1 %	0,10%	0,04%
max. Lagenzahl	nahezu unbegrenzt	begrenzt	nahezu unbegrenzt	begrenzt	begrenzt
Folgeprozesse	nach Sintern sofort bereit für Folgeprozesse	nach Sintern sofort bereit für Folgeprozesse	Nachbearbeitung nach Sintern notwendig	Nachbearbeitung nach Sintern notwendig	nach Sintern sofort bereit für Folgeprozesse
Verfügbarkeit	Vielzahl von Materialien verfügbar	eingeschränkte Materialauswahl	wenige Folien und Pasten verfügbar	wenige Folien und Pasten verfügbar	Einführung erster Foliensysteme, Pasten eingeschränkt
Firmen	alle	Heraeus ESL	DuPont Heraeus (CT800)	DuPont	Heraeus (HL2000, HL800) Bosch

Quelle: Rebenklau, Wolter, Hildebrandt
„Zero-Shrink-Studie“ TUD 2007

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!