

Vorlesung

Keramische Hybridtechnik/Multilayertechnik SS 2017

Dr. Lars Rebenklau,
Systemintegration und AVT

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

Tagungsbände: **IMAPS; ECTC; ...**

Einordnung der Hybridtechnik

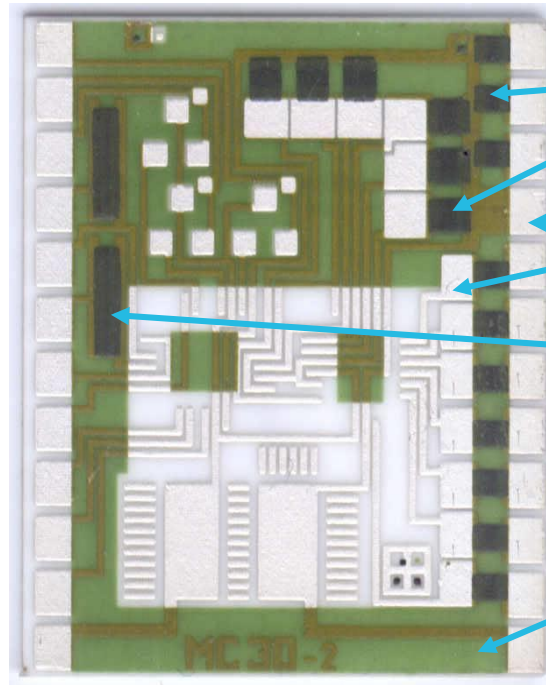
Was ist Dickschichttechnik ?

„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. $100 \Omega/\square$)

Leitpaste (z.B. AgPt-Paste)

Widerstandspaste
(z.B. $100 \text{ k}\Omega/\square$)

Abdeckpaste

Wesentliche Vorteile gegenüber Leiterplatte:

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

Technologievergleich

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

Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2017

++, 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

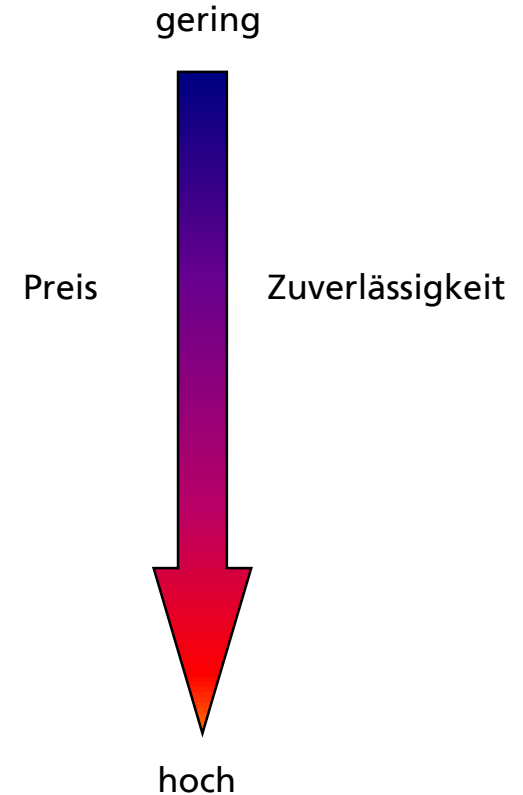
- Steuergeräte, ...

Medizintechnik

- Herzschrittmacher, ...

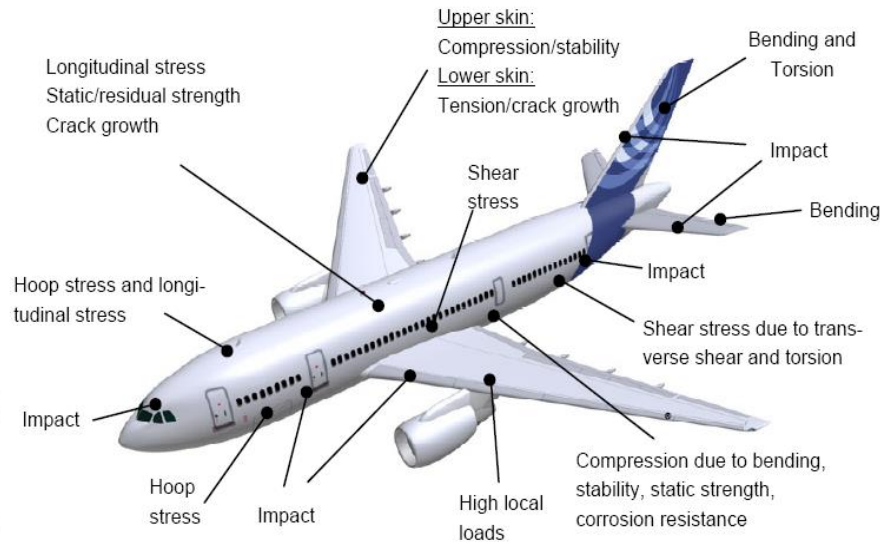
....

High
performance



Technologietreiber: „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

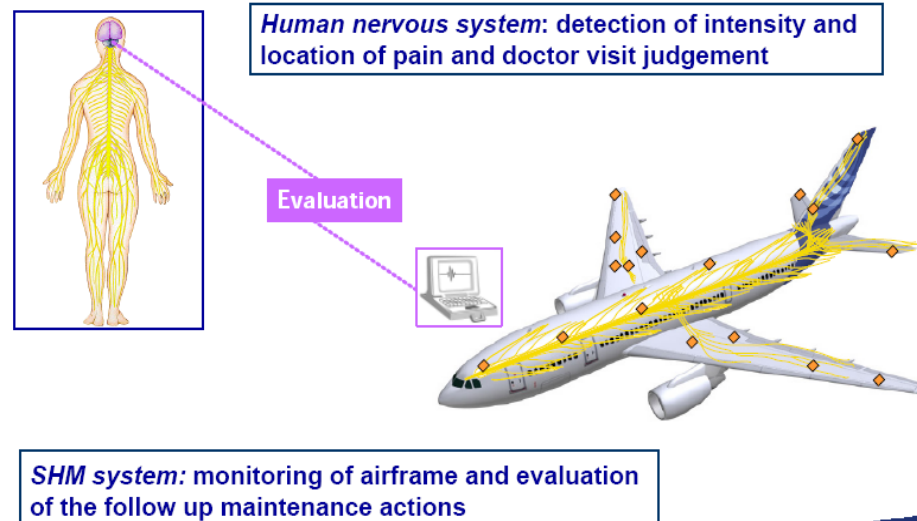


Quelle: Google; Suchworte: SHM+ Airplane

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



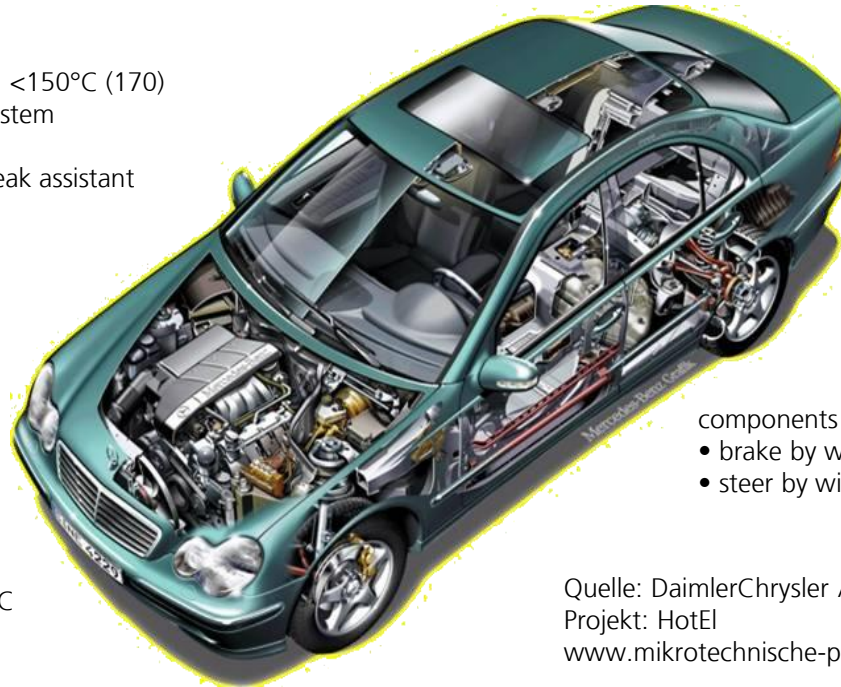
Quelle: Google; Suchworte: SHM+ Airplane

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“

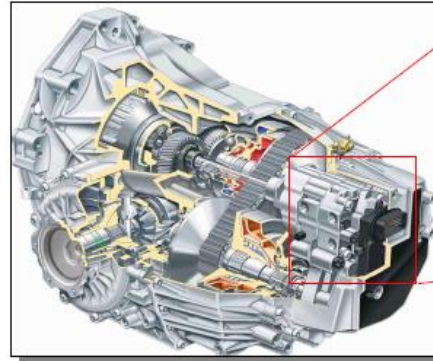


Mechatronik-Lösungen in Hybridtechnik

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

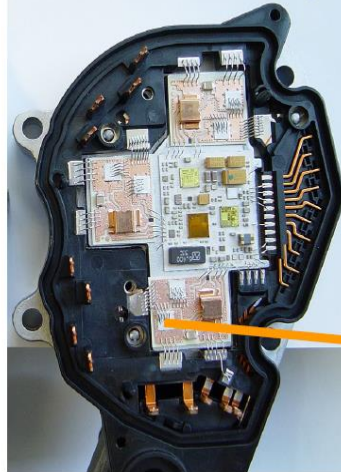
3

Einsatzgebiet Kfz-Elektronik

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

ZVEI:

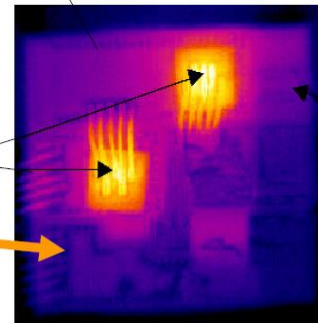
Elektrische Servolenkung



Aktive Pulslasten 150A und
abgesicherter Grenzbetrieb

120°C

195°C

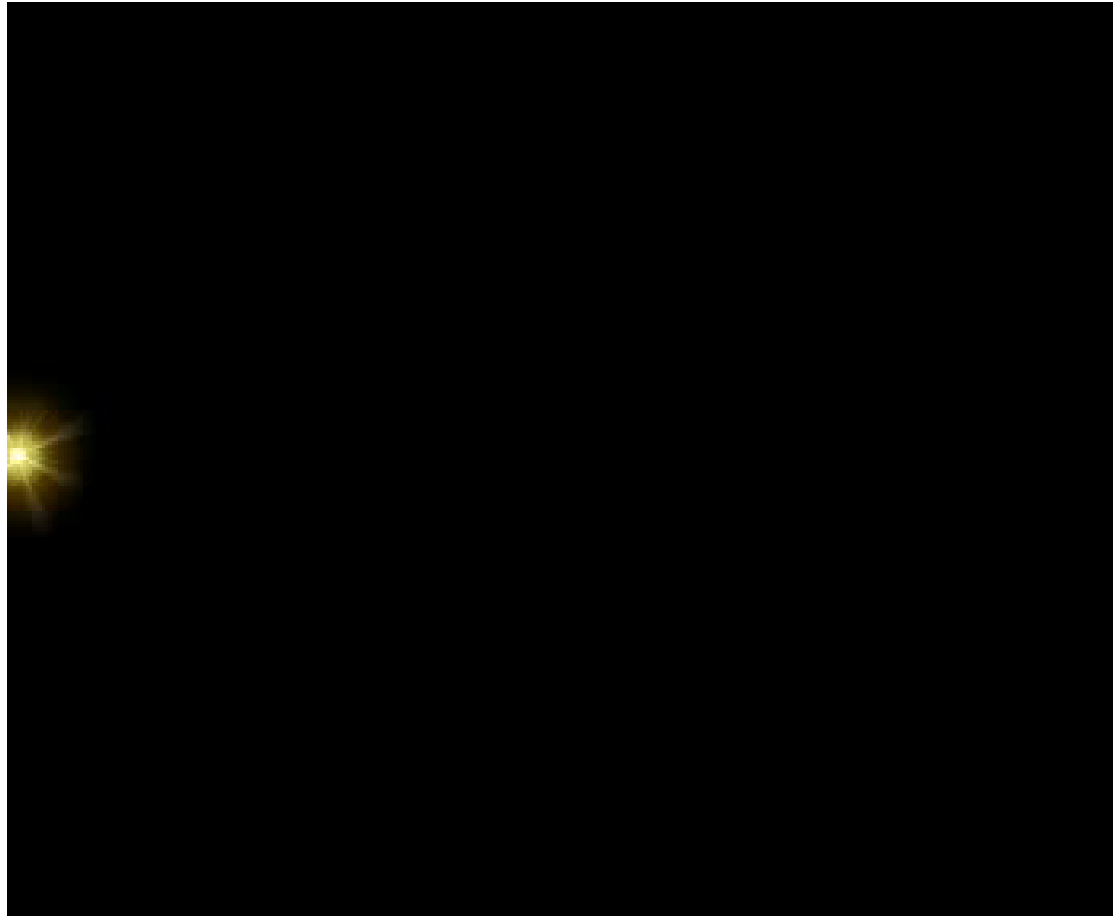


Quelle: Robert BOSCH GmbH

Fachverband
Electronic Components and Systems

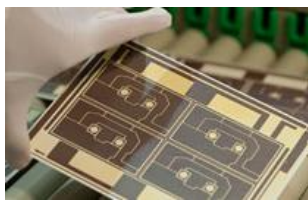
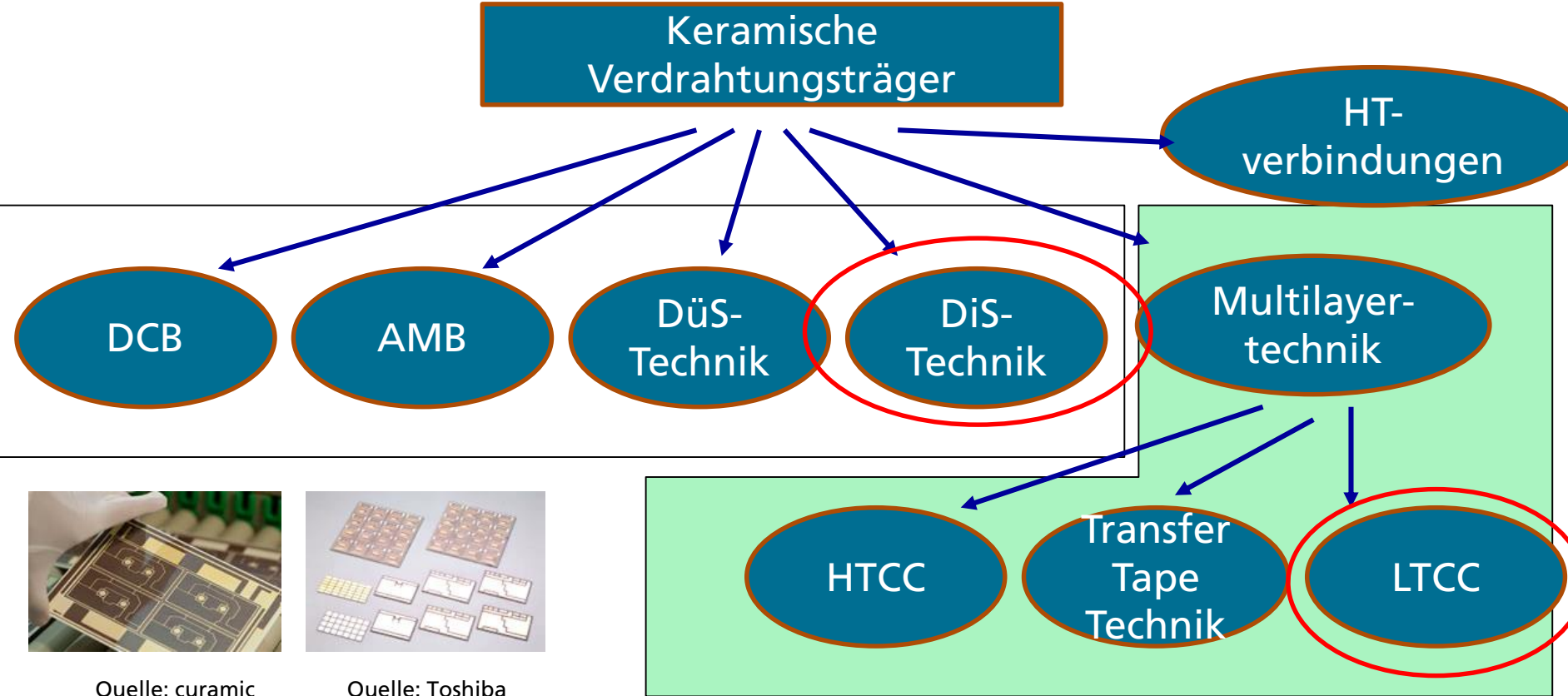
23/11/06
Folie 12

Einsatz Dickschichthybride

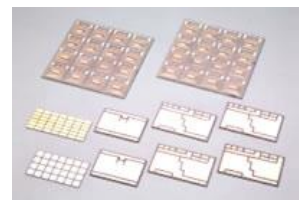


Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2017

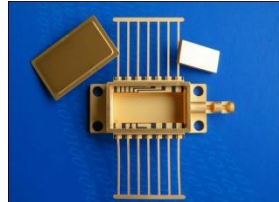
Einordnung nach Metallisierungsstrukturierung



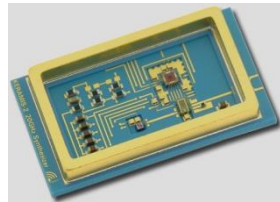
Quelle: curamic



Quelle: Toshiba



Quelle: STREAMTEK



Quelle: IMST

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

Materialien der Hybridtechnik

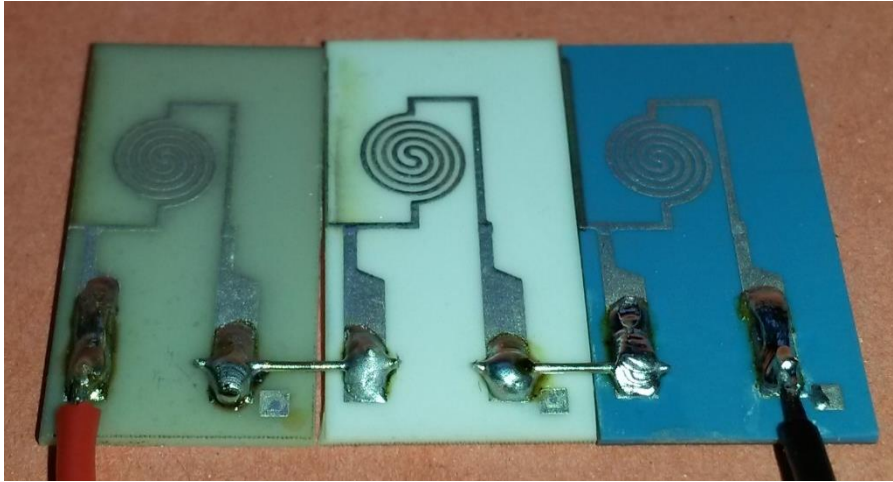
Substrate/Pasten

Vergleich Substratmaterialien

Eigenschaft	Al ₂ O ₃	BeO	ESS	AlN	FR4	Si ₃ N ₄
max. Prozesstemperatur in °C	≥ 1500	≥ 1800	550 – 650 (≥900)	≥1600	288	
Therm. Ausdehnungskoeff. in 10 ⁻⁷ / K	75	85	90	34	10 - 25	35
Thermische Leitfähigkeit in W/mK	20	230	60 ... 80	150 ... 180	0,2 - 0,4	85
Biegefestigkeit in N/mm ²	320	170	-	300		800
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		10 ¹²
Dielektrizitätszahl	9,5	7,0	6 – 8	10,0	3,6 - 4,8	8,4
Kostenfaktor ca.	1	50	0,5 - 2	20 ... 40		??

Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2017

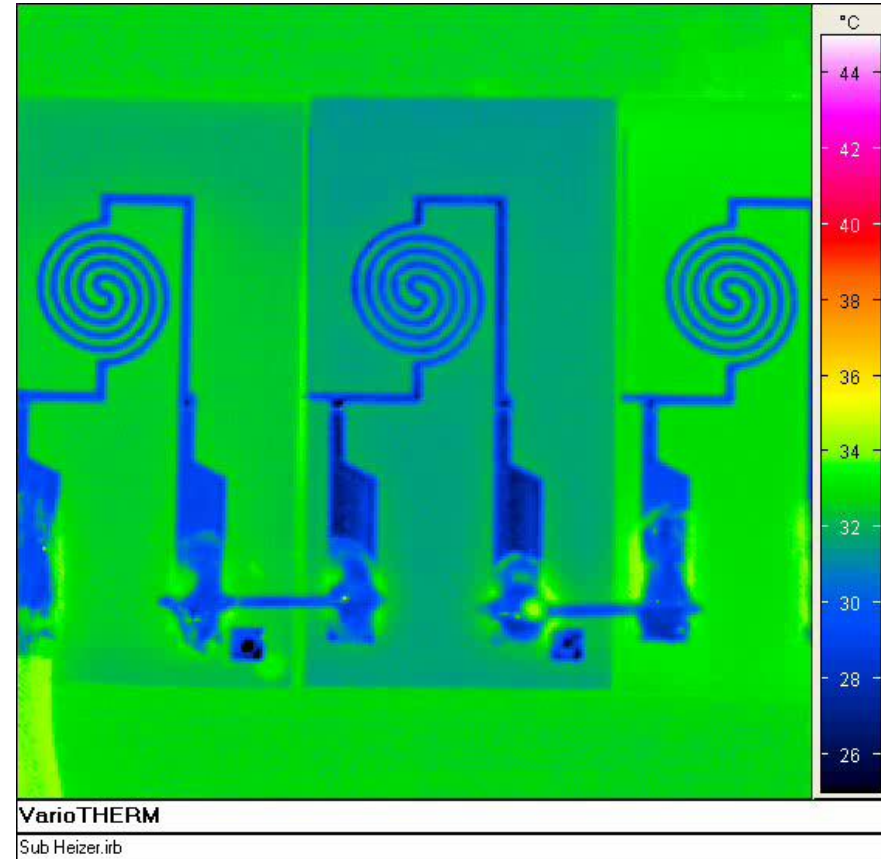
Einfluss der Wärmeleitfähigkeit



AlN
180
W/mK

A2O3
20
W/mK

LTCC
3-4
W/mK



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
- ...

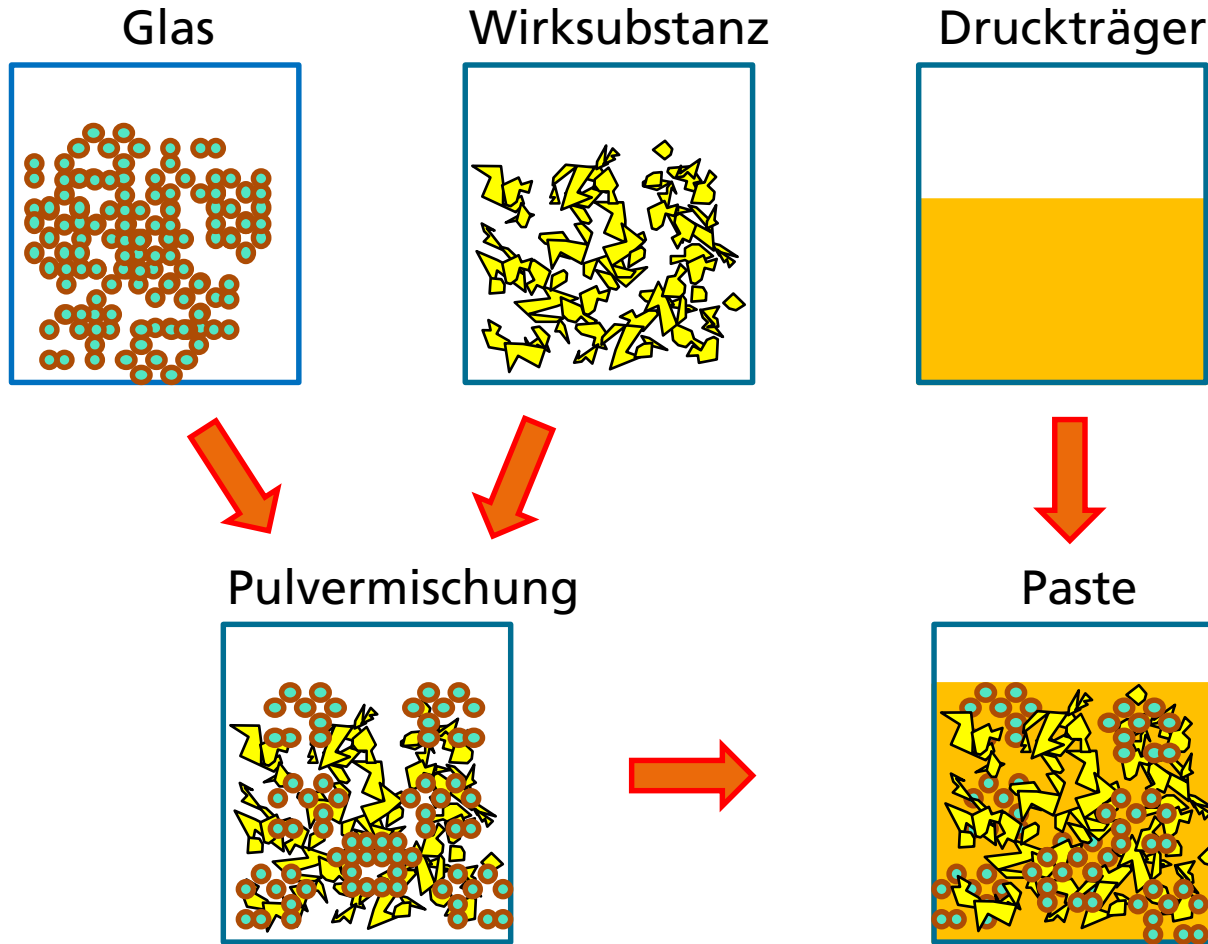


Dreiwalzwerk

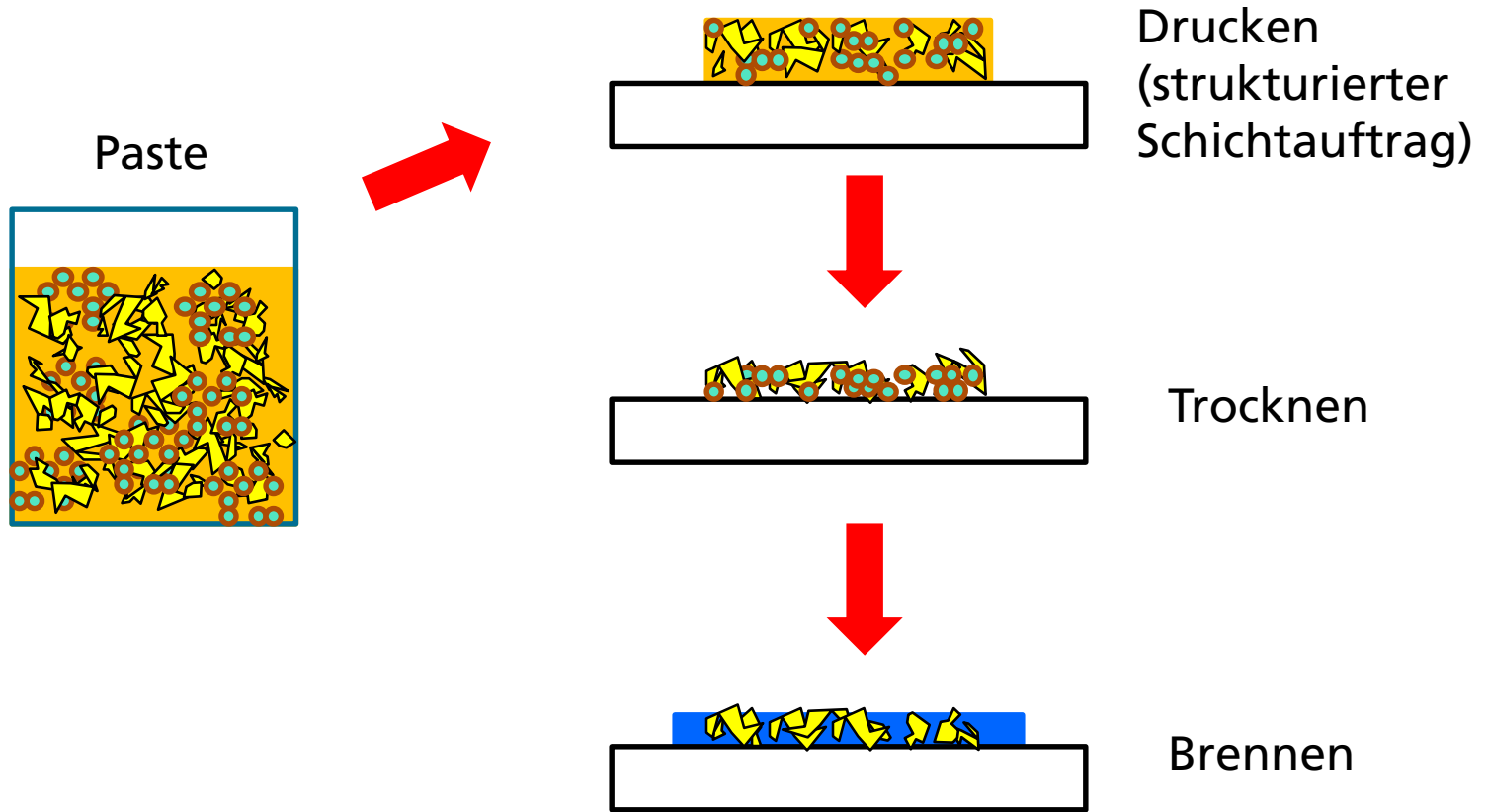
Zusammensetzung von Dickschichtpasten

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			
elektrische Schicht- eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> ■ rheologische Pasteneigenschaften ■ mech. Stabilität der getrockneten Paste 	rheologische Pasteneigenschaften	mech. Stabilität und Haftfestigkeit der Schicht

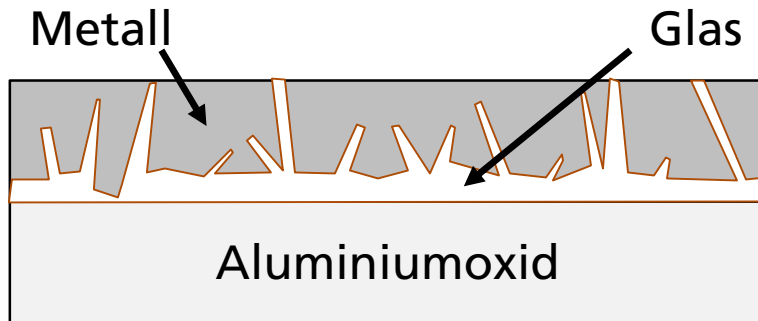
Prinzip Pastenherstellung



Pastenstrukturierung



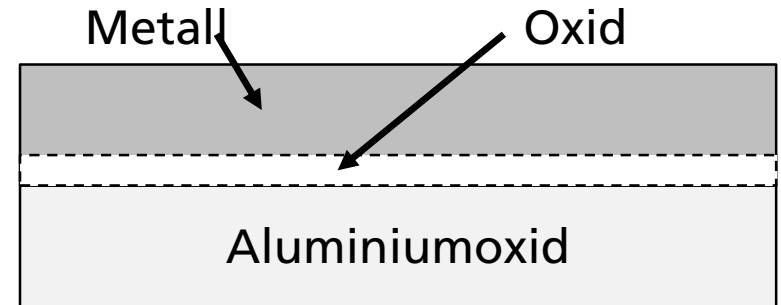
Haftmechanismen



„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

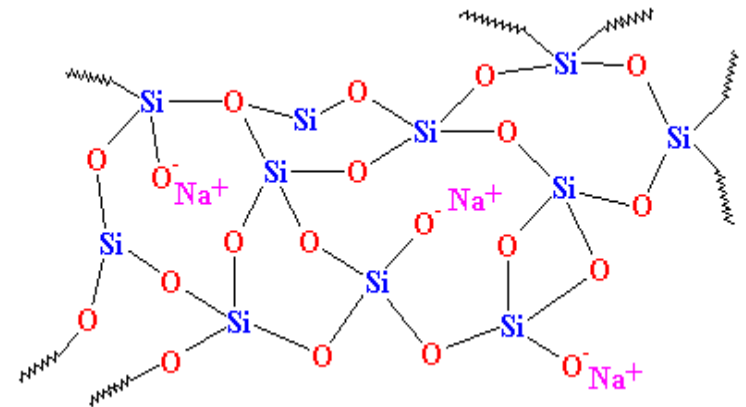
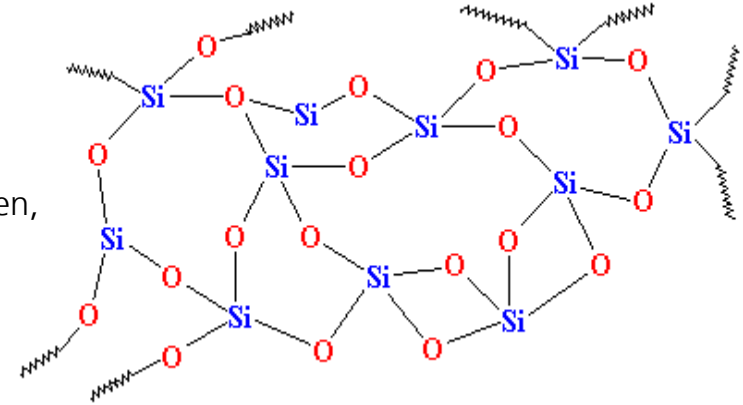
→ Wandlung der Glasstruktur

→ Beeinflussung der Glaseigenschaften

Zwischenoxide: Al_2O_3 , PbO , Bi_2O_3 ...

Wirken in Abhängigkeit von Anteil und Glaszusammensetzung netzwerkbildend & wandelnd

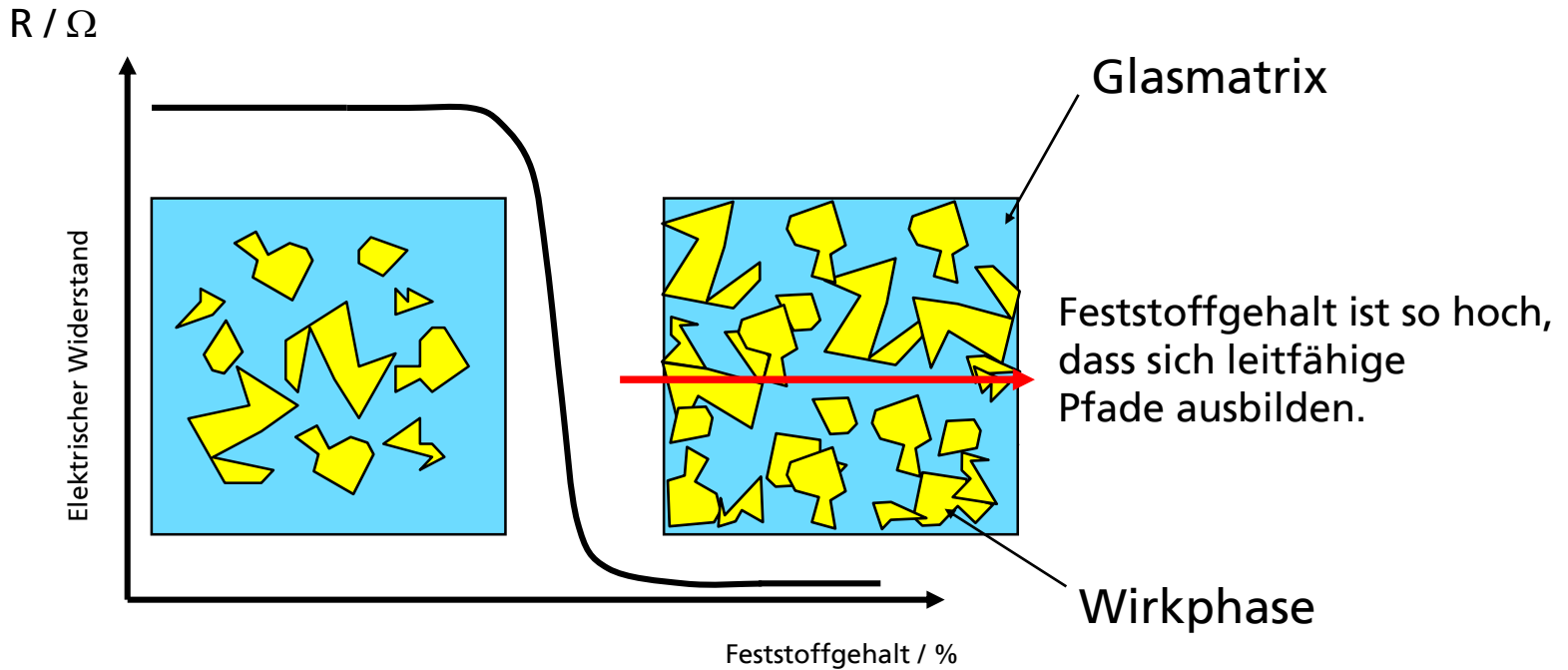
→ Stabilisierung der Glasstruktur



Materialien der Hybridtechnik

Leitpasten

Perkolationsschwelle (Leitpasten)

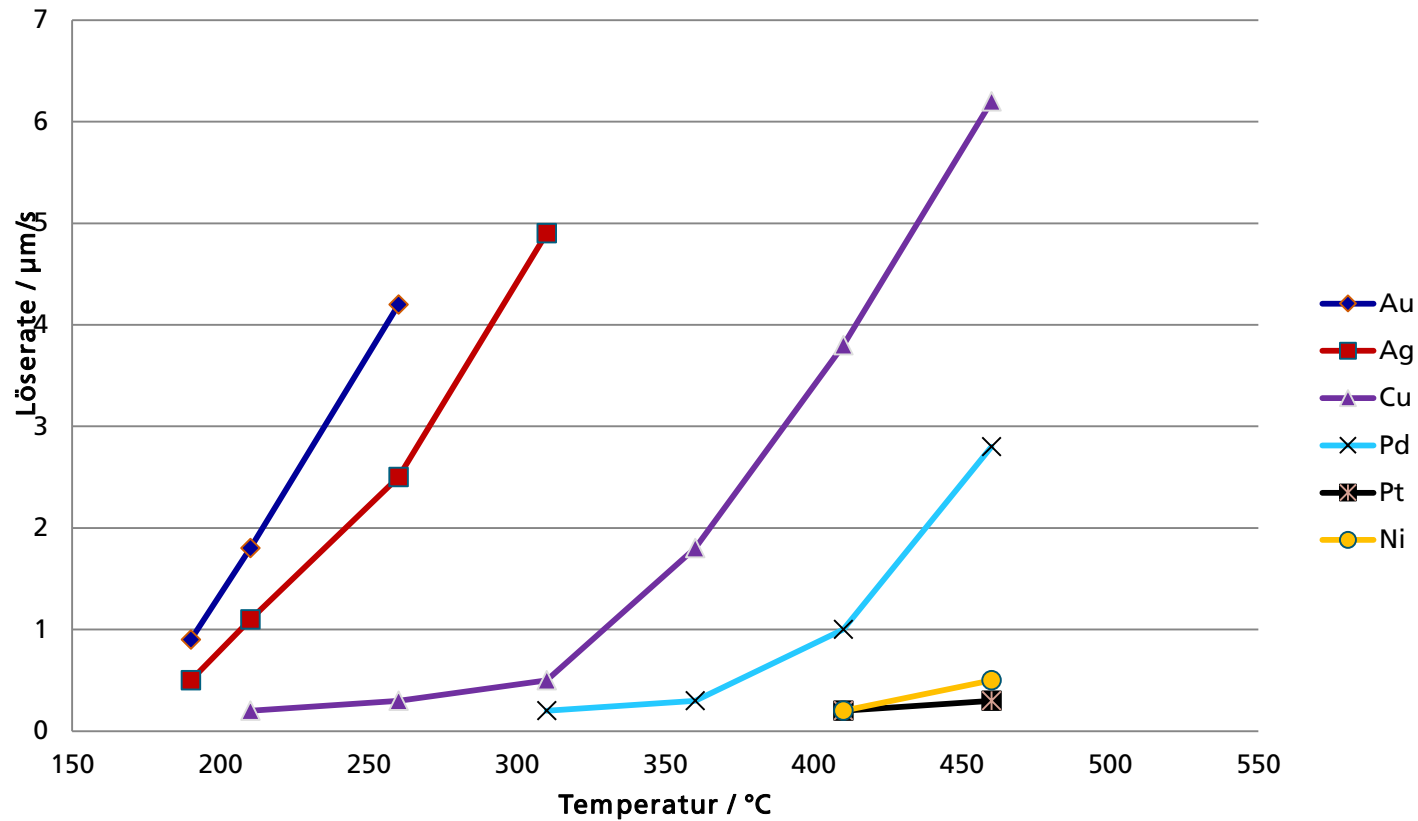


Vergleich Leitpasten

Pastenmaterial	Widerstand in $m\Omega/\square$	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	\pm	\pm	Standardpaste
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	\pm	++	

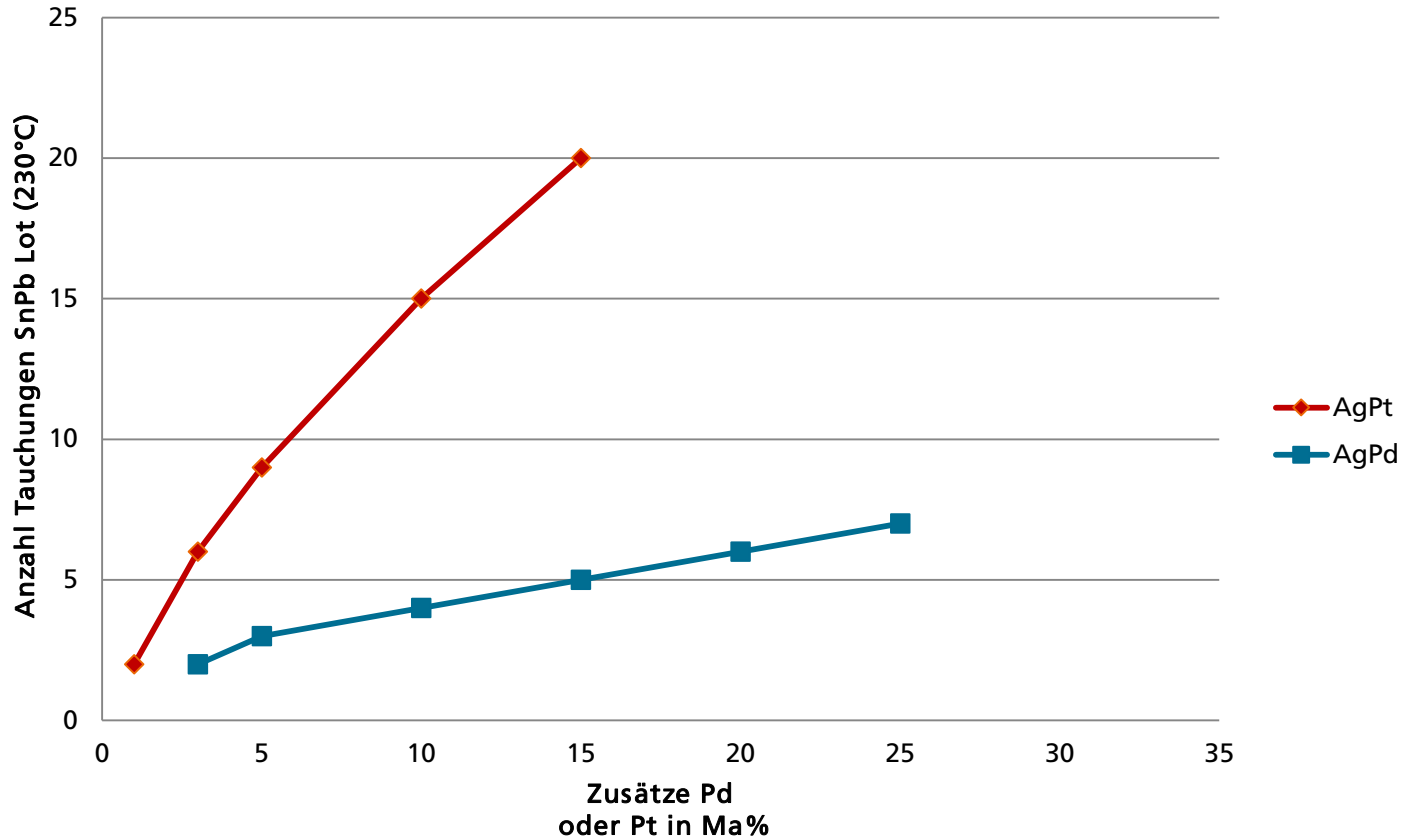
Löseraten

Löserate von Metalleindrähten

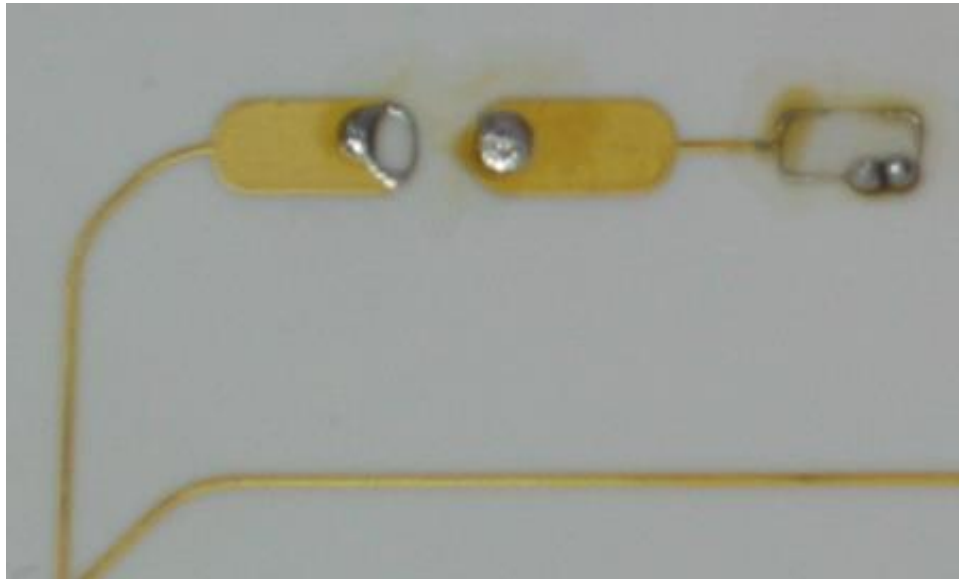


Ablegierfestigkeiten von Dickschichtpasten

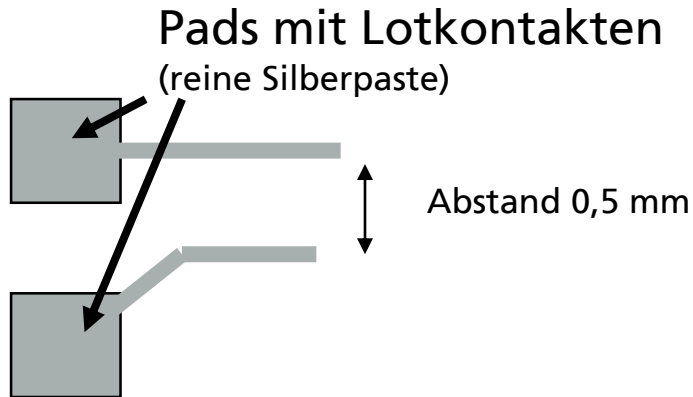
Ablegierfestigkeit



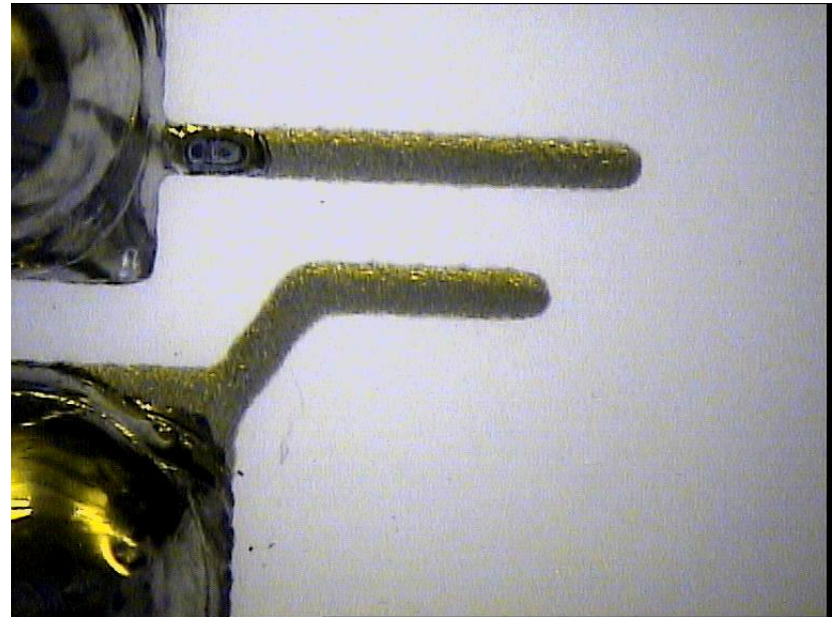
Weichgelötete Goldpaste



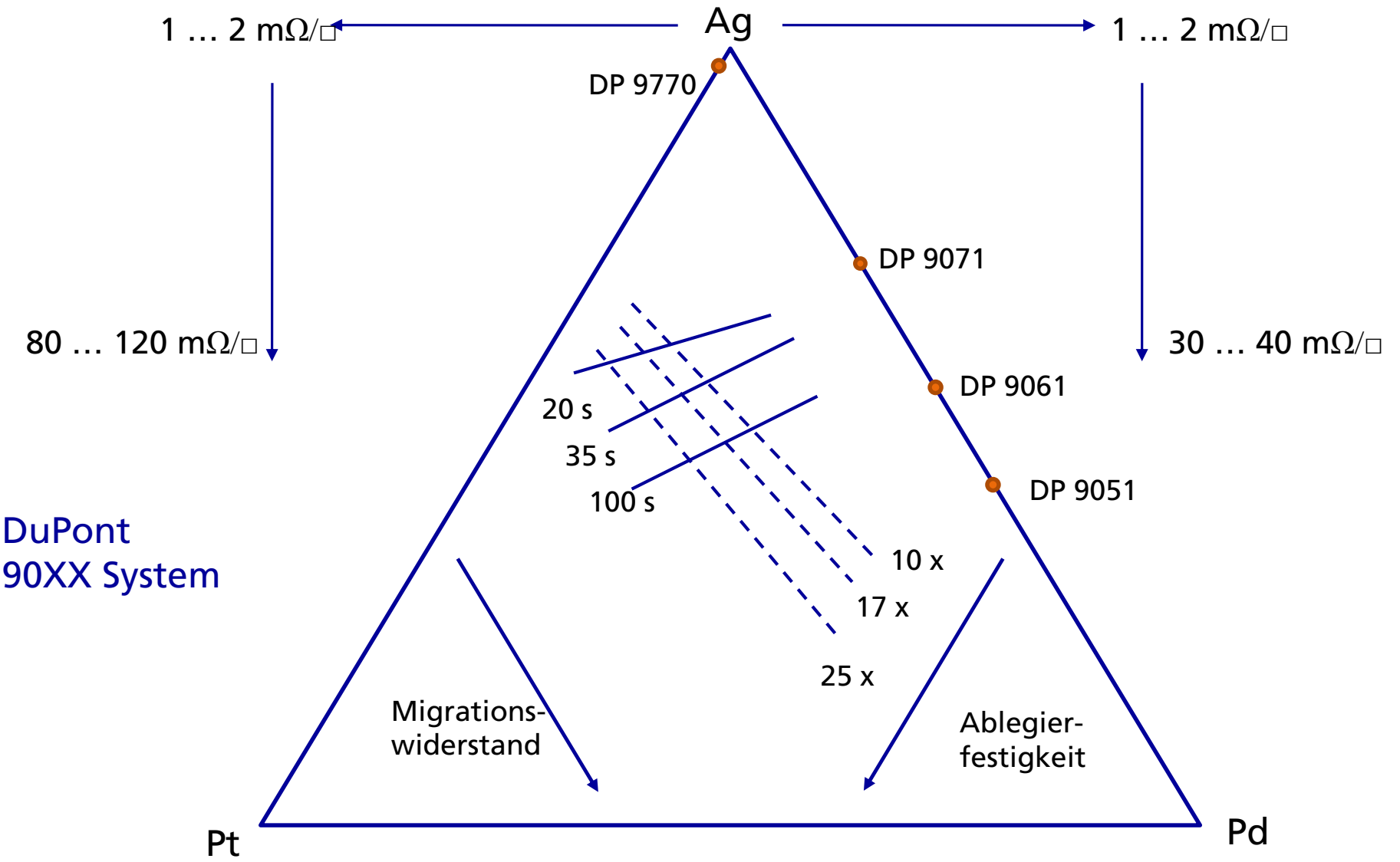
Beispiel Silbermigration



- Potentialunterschied 5 Volt
- Wassertropfen wird per Hand aufgesetzt

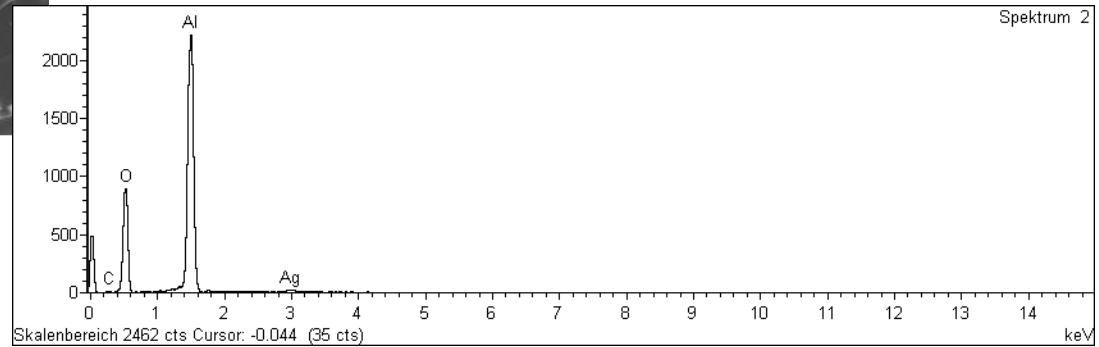
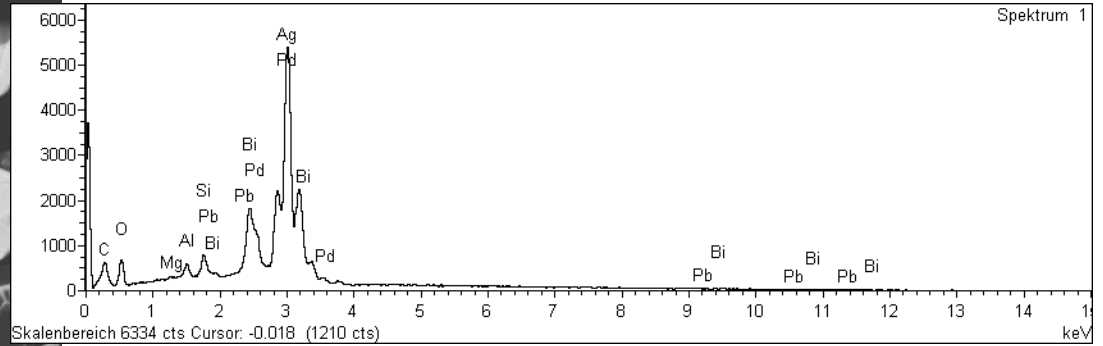
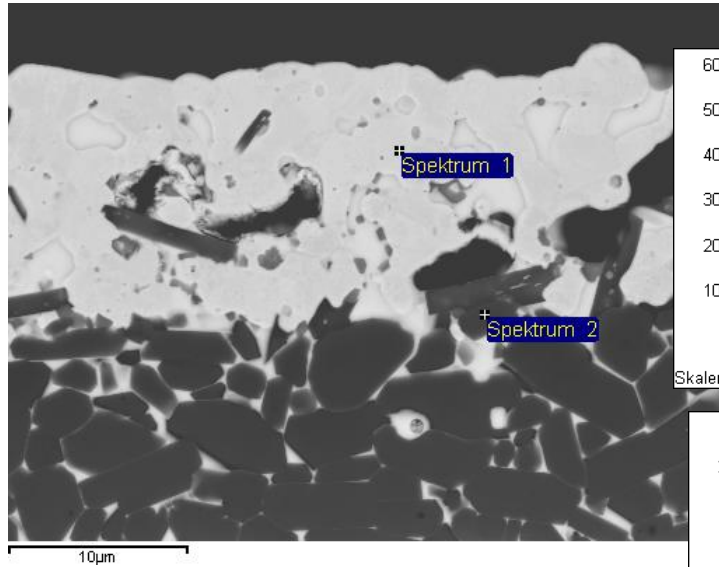


Pastenlegierungen

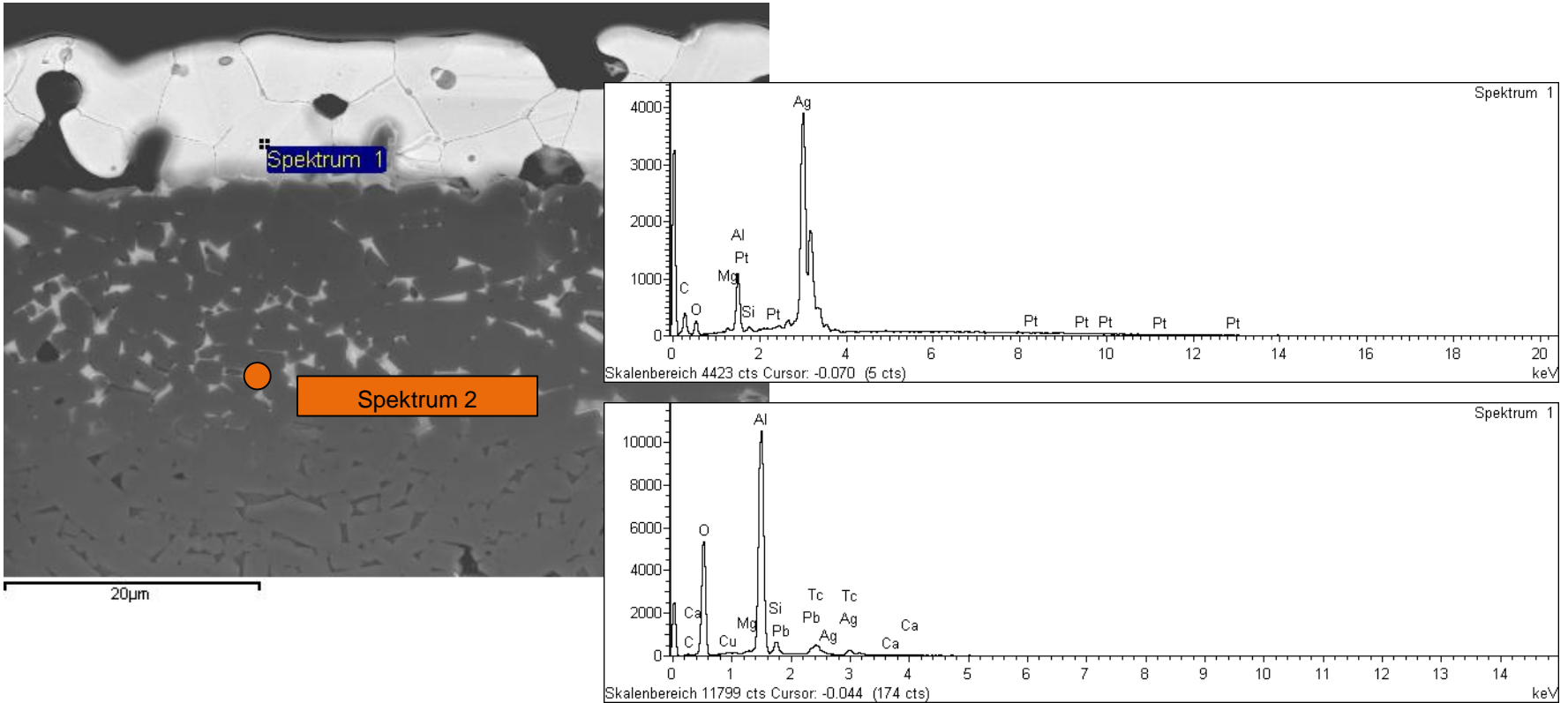


DuPont
90XX System

Typische AgPd Paste



Typische AgPt Paste



Materialien der Hybridtechnik

Widerstandspasten

Widerstands- und Heizpasten

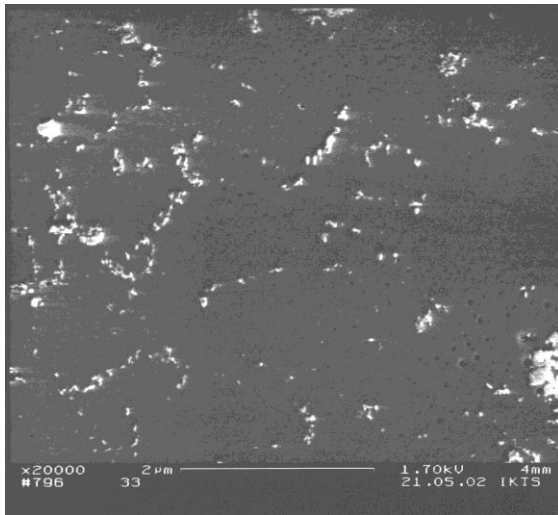
- $\text{Bi}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$, $\text{Pb}_2\text{Ru}_2\text{O}_{6,5}$, RuO_2 , Ag/Pd/PdO
- Glas
- TKR-Modifizier
- Additive



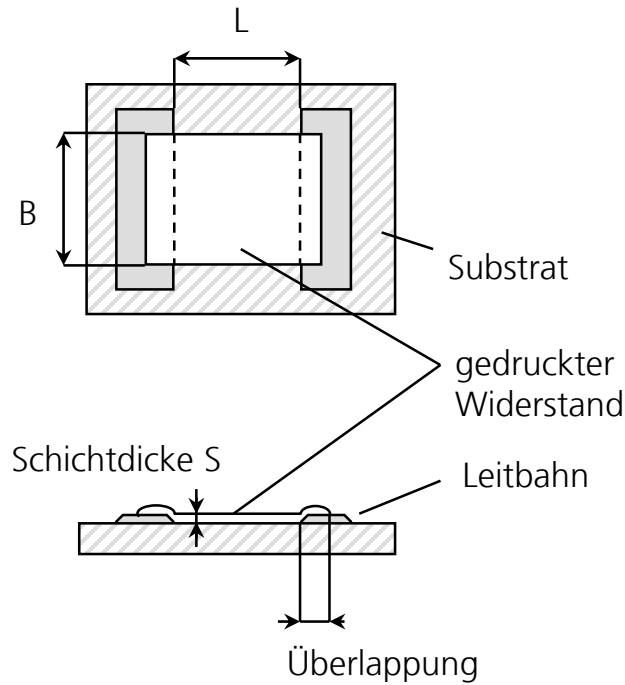
- Festwiderstände
- Leistungswiderstände
- Potentiometer
- Heizer
- Temperatursensoren
- Drucksensoren



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



Der Begriff „Flächenwiderstand“



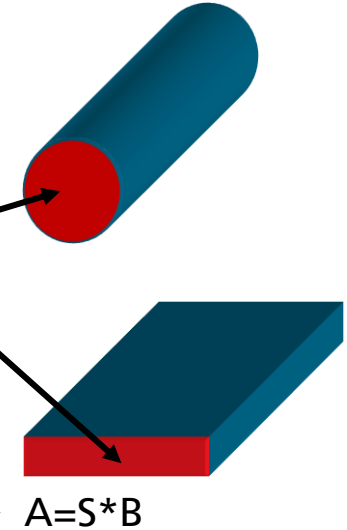
Allg. Formel:
Elektrischer Leiter

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

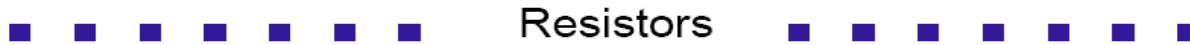
$$R = \rho * \frac{L}{S * B}$$

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

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

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):

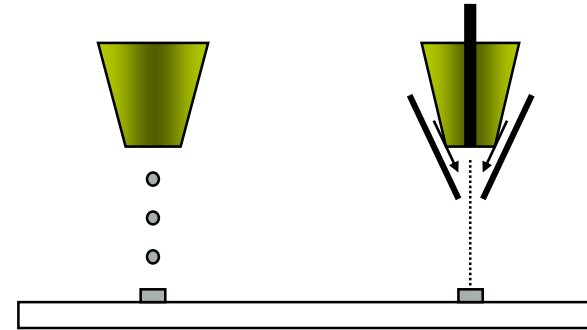
- Dünnschichttechnik (siehe Kapitel: „Dünnschicht“ sowie Script AVT I)
- Fotostrukturierung von Dickschichtpasten „Fodel[®]“ (siehe Kapitel: „Siebdruck“)
- Druckformlose Verfahren / Direktschreibverfahren von Dickschichtpasten:
- InkJet Druck
- Aerosoldruck

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



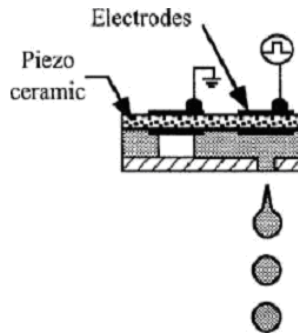
Vergleich Drucktechniken

	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)

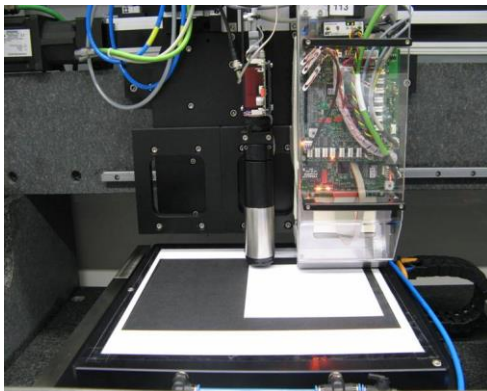
Quelle: SF2020; IKTS Partsch, Fritsch, Mosch

Ink-Jet Anlage

Printing principle



Printing platform



DoD300 from Schmid Tec.

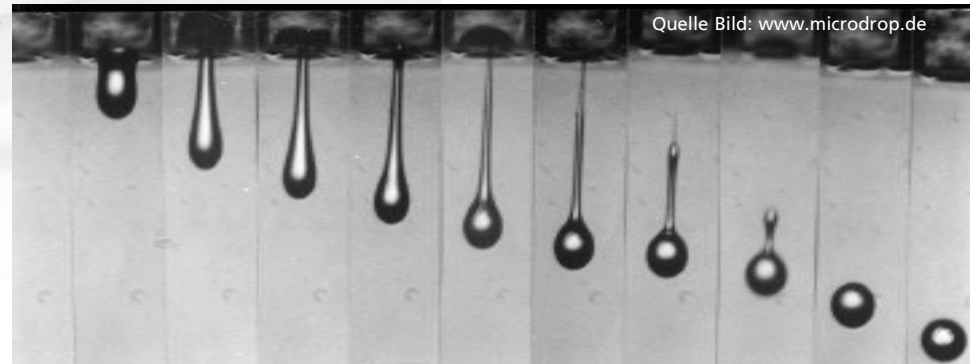
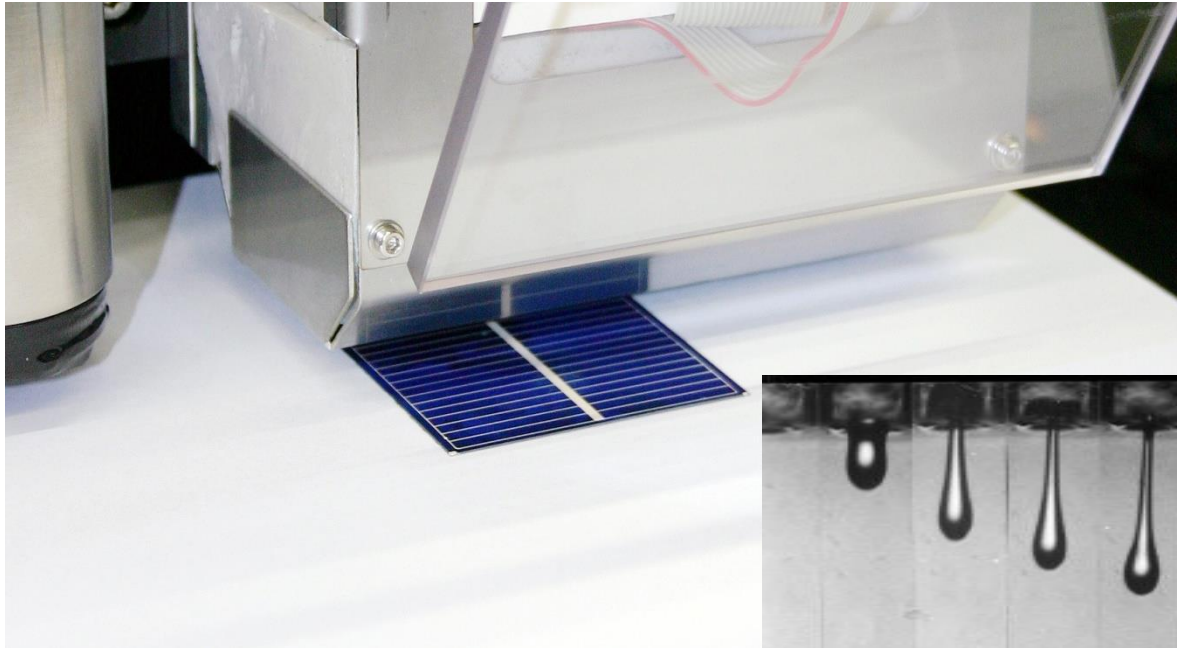


Specifications

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

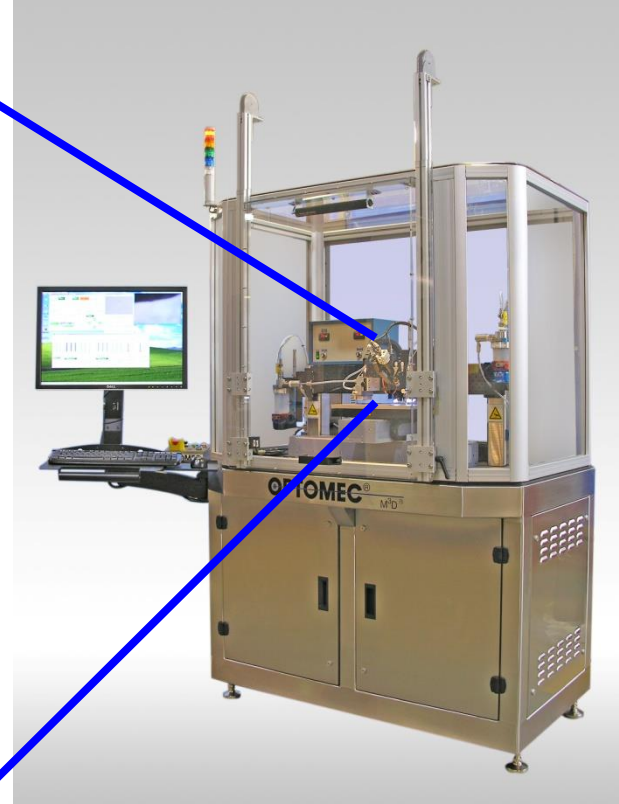
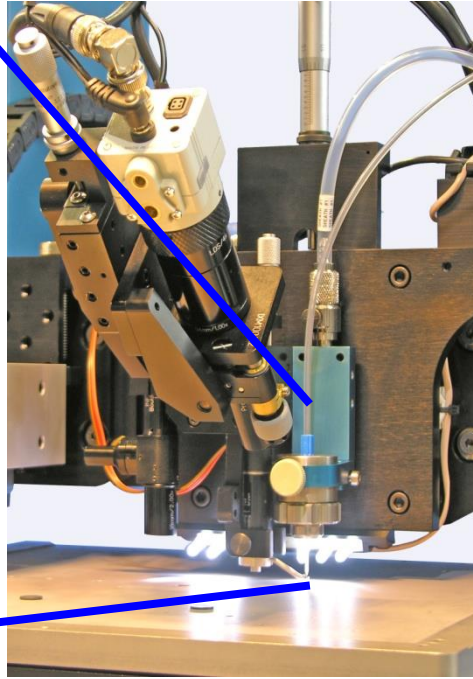
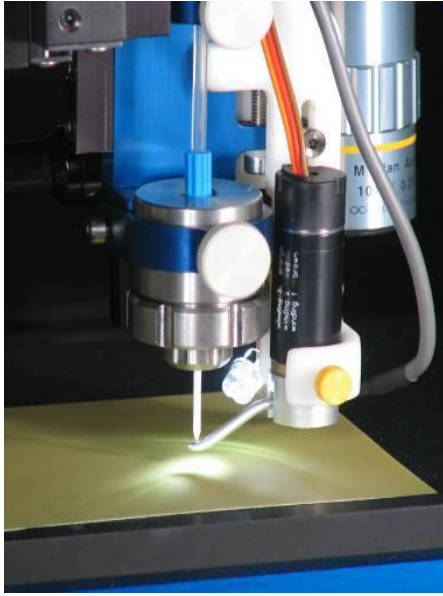
Direktstrukturierung - InkJet Druck

(„Tintendrucker am PC“)



Direktstrukturierung – Aerosoldruck

(„Mikro Spray Dose“)

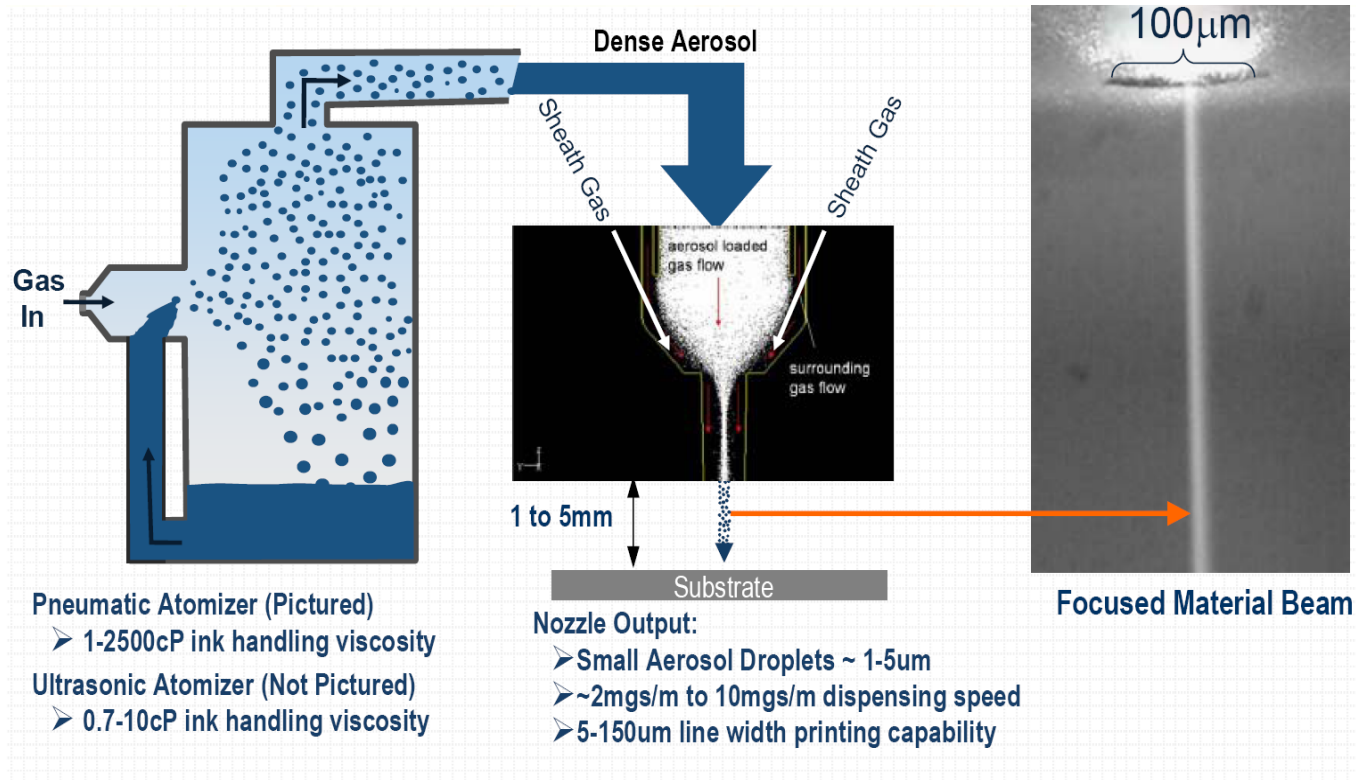


Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2017

Quelle: Mosch IKTS

Direktstrukturierung – Aerosoldruck

(„Mikro Spray Dose“)



Quelle: Optomec, IDTec Dresden 2008

Druckformen

Siebherstellung: 1. Rahmen

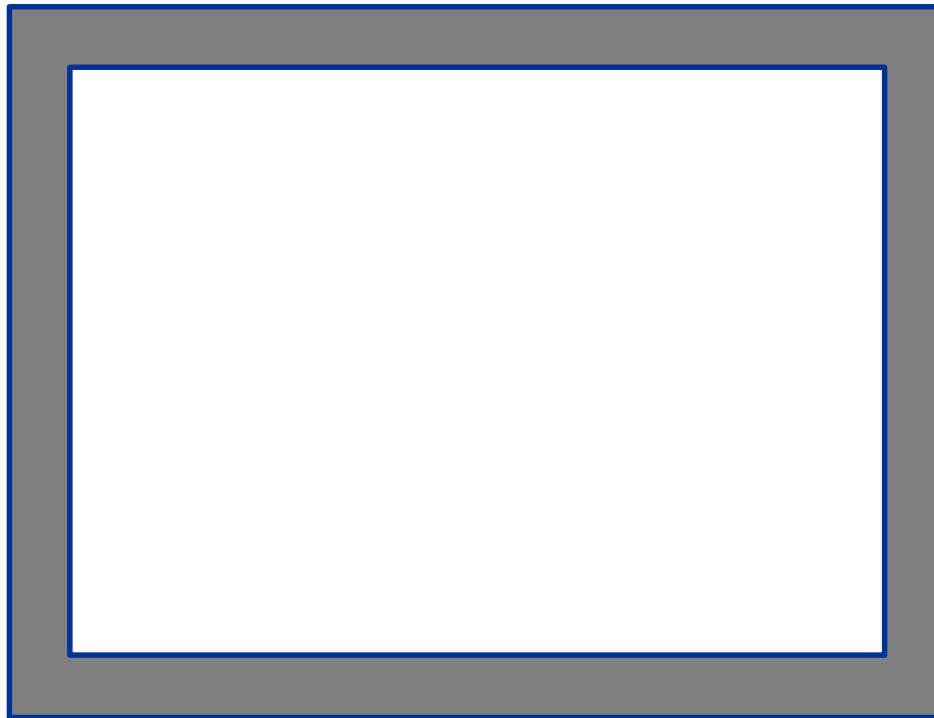


Bild: Gröner Siebdruck

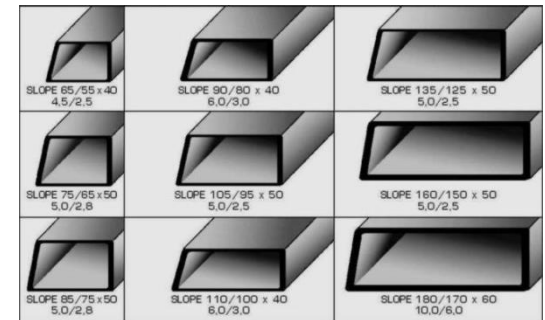


Bild: Böttcher Siebdruck

Siebherstellung: 2. Sieb einkleben

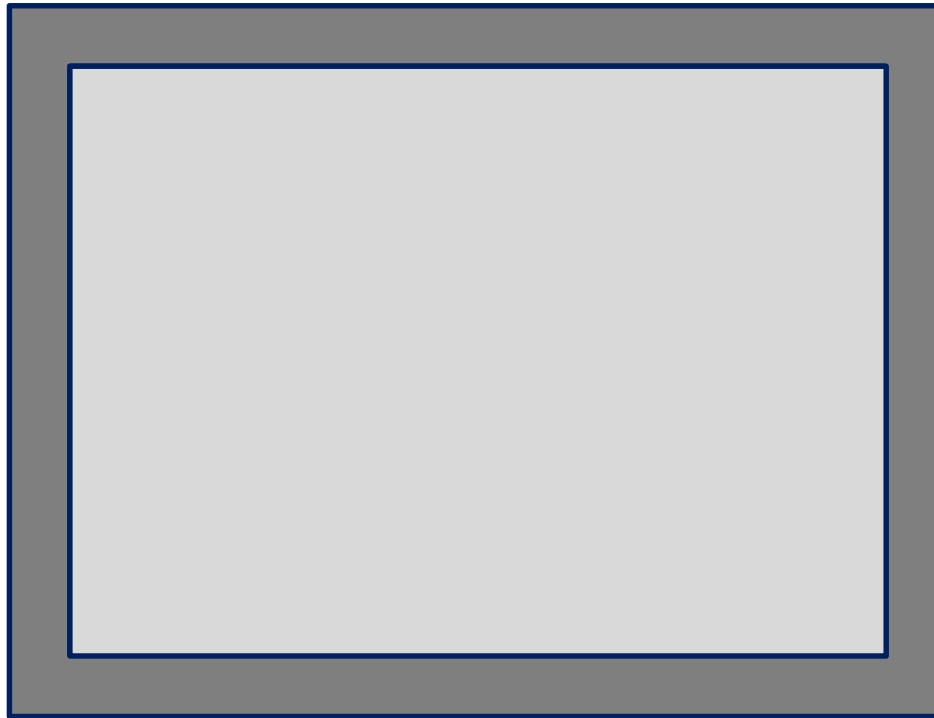


Bild: UV Siebdruck



Bild: Gröner Siebdruck

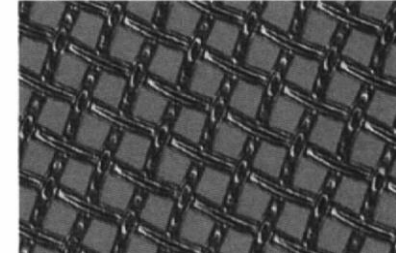
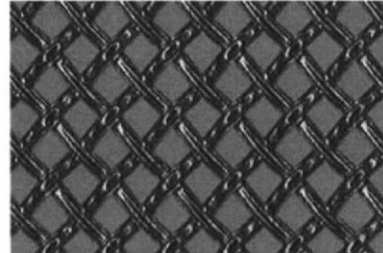
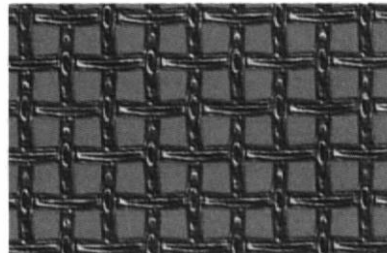
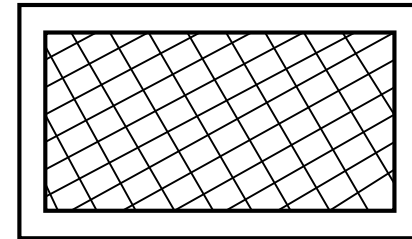
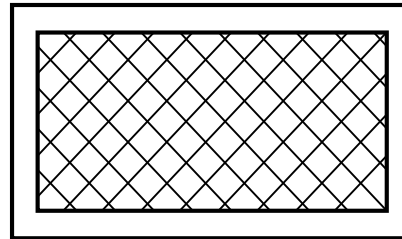
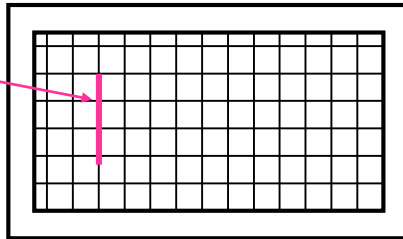
Siebbespannung

90 ° Fadenwinkel

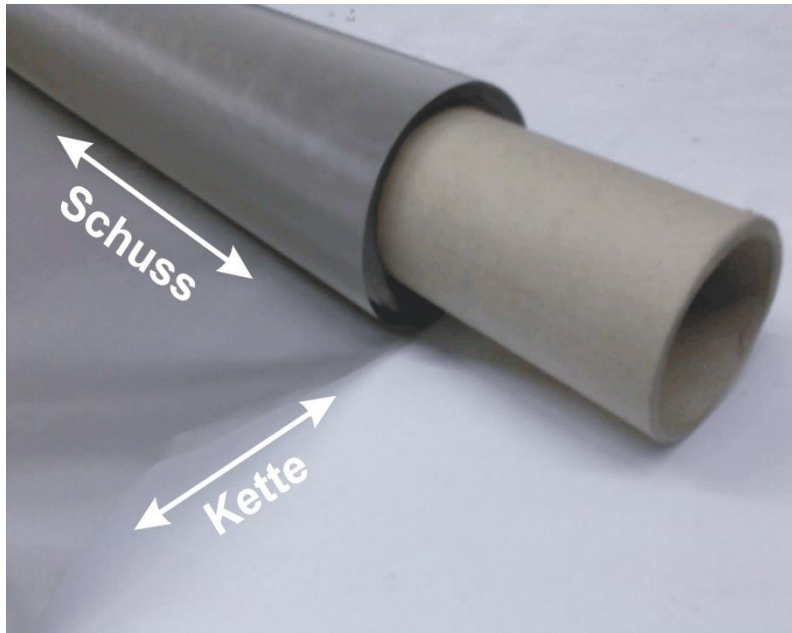
45 ° Fadenwinkel

22,5 ° Fadenwinkel

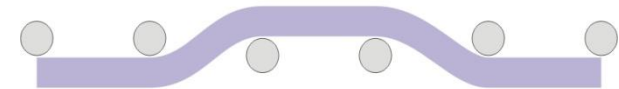
mögl. Krit.
Belastung der
Querfäden



Gewebearten



Leinenbindung (Glatte Bindung)
Wechsel 1-1



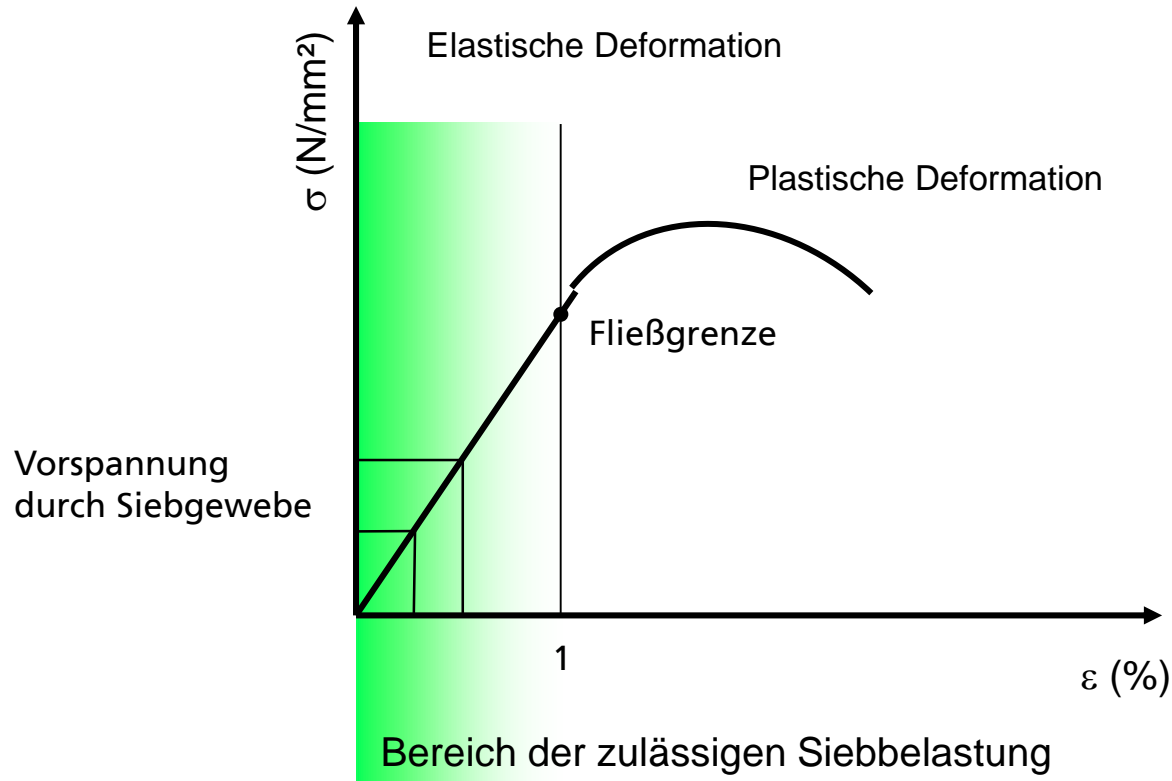
Körperbindung
Wechsel 2-2



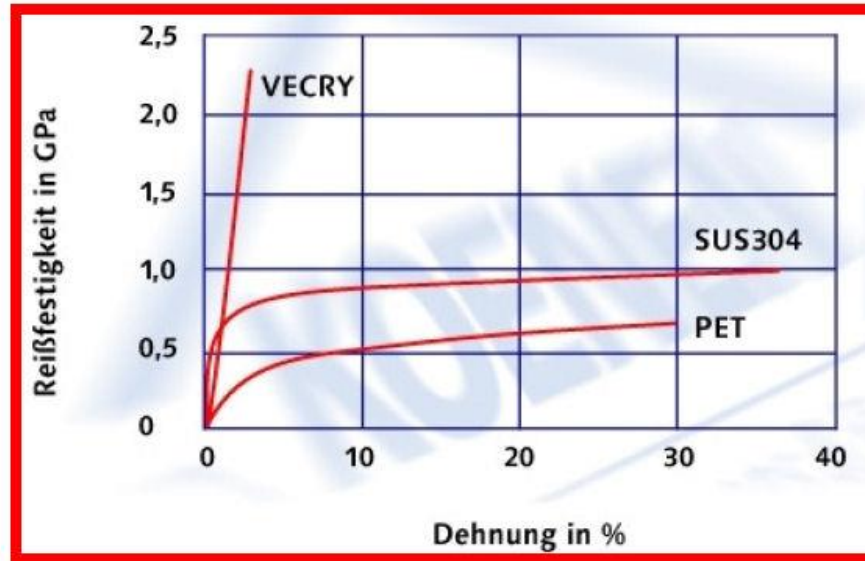
5-Schaft-Körperbindung (Atlasbindung)
Wechsel 4-1

Quelle: Dr. L. Luniak, TUD/IAVT

Siebbelastung



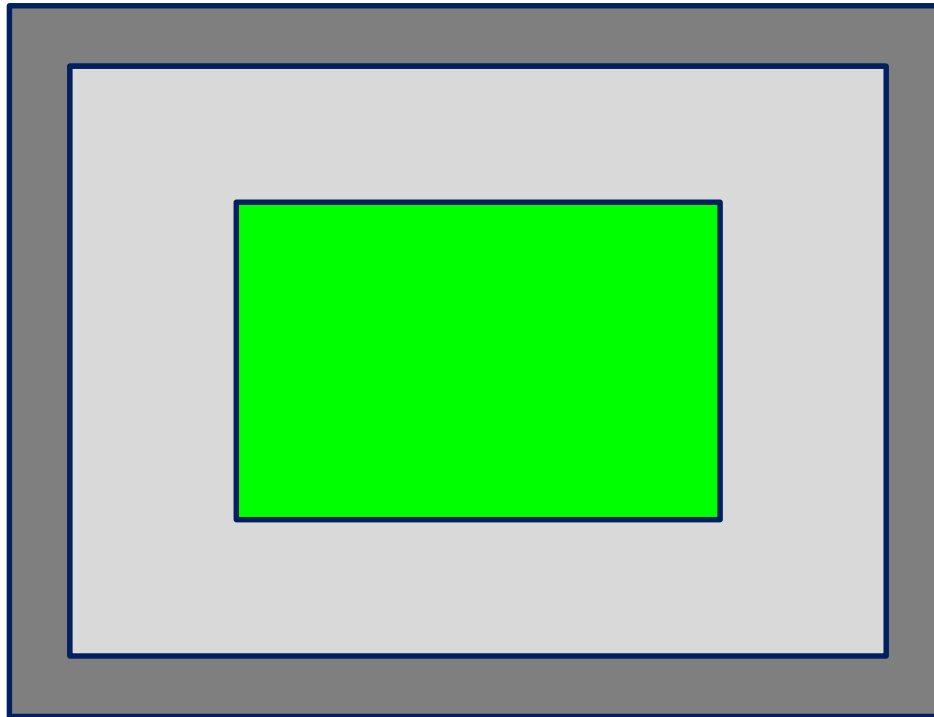
V Screen Gewebe



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

Quelle Bilder: www.koenen.de

Siebherstellung: 3. Emulsion beschichten

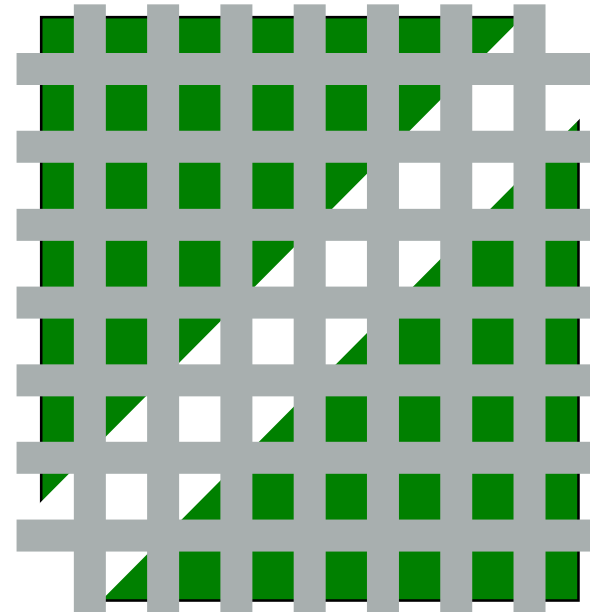
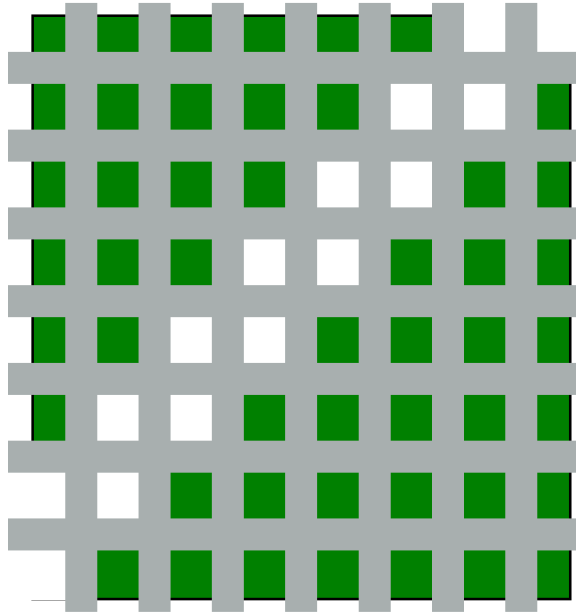


Das erfolgt mit Folie!! Ich hatte bloß kein anderes Bild!!



Bild: Wikipedia

Vergleich: direkte vs. indirekte Siebbeschichtung



Prinzipdarstellung: nicht Maßstäblich!

Siebherstellung: 4. Emulsion härten

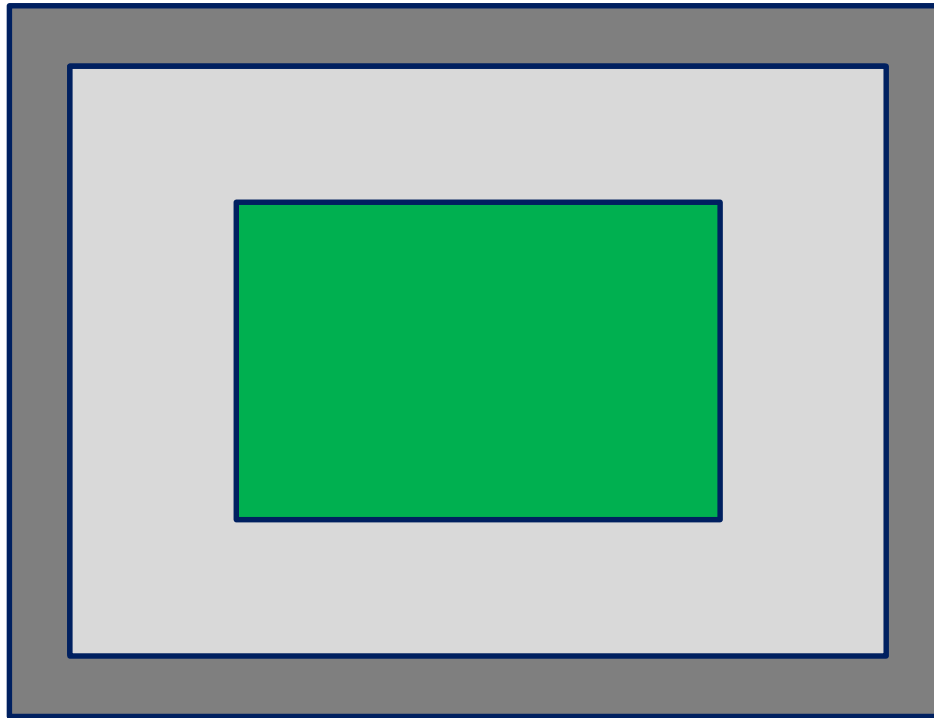


Bild: memmert

Siebherstellung: 5. Belichten mit Fotoplott

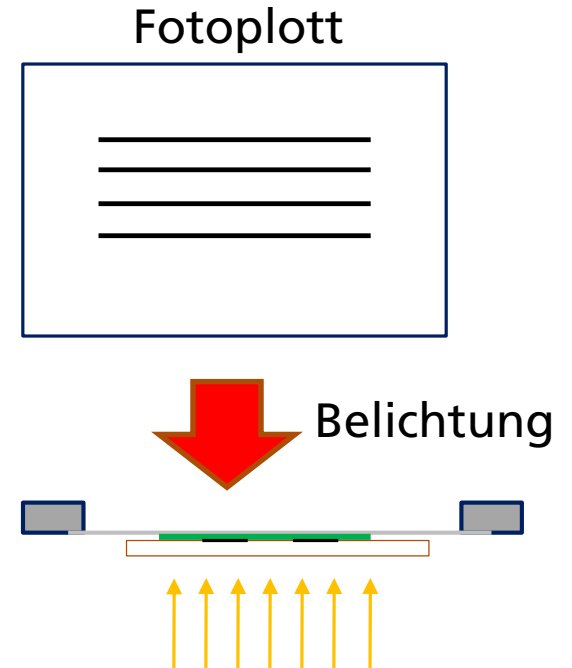
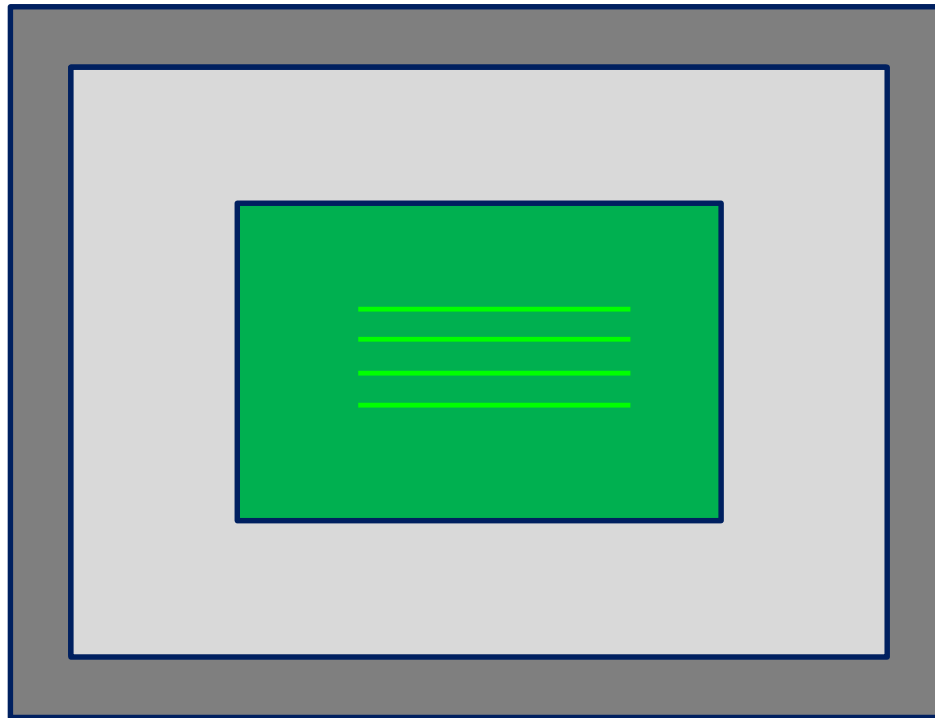


Bild: Siebdruckland.de

Siebherstellung: 6. Entwickeln

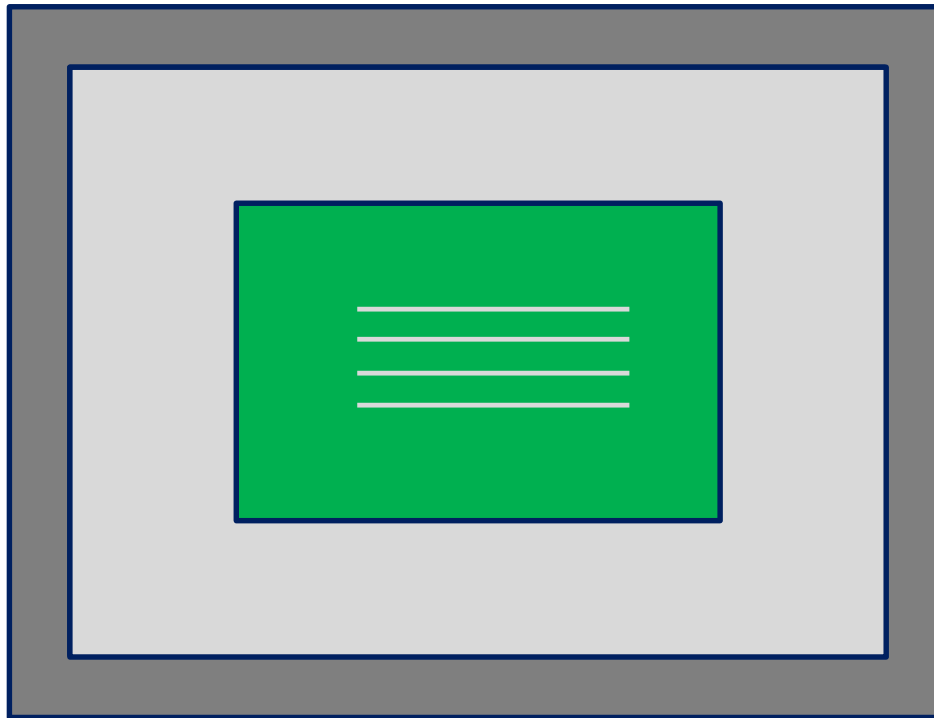


Bild: walterlemmen.de

Siebherstellung: 7. Randbeschichtung/Trocknen

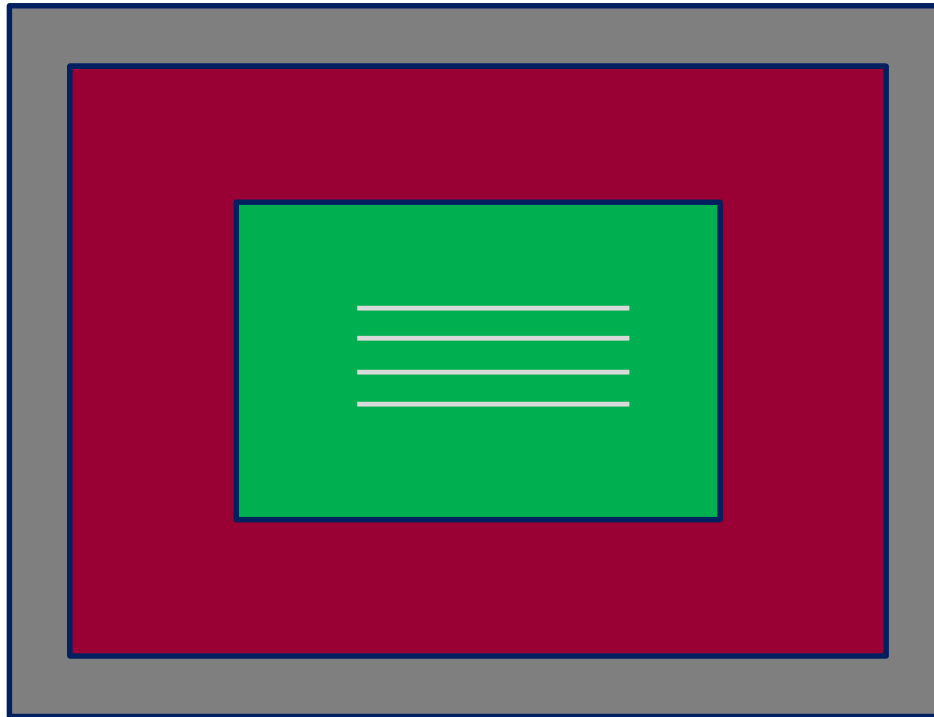
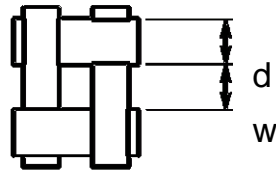
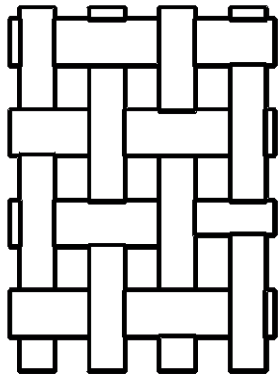


Bild: Könen

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%)

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

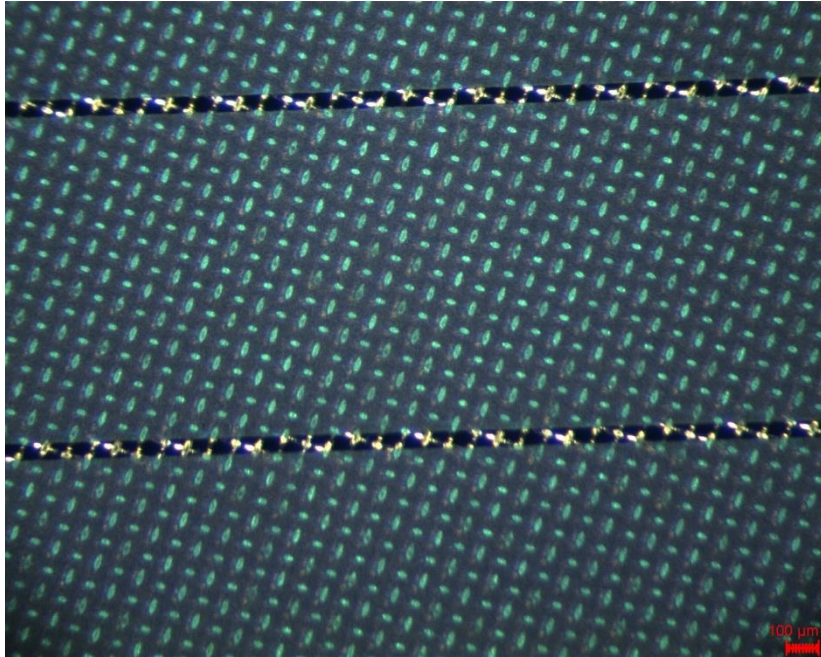
$$V_{\text{th}} = \ddot{o} * (D_G + E_D)$$

kommerzielle Siebgewebe

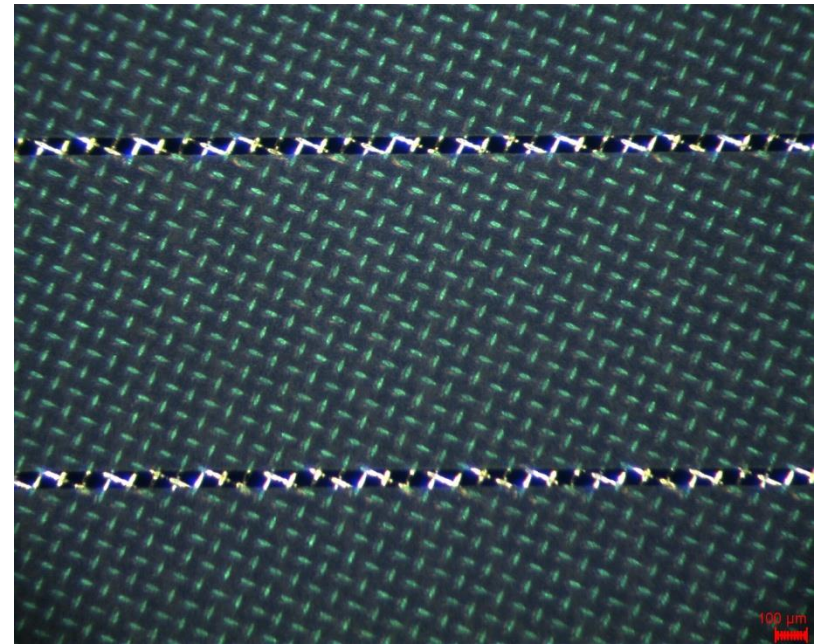
Gewebe- bezeichnung		Maschen- weite	Draht- stärke	Maschen- anzahl	offene Siebfläche	Gewebe- dicke	theoret. Farbauftrag	Gewebe- dicke	theoret. Farbauftrag
		w in μm	d in μm	25.4 mm	A_o in %	D in μm	$V_{\#}$ cm^3/m^2	D_c in μm	$V_{\#}$ cm^3/m^2
SD+	32/18	32	18	500	41 %	36 ± 2	15	32 ± 2	13
SD+	40/23	40	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

Minimale Strukturaufösung

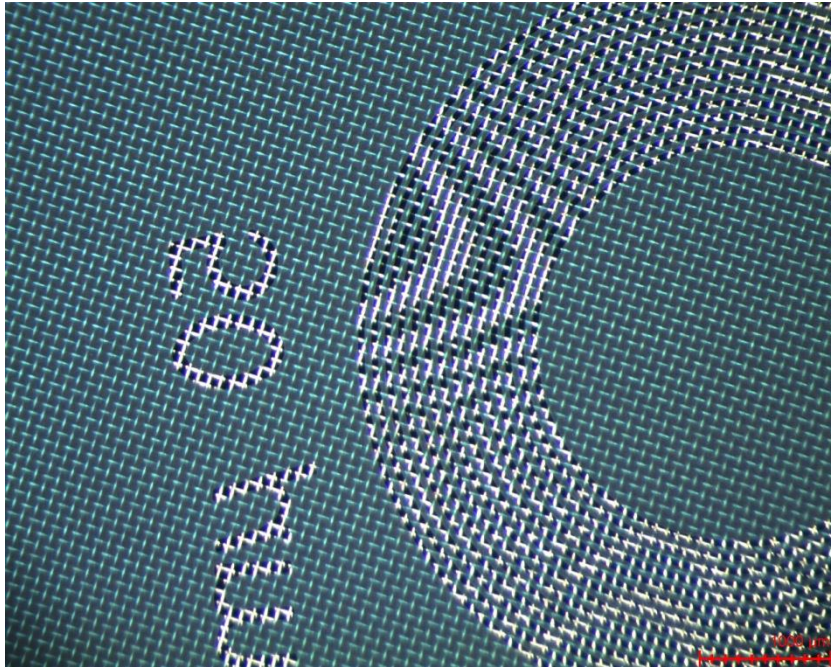


50 µm Linie, 400 mesh, $d=30\mu\text{m}$

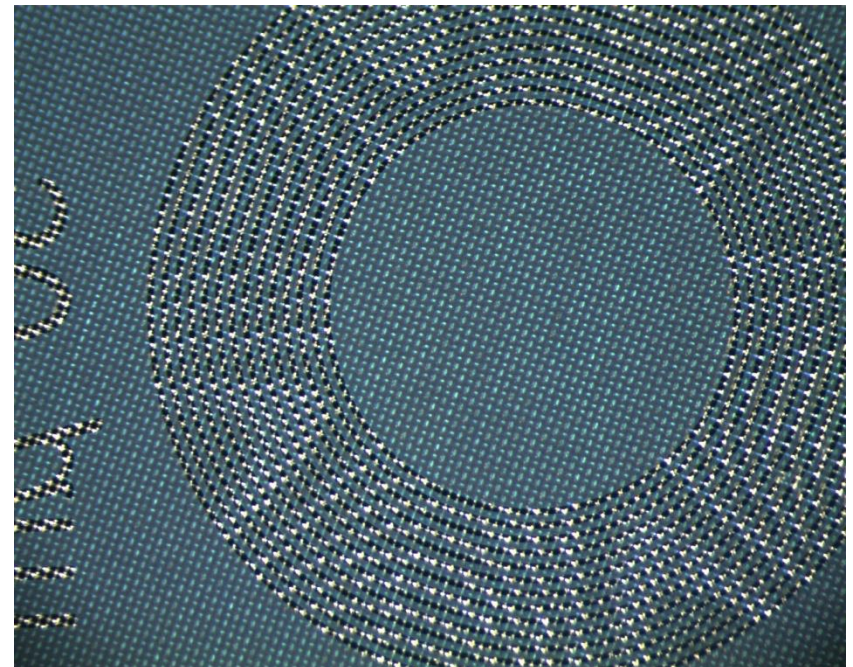


50 µm-Linie, 400 mesh, $d=18\mu\text{m}$

Minimale Strukturauflösung



50 µm Linie, 300 mesh, $d=20\mu\text{m}$



50 µm Linie, 400 mesh, $d=25\mu\text{m}$

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“

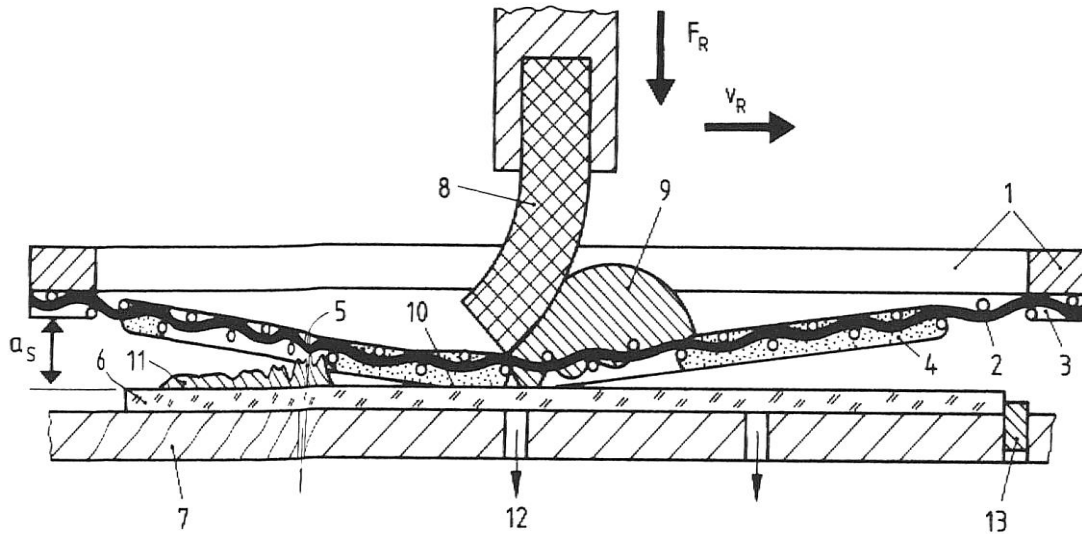
Einsatz von Druckformen

	Kantenschärfe	Geometrische Auflösung	Passergenauigkeit	Schichtdicke	Standzeiten	Herstellungsaufwand	Einsatzgebiet
direktes Emulsionssieb (einfach beschichtet)	--	--	--	--	+	++	breiter Einsatz für einfache Anwendungen und große Stückzahlen
direktes Emulsionssieb (einfach beschichtet, mit Auflage)	-	-	-	--	+	++	breiter Einsatz für einfache Anwendungen und große Stückzahlen
direktes Emulsionssieb (Mehrfachbeschichtung)	+	+	+	++	±	±	breiter Einsatz
indirektes Sieb	++	++	++	++	--	+	kleine Stückzahlen
indirekte Metallschablose	+	+	++	++	±	--	besonders Lotpastendruck
Lochplatte (Himesh-Platte)	++	++	++	++	+	+	
direkte Metallmaske	++	++	++		-(+)	--	Präzisionssiebdruck
Metallochmaske, beidseitig geätzt	+	++	++	++	+(-)	+(-)	Lotpads, Vias

Quelle: Hanke: „Hybridträger“

Siebdruck

Prinzip Siebdruck

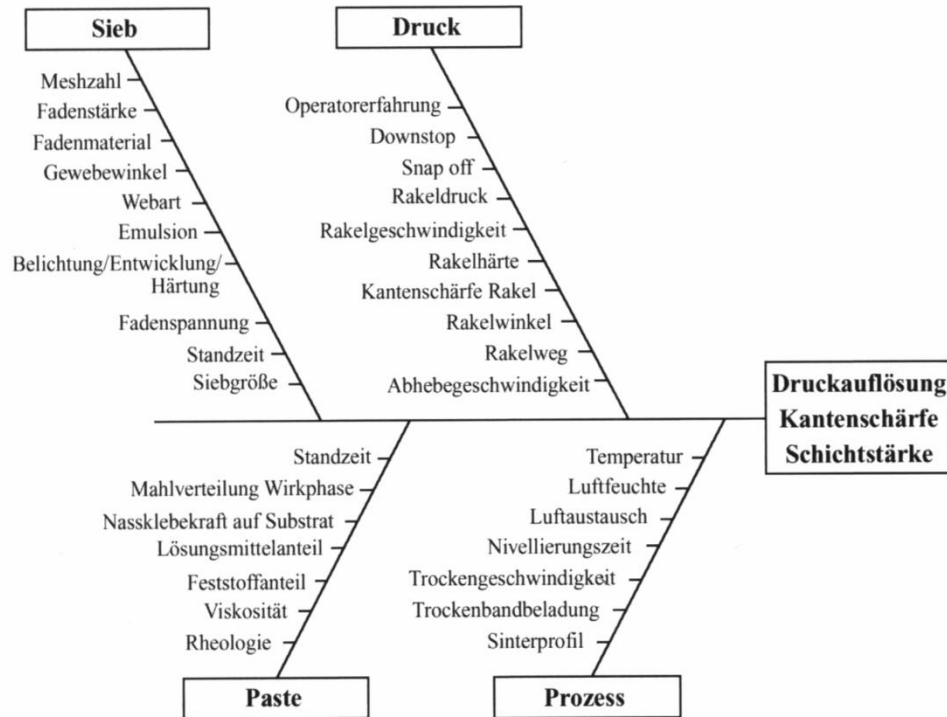


- 1 Siebrahmen
- 2 Schablonenträger (Siebgewebe)
- 3 Epoxydharzkleber
- 4 Siebdruckschablone (Fotopolymer)
- 5 Druckbild (Struktur)
- 6 Substrat
- 7 Drucktisch
- 8 Rakel
- 9 Dickschichtpaste
- 10 Siebschlepe
- 11 Druckstruktur (Druckstrukturbild)
- A Absprung
- F Rakelanpresskraft
- v Rakelgeschwindigkeit

Quelle: Hanke „Hybridträger“

Begriffe: (vgl. auch DIN 16 610)

Einflussfaktoren in der Dickschichttechnik

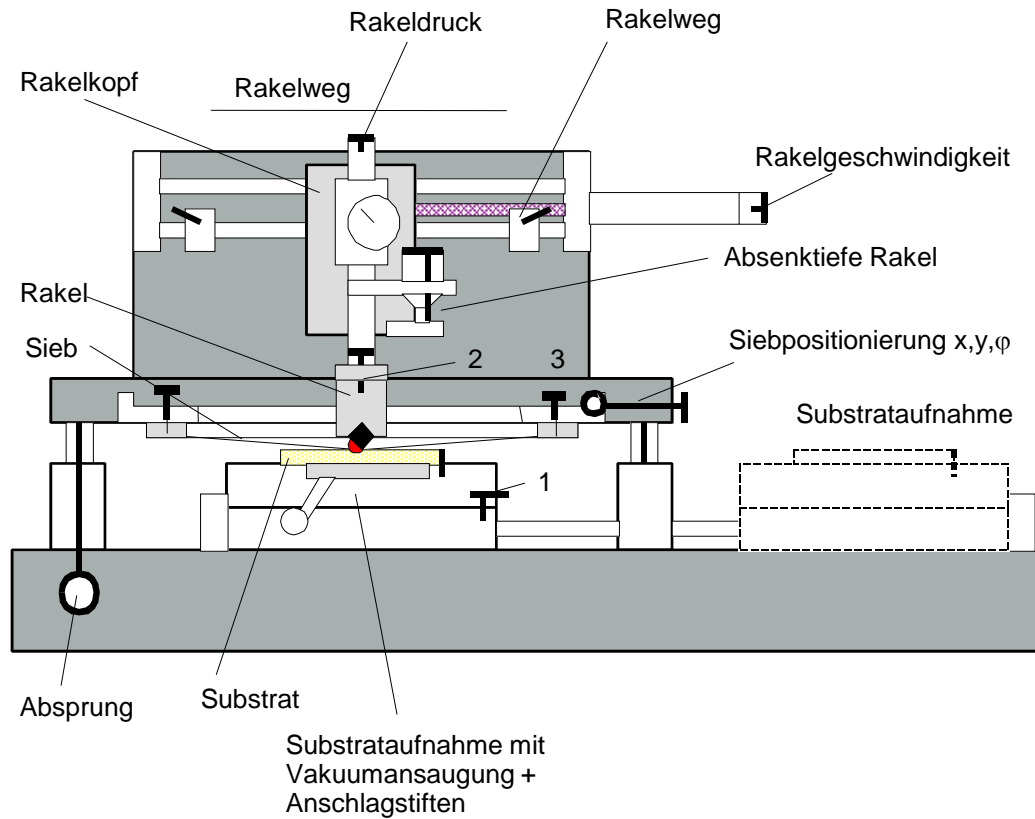


Quelle: Jillek, Keller: Handbuch der Leiterplattentechnik Bd. 4

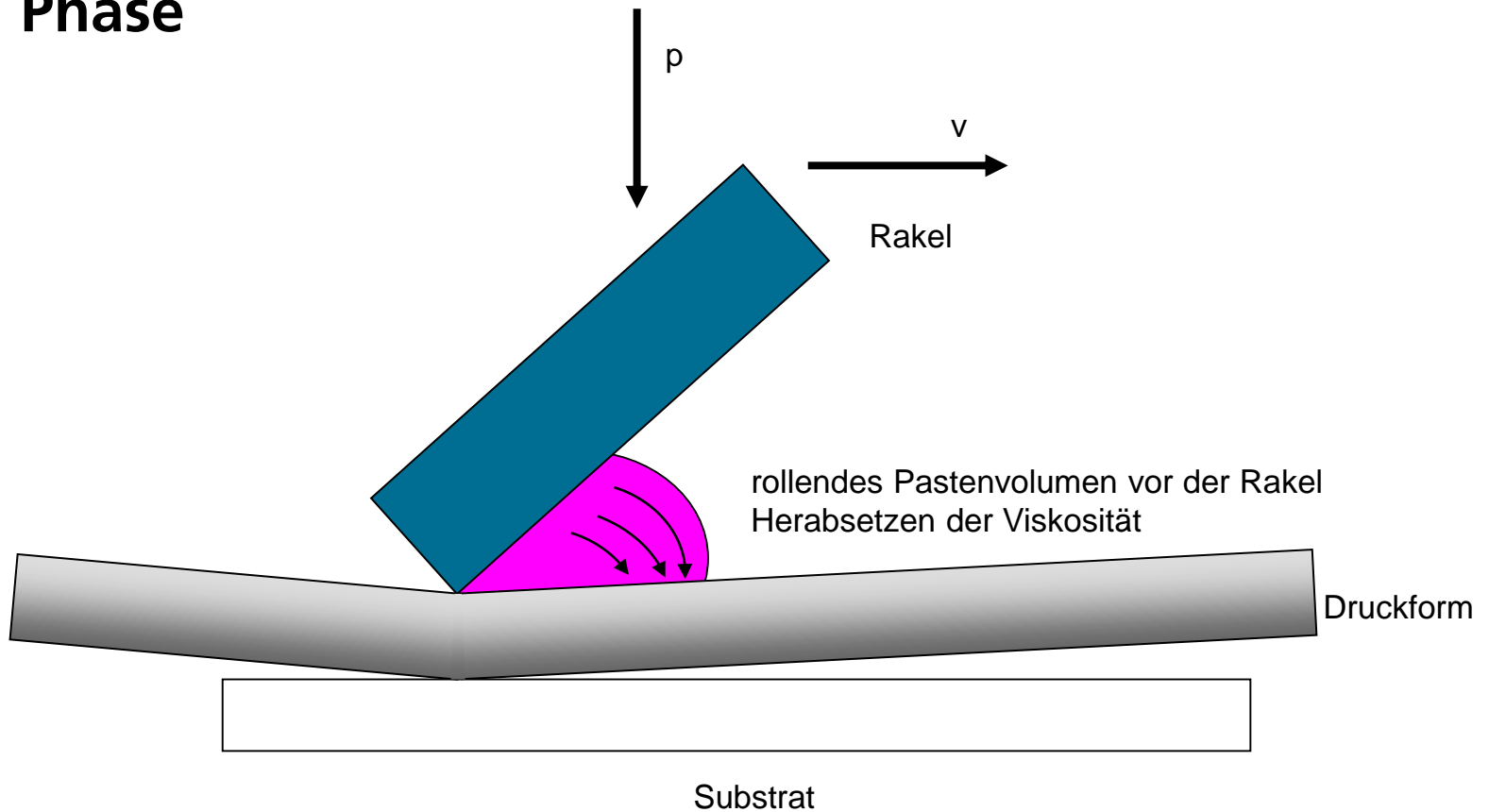
Wesentliche Einflussfaktoren während des Siebdrucks

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

Prinzipieller Aufbau eines Siebdruckers

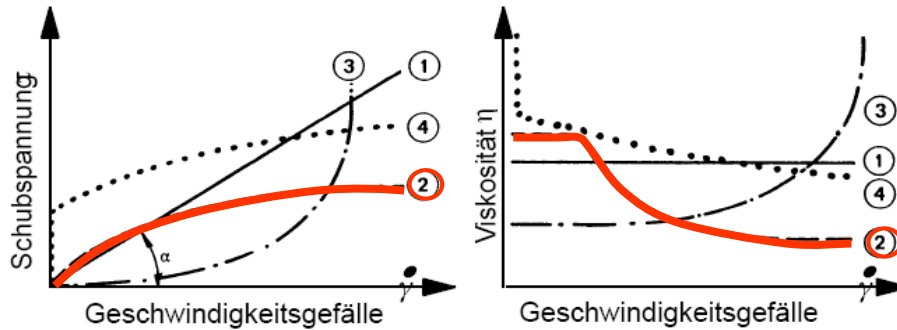


1. Phase



Prinzipbild: Nicht maßstäblich!

Pastenrheologie

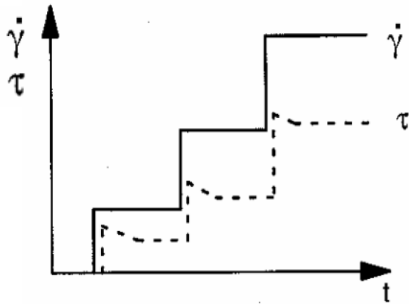


Quelle: G. Schramm "Einführung in Rheologie und Rheometrie"

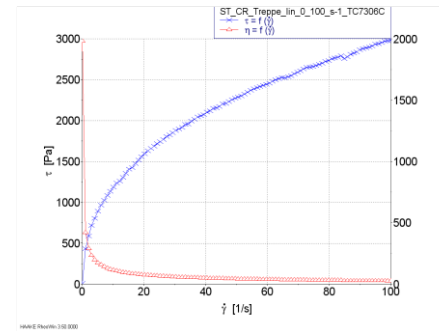
Fließ- und Viskositätskurven von verschiedenen Fließverhalten:

- 1 – newtonsche
- 2 – strukturviskose
- 3 – dilatante
- 4 – strukturviskose mit Fließgrenze

Messung der Fließ- und Viskositätskurven im CR-Modus

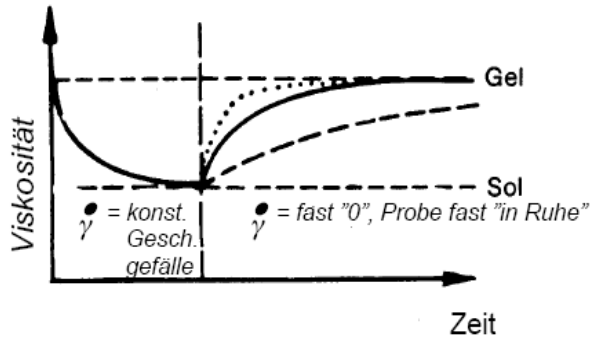


Vorgabe – Scheerratenstufenprofil um konstante Strömungsbedingungen zu gewährleisten.



Messergebnis – Fließ- und Viskositätskurven

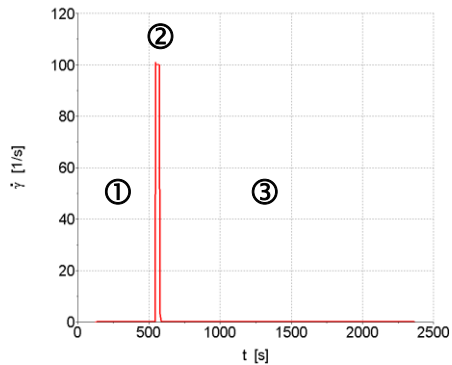
Modellmessungen



Viskositäts-Zeit-Kurve –
graphische Darstellung thixotropes Fließverhalten

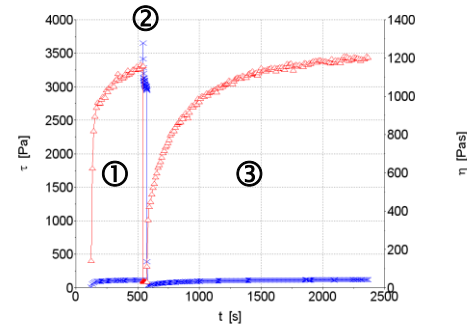
Quelle: G. Schramm "Einführung in Rheologie und Rheometrie"

Messung der Strukturabbau der Probe – 3-Phasen-Messung:



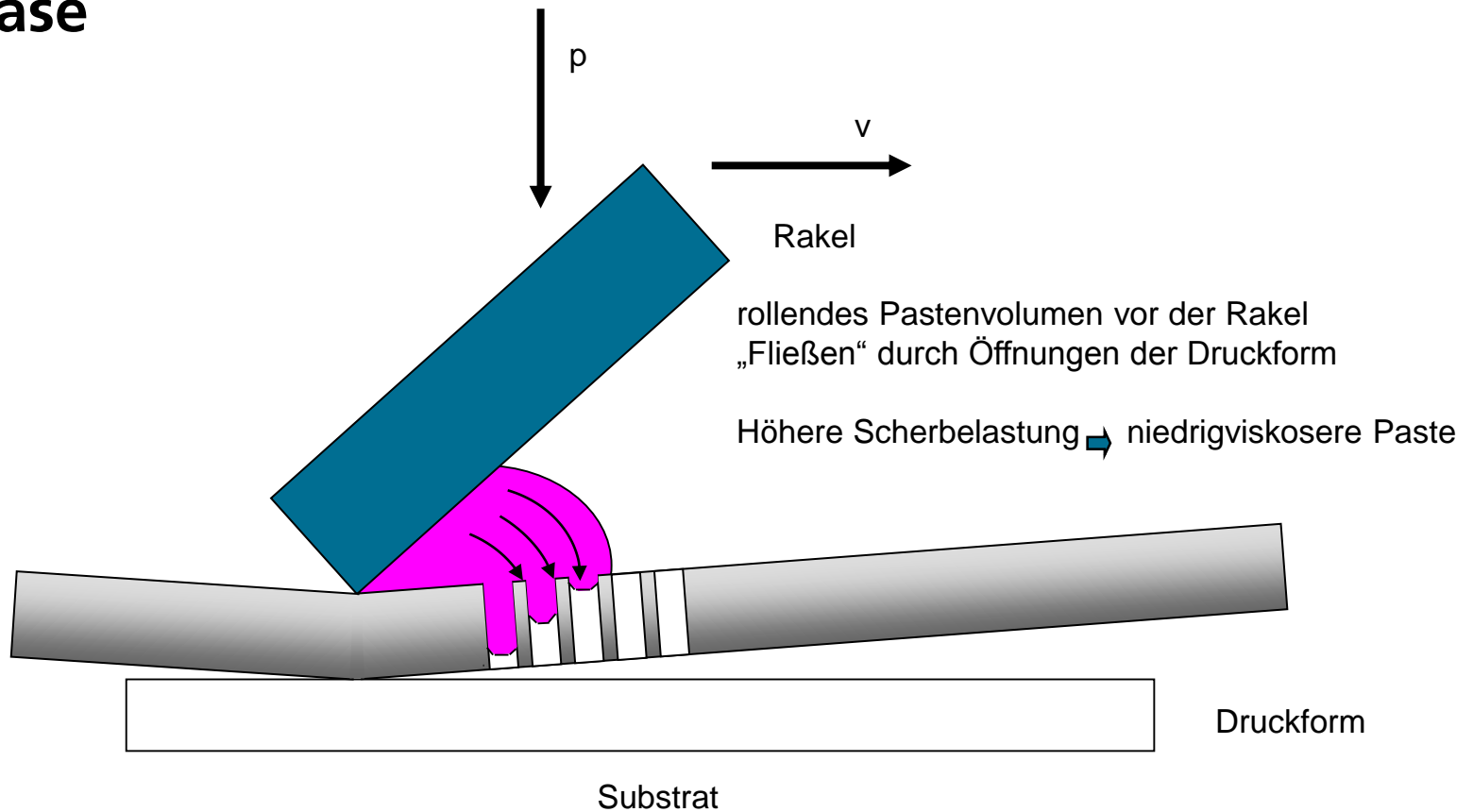
Vorgabe – Scheerraten-Sprungfunktion

- ① – Ruhephase
- ② – Belastungsphase
- ③ - Entlastungsphase



Messergebnis –
Viskositäts/Scherspannungs-Zeit-Kurve

2. Phase

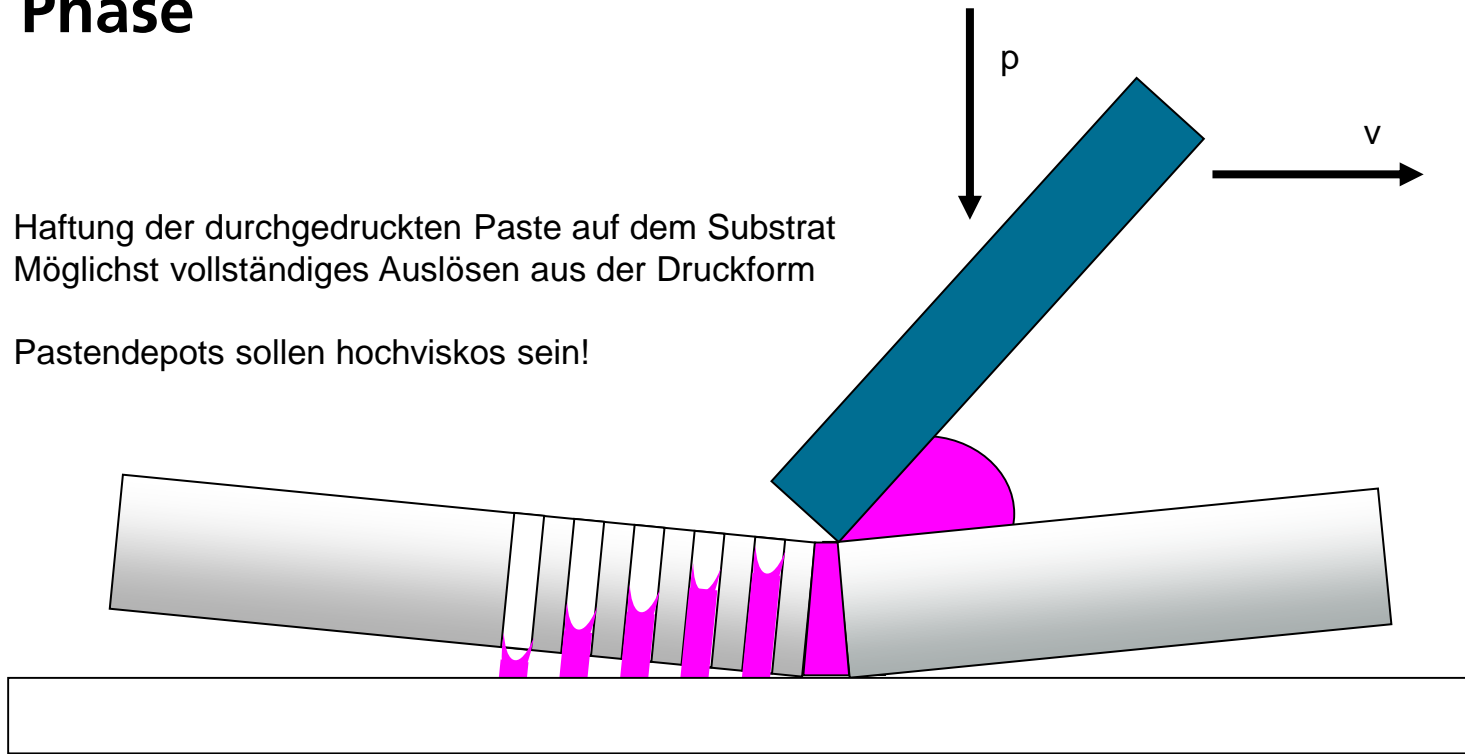


Prinzipbild: Nicht maßstäblich!

3. Phase

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

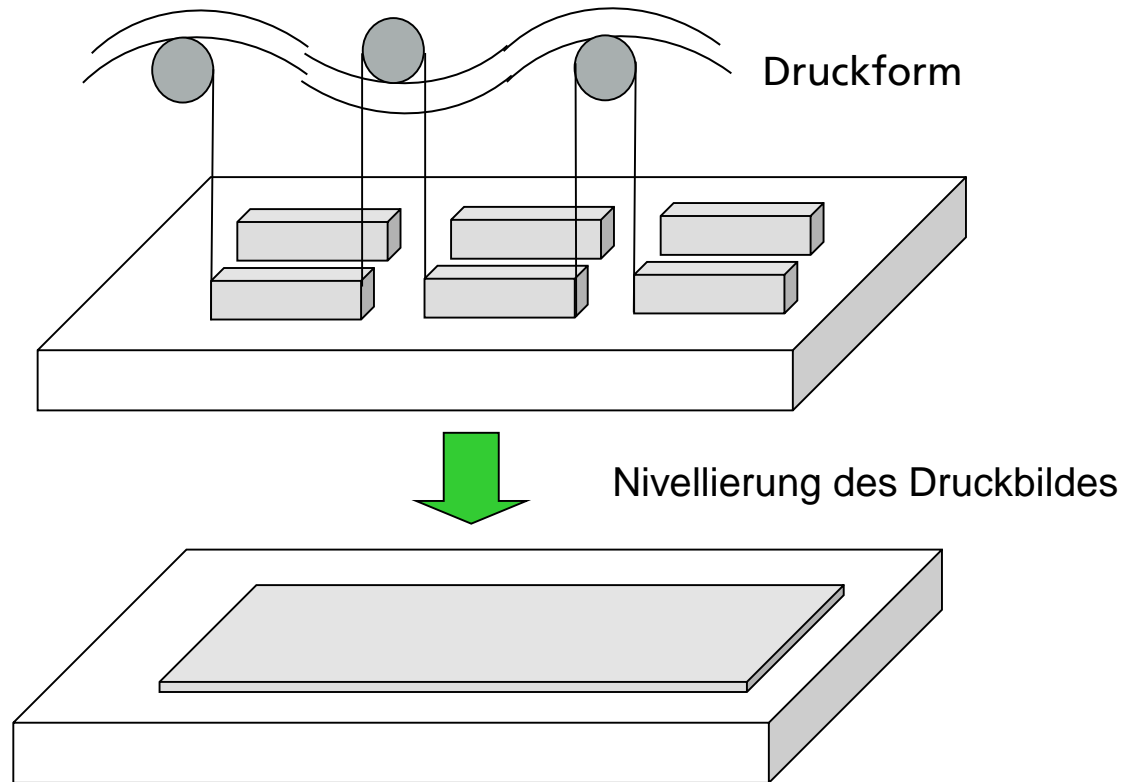
Pastendepots sollen hochviskos sein!



Auslösen der Paste !!

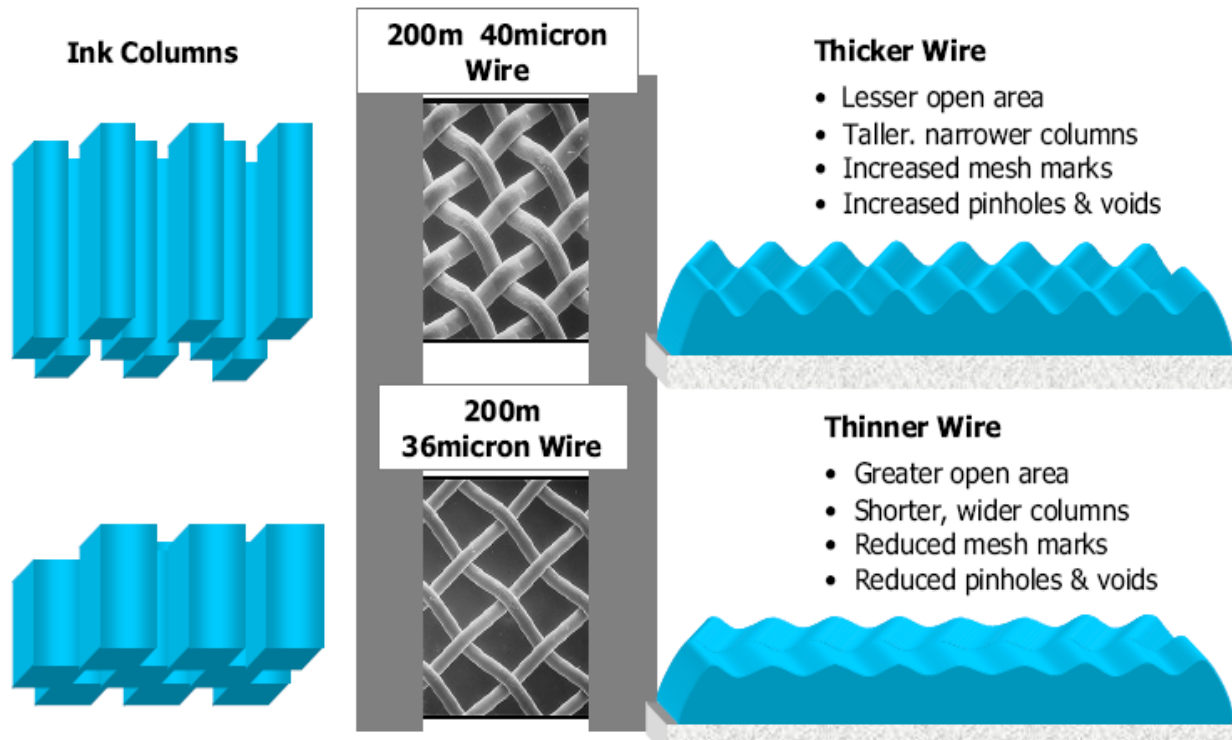
Prinzipbild: Nicht maßstäblich!

4. Phase



Prinzipbild: Nicht maßstäblich!

Einfluss der Siebparameter auf das Druckbild

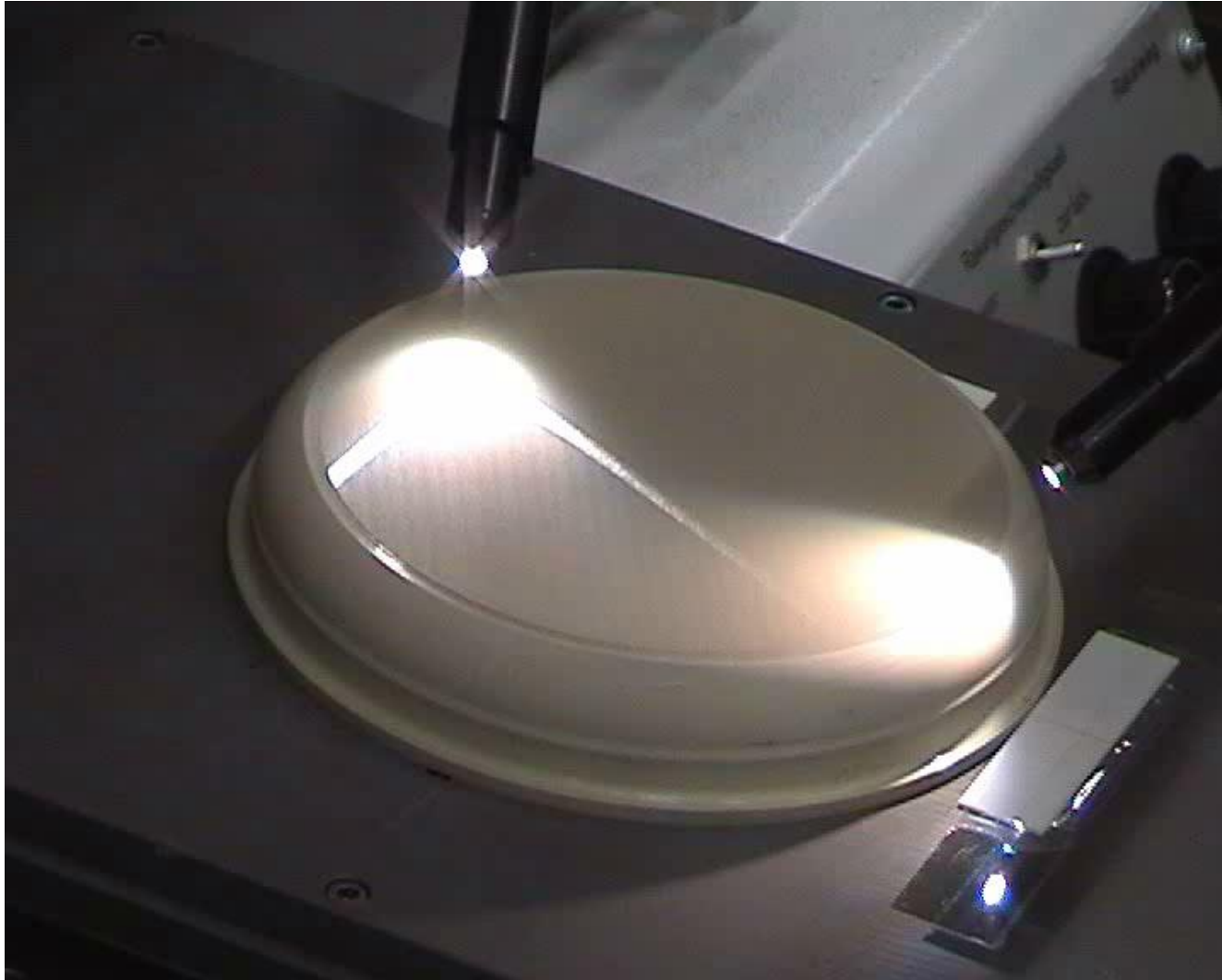


Quelle: John Oleksyn
DuPont Bristol UK

Einflussgrößen auf Druckprozess (Auswahl)

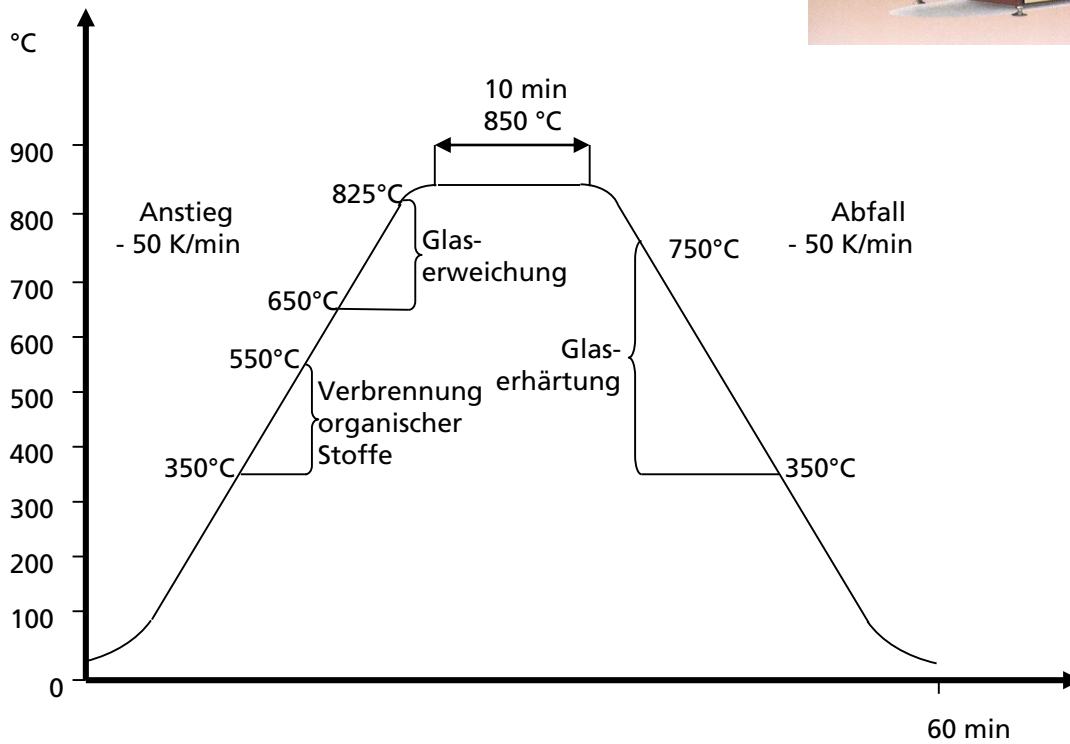
	I. Phase - Strömung der Paste vor der Rakel	II. Phase - Strömung der Paste durch die Druckformöffnung	III Phase - Entformung der Paste	IV Phase - Ausgleich der Paste auf Substrat
Pasten- einflüsse	<ul style="list-style-type: none"> • Viskosität • Pastenvolumen 	<ul style="list-style-type: none"> • Viskosität • Thixotropie • Teilchengröße • Fließgrenze 	<ul style="list-style-type: none"> • Viscoelastizität • Viskosität • Adhäsionskräfte 	<ul style="list-style-type: none"> • Viskosität • Thixotropie • Oberflächen- spannung • 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"> • Abhebe- geschwindigkeit 	
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
Druckstruk- tureinflüsse		<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

Siebdruck Bsp. EKRA



Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2017

Brennprofil



Thermische Prozesse

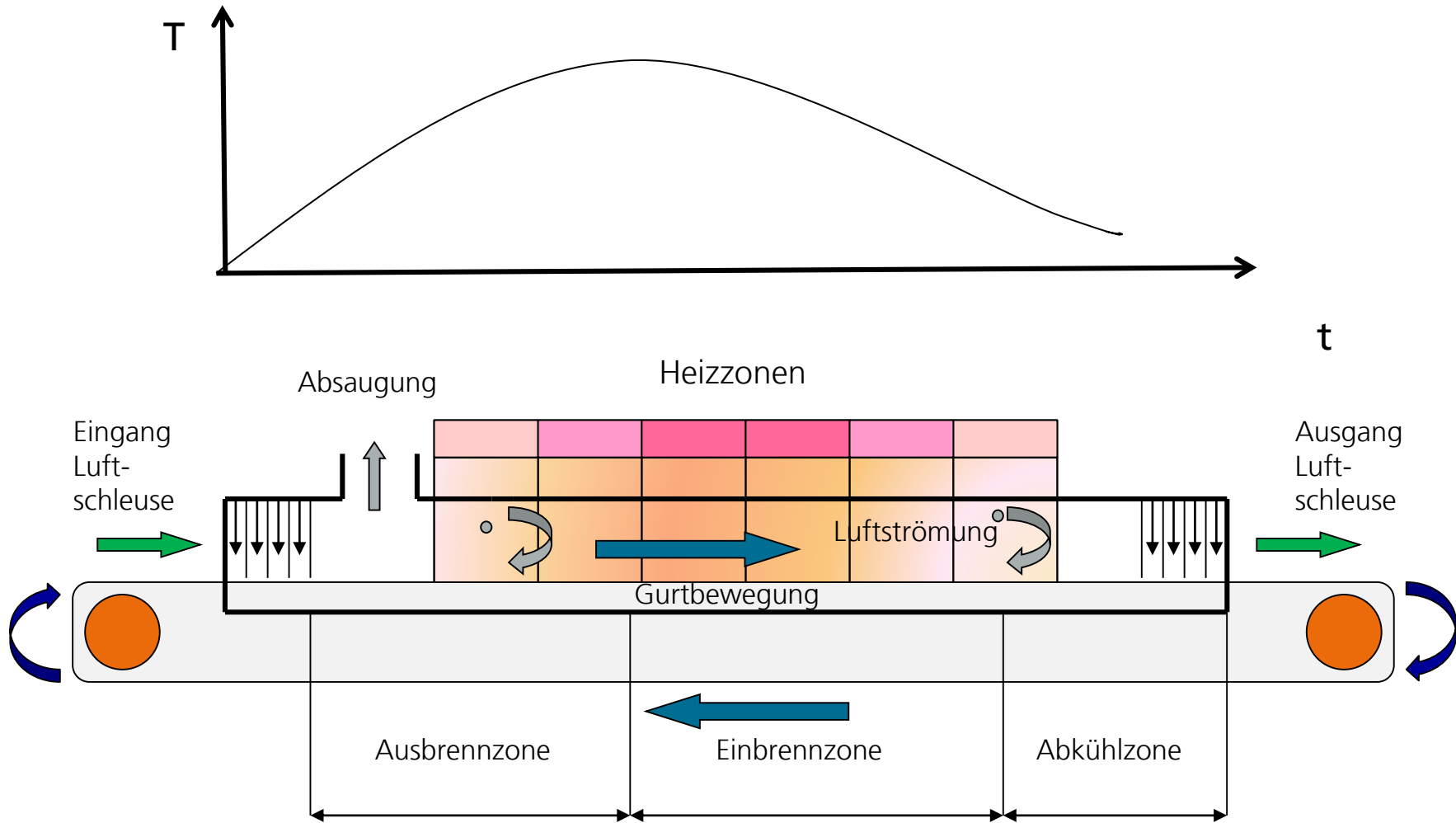
allgemein:

- 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	

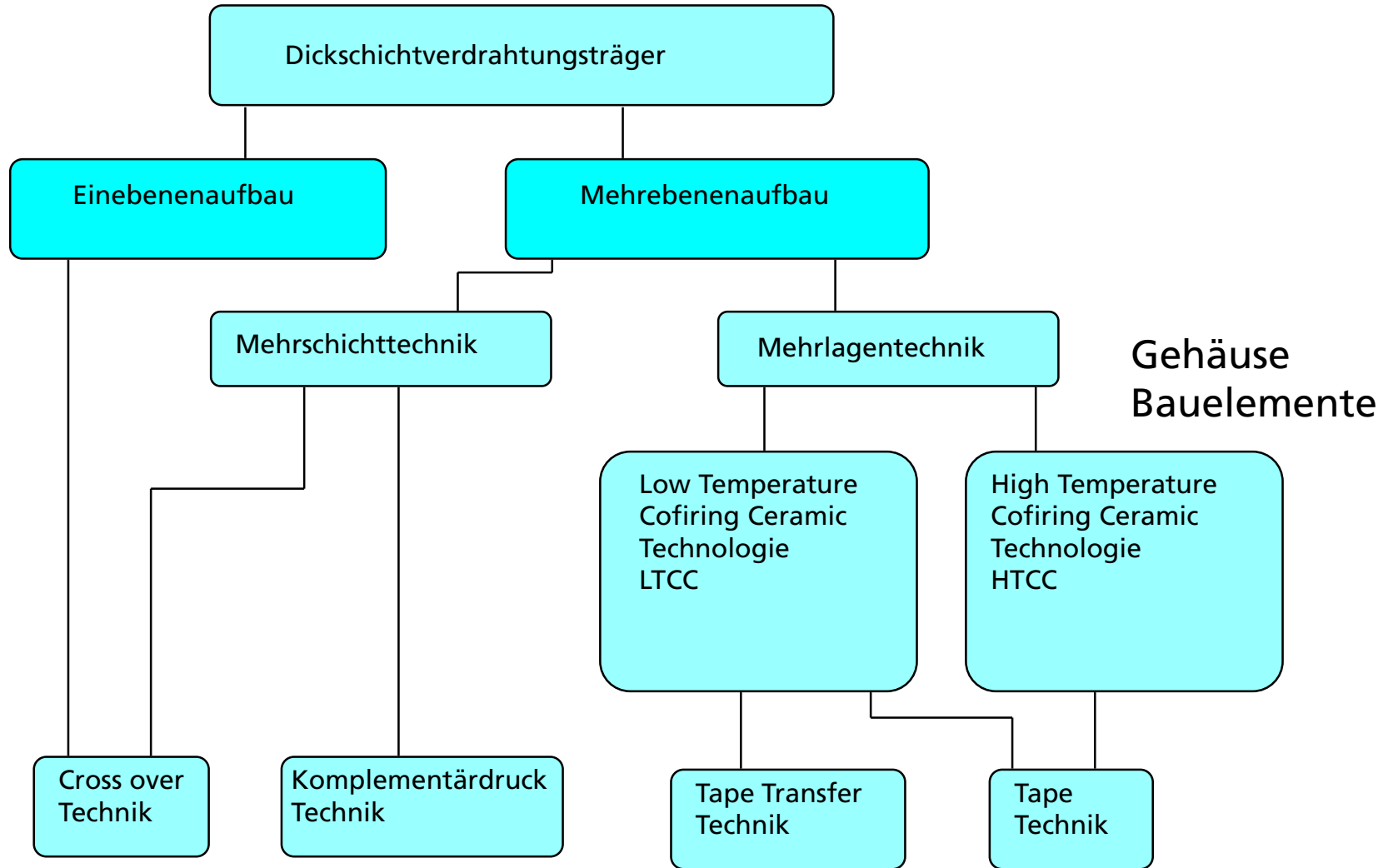
Schematischer Aufbau eines Dickschichtofens



Einfluss ungenügender Gasmenge beim Einbrennen

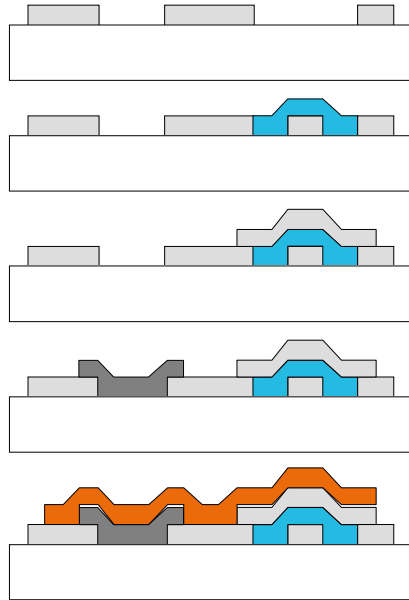
Leiterbahnen	Widerstände	Dielektrika
hoher Widerstand	kleiner Widerstand	Blasenbildung
schlechte Oberflächenrauigkeit	großer Widerstand	hohe Porösität
schlechte Lötbarkeit	schlechte Oberfläche	hohes $\tan \delta$
geringe Haftung		

Einordnung Dickschichtverdrahtungsträger

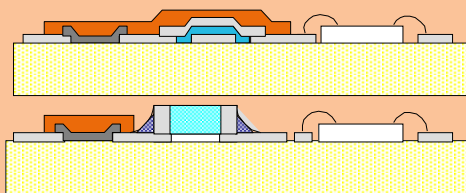


Technologieablauf beim Mehrebenenbau

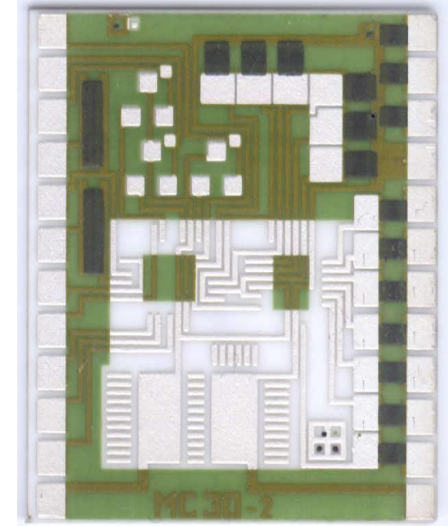
Cross over Technik



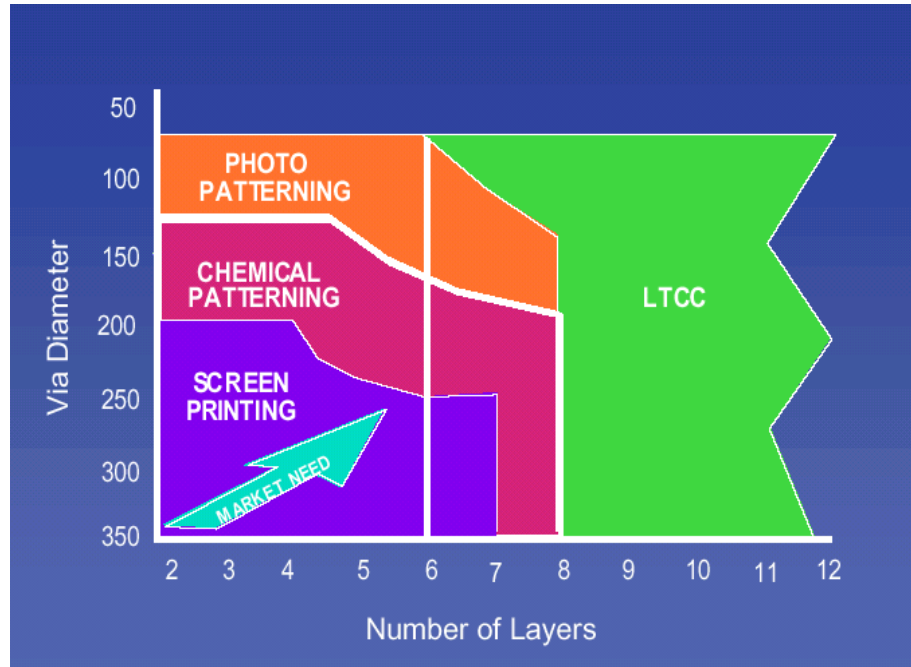
Montage



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

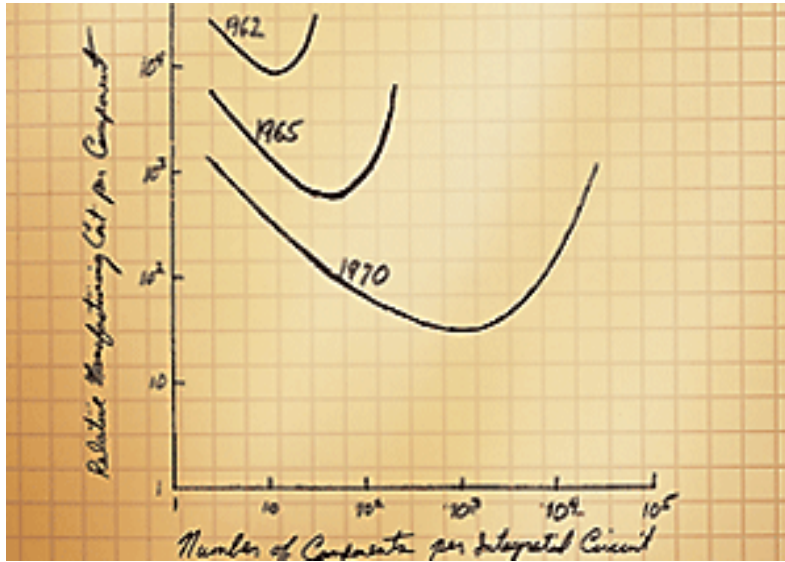


Technologietreiber

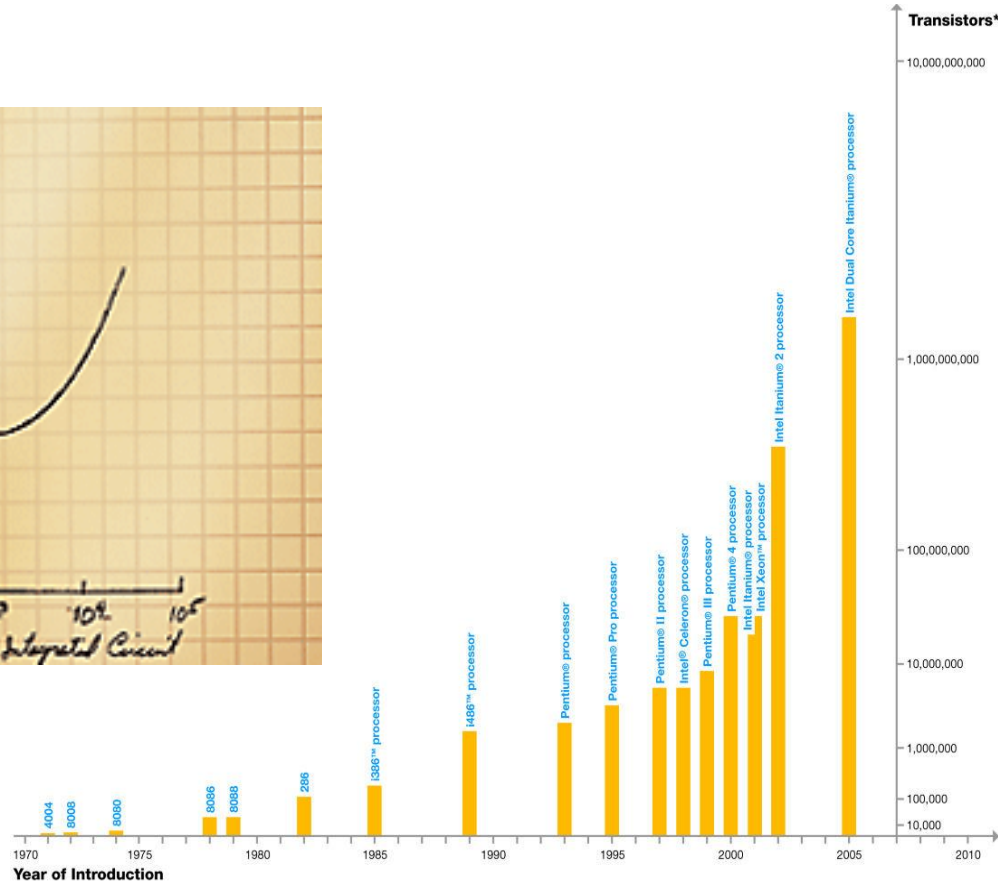


Quelle: 1998 National Electronics Manufacturing
Technology Roadmaps

Technologietreiber „Performance“ – Moore’s Law



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

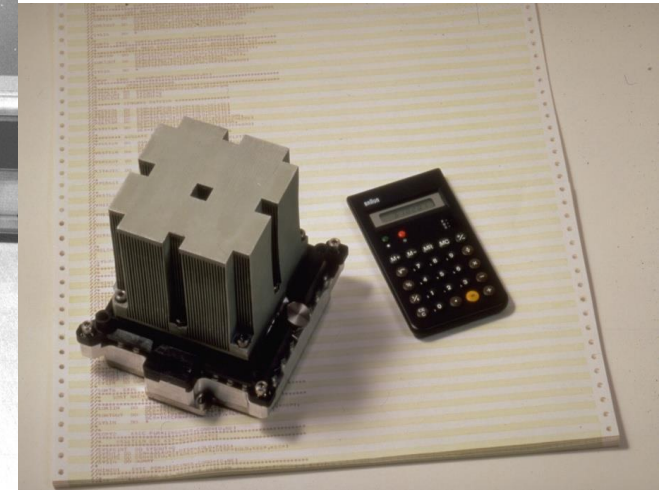


*Note: Vertical scale of chart not proportional to actual Transistor count.

Technologietreiber „Performance“ – > Roadmap 2003

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

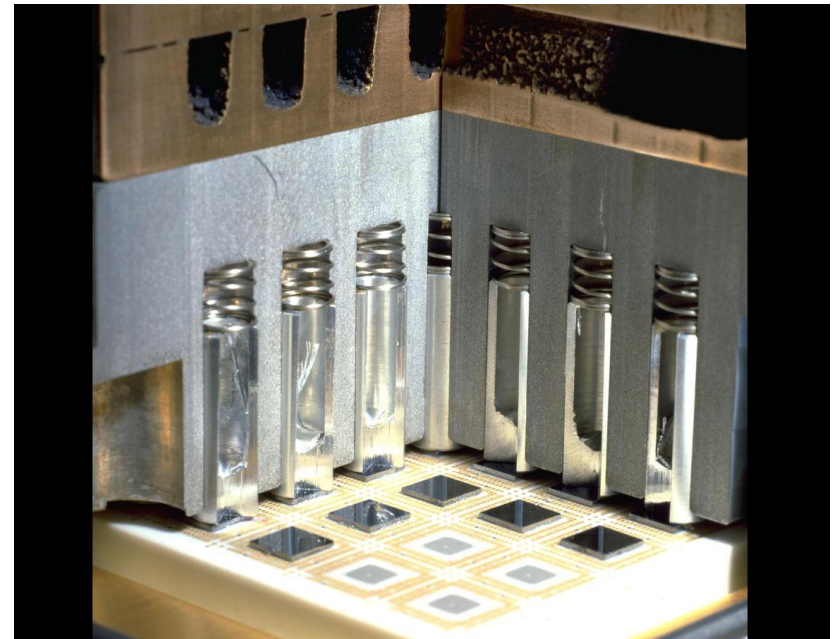
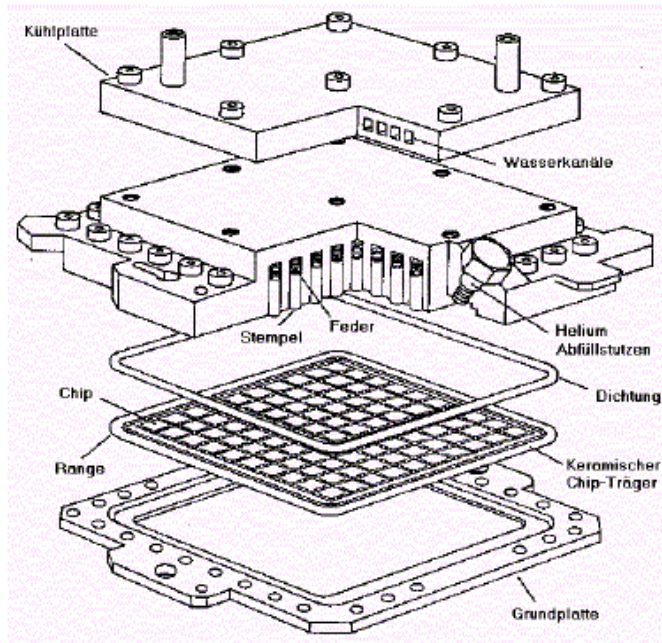
TCM Modul 1



Quelle: www.ibm.com

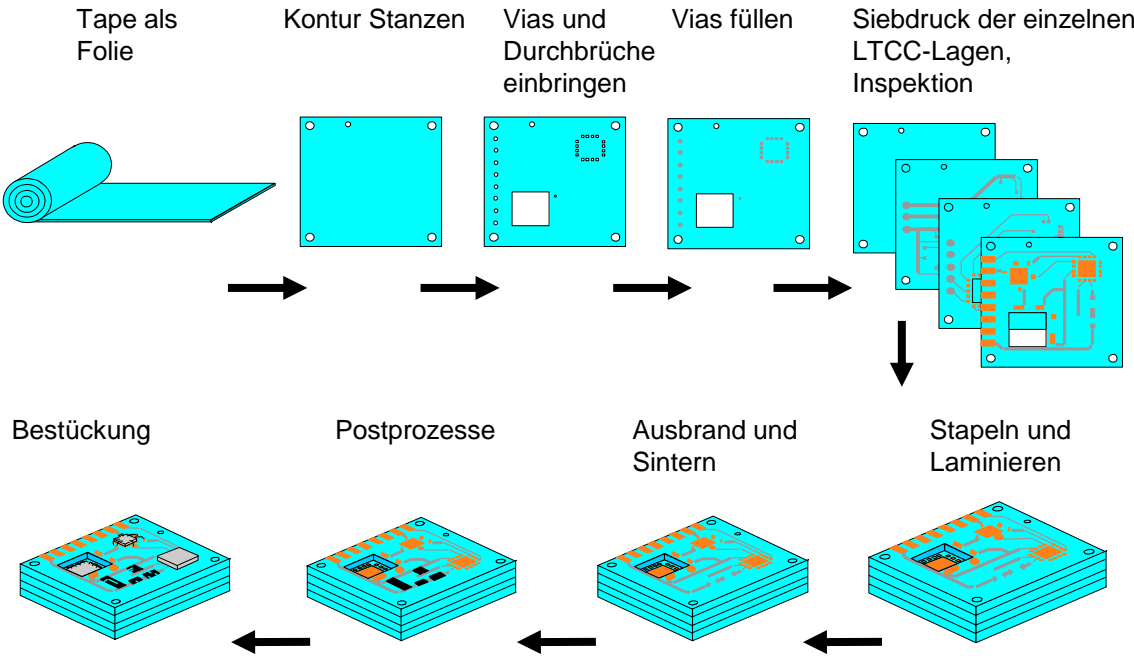
TCM Modul 2

Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2017



Standardprozess LTCC

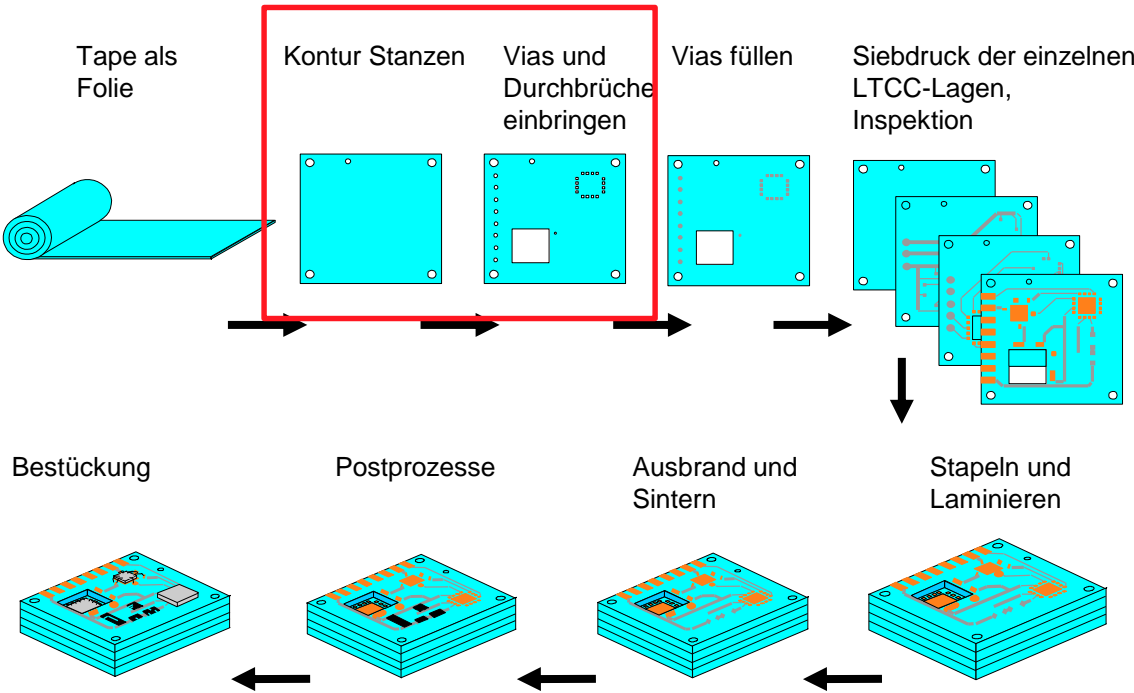
Technologieablauf LTCC



Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2017

M. Luniak, TUD IA VT

Technologieablauf LTCC



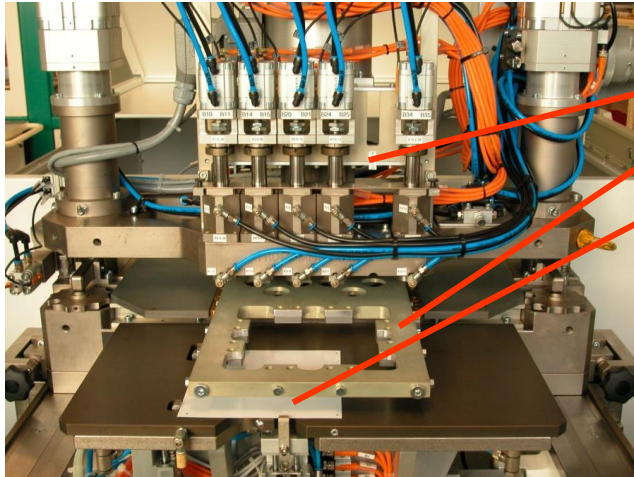
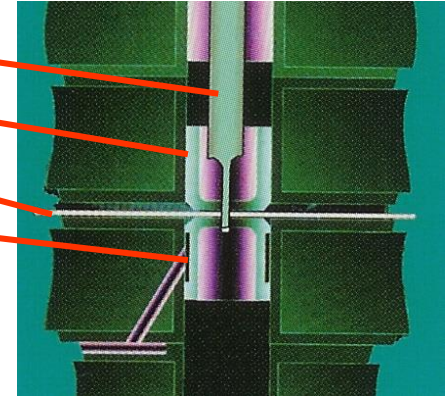
Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2017

M. Luniak, TUD IA VT

Via Stanzen

Aufbau eines Stanzwerkzeuges: (schematisch)

- Stanzstempel
- Absteiferbuchse
- LTCC-Grünfolie
- Schnittbuchse



Stanzwerkzeug in der Praxis:

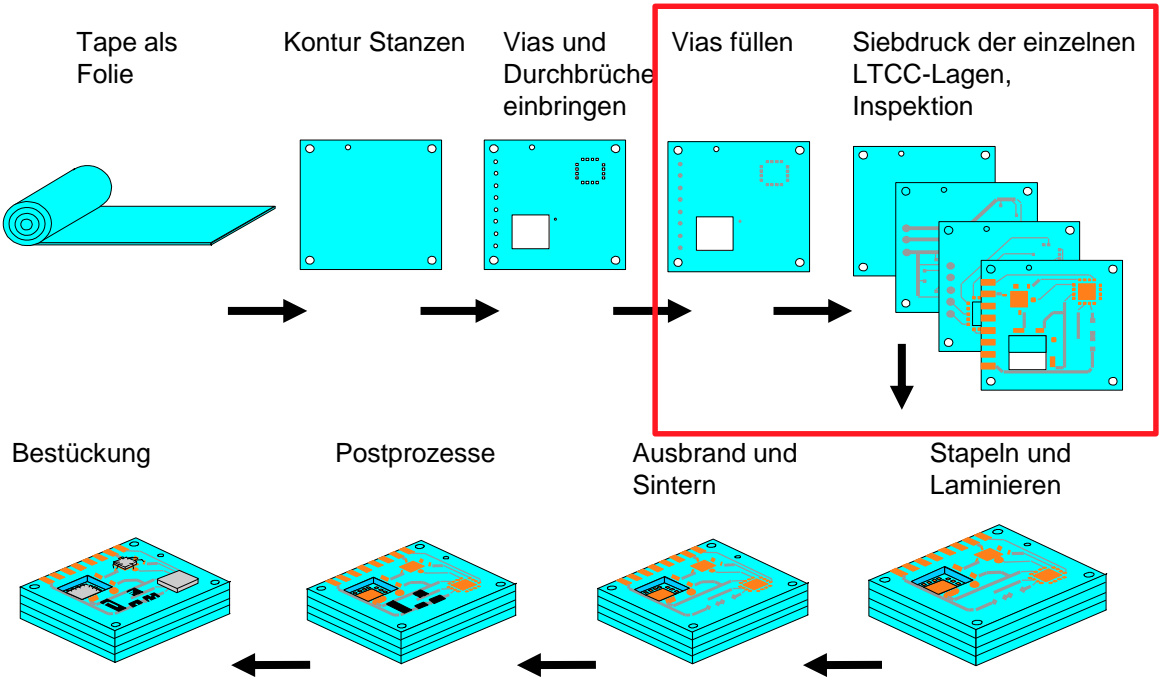
- Präzisions-Stanzwerkzeug mit Mehrfachstempelanordnung
- Substrathalterung (Saugrahmen)
- LTCC-Substrat



Automatische Stanzanlage:

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

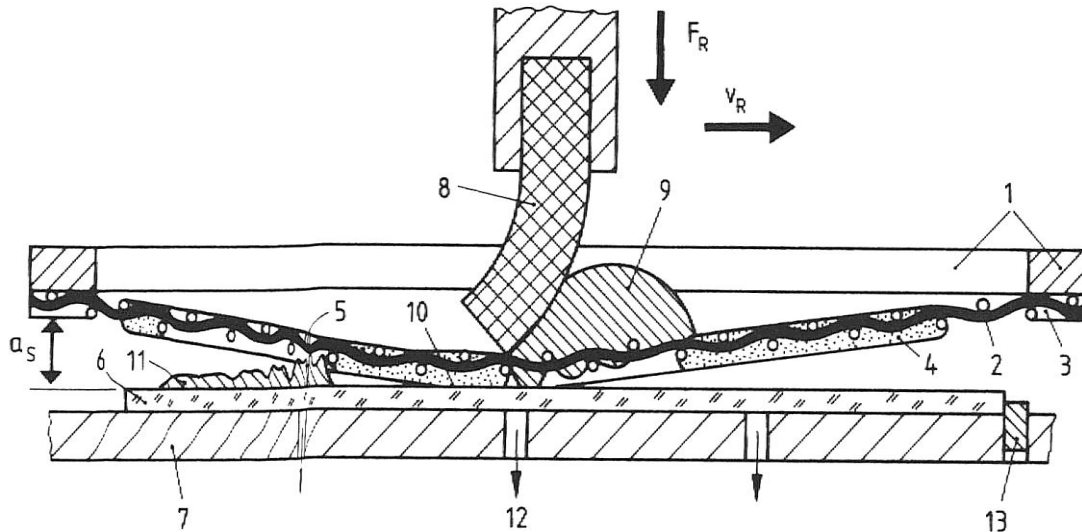
Technologieablauf LTCC



Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2017

M. Luniak, TUD IA VT

Prinzip Siebdruck

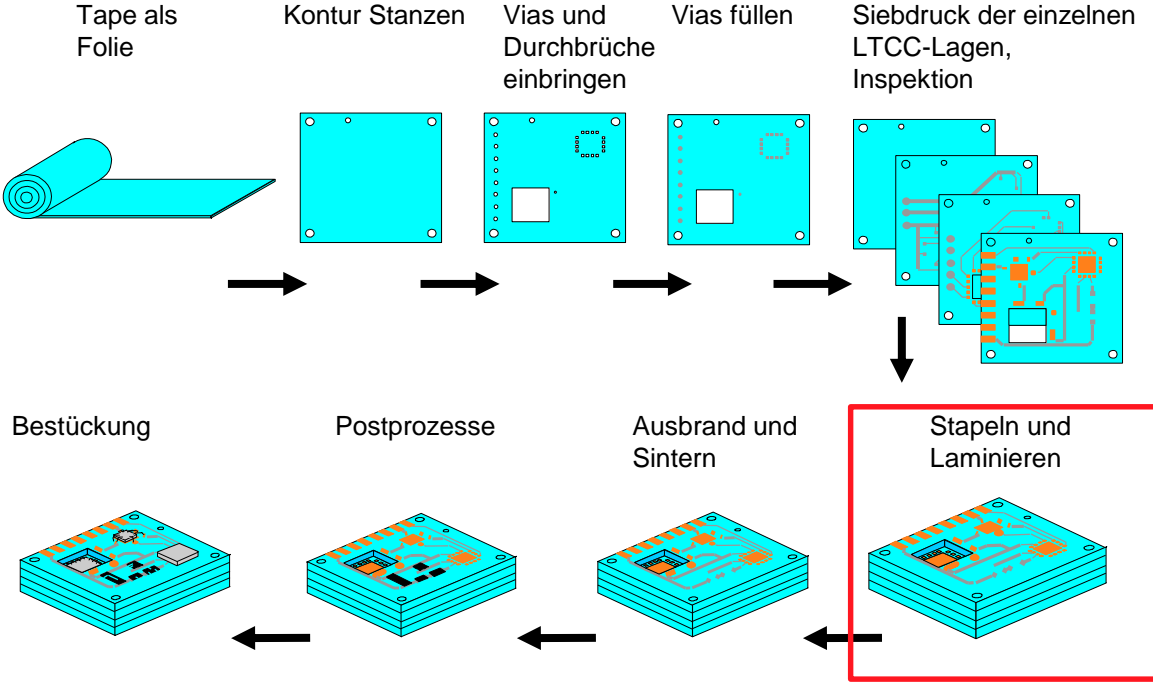


- 1 Siebrahmen
- 2 Schablonenträger (Siebgewebe)
- 3 Epoxydharzkleber
- 4 Siebdruckschablone (Fotopolymer)
- 5 Druckbild (Struktur)
- 6 Substrat
- 7 Drucktisch
- 8 Rakel
- 9 Dickschichtpaste
- 10 Siebschlepe
- 11 Druckstruktur (Druckstrukturbild)
- A Absprung
- F Rakelanpresskraft
- v Rakelgeschwindigkeit

Quelle: Hanke „Hybridträger“

Begriffe: (vgl. auch DIN 16 610)

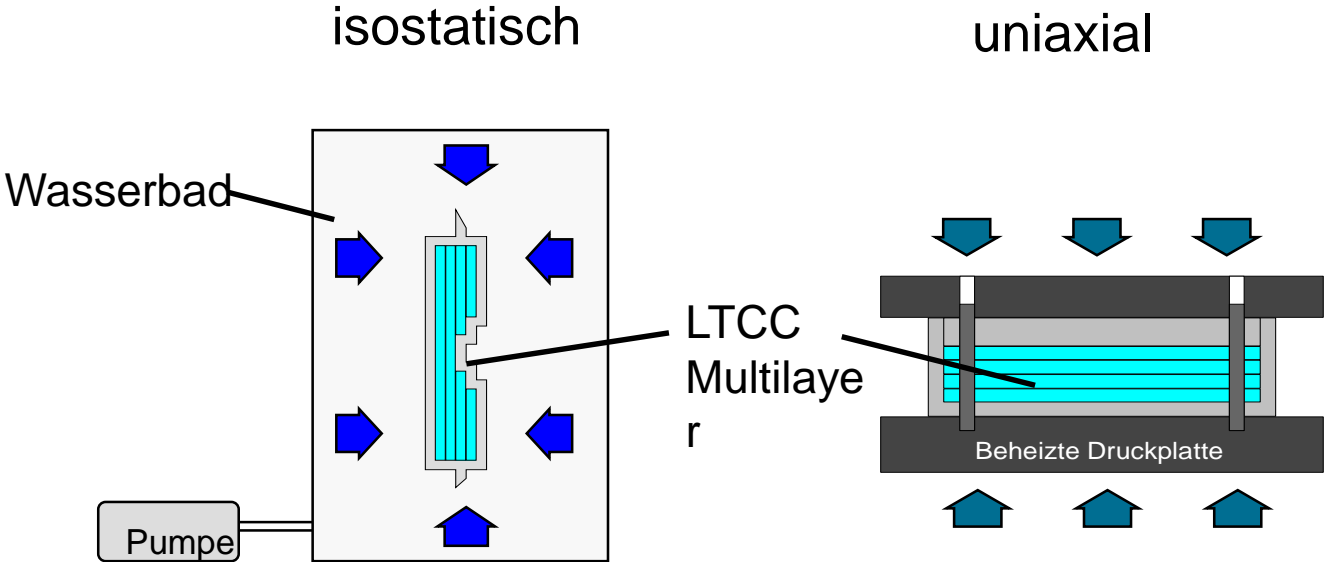
Technologieablauf LTCC



Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2017

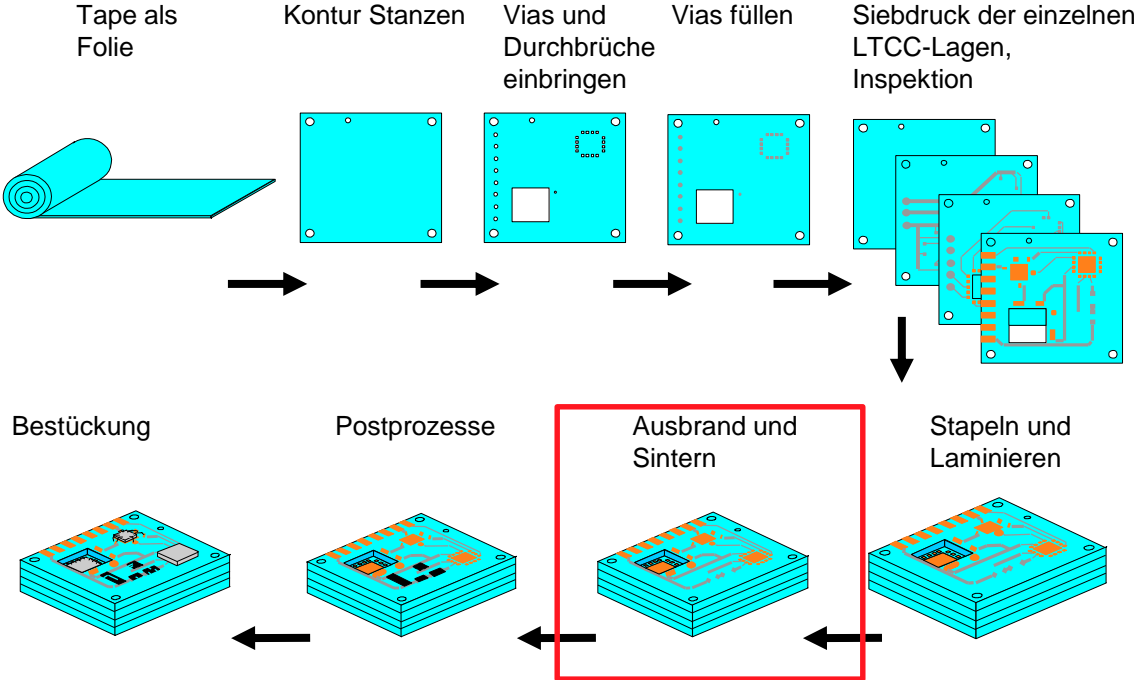
M. Luniak, TUD IA VT

Laminationsverfahren



Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2017

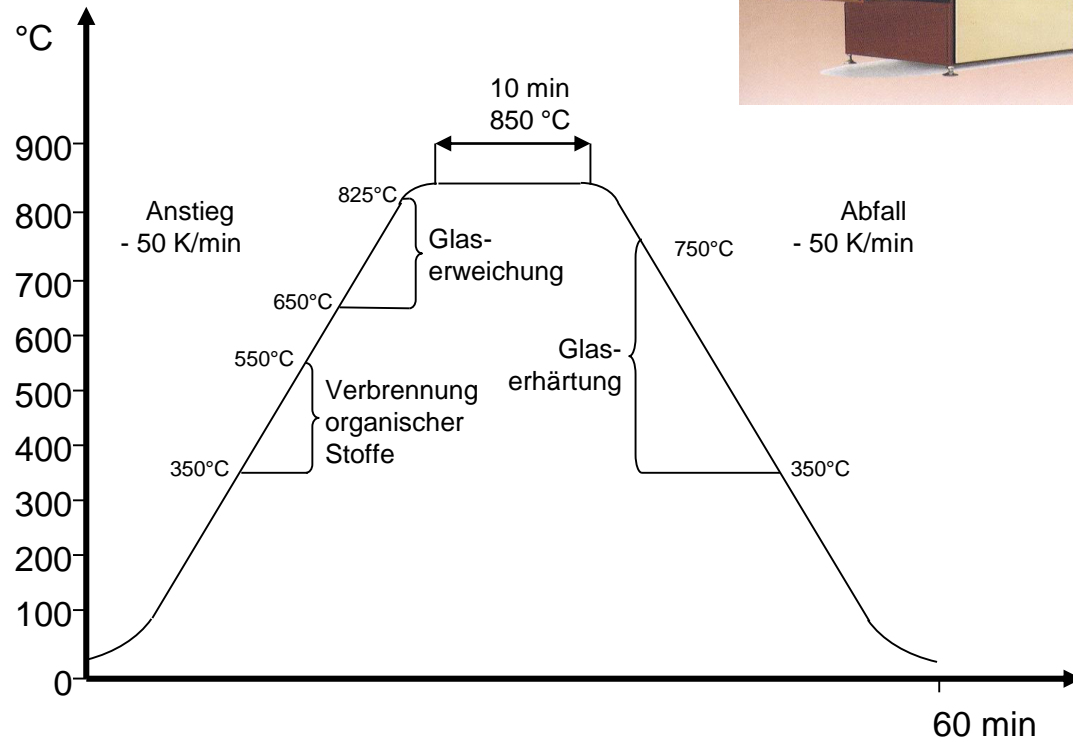
Technologieablauf LTCC



Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2017

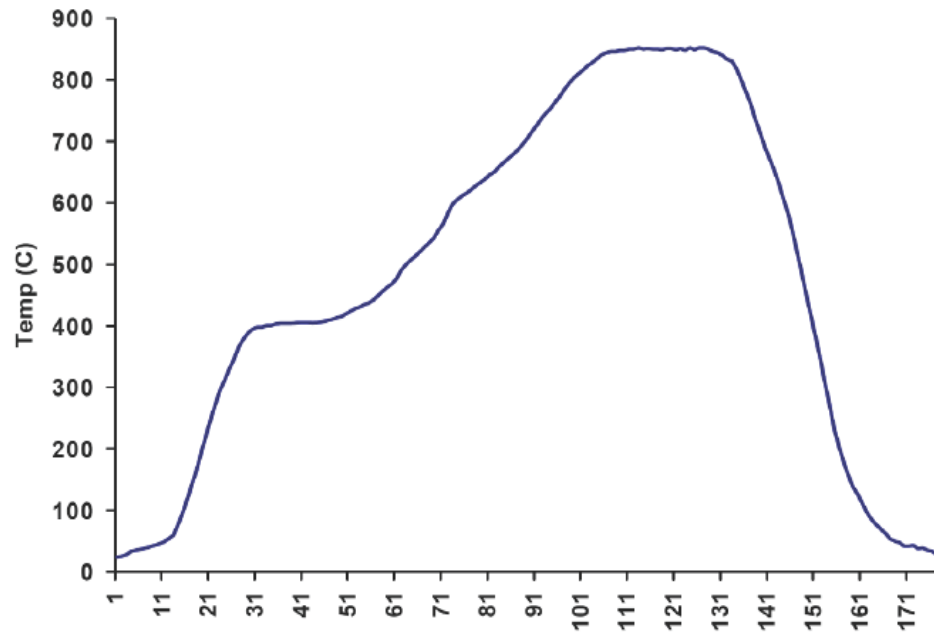
M. Luniak, TUD IA VT

Einbrennprofil für 850 °C Temperaturprofil (Standard DS)



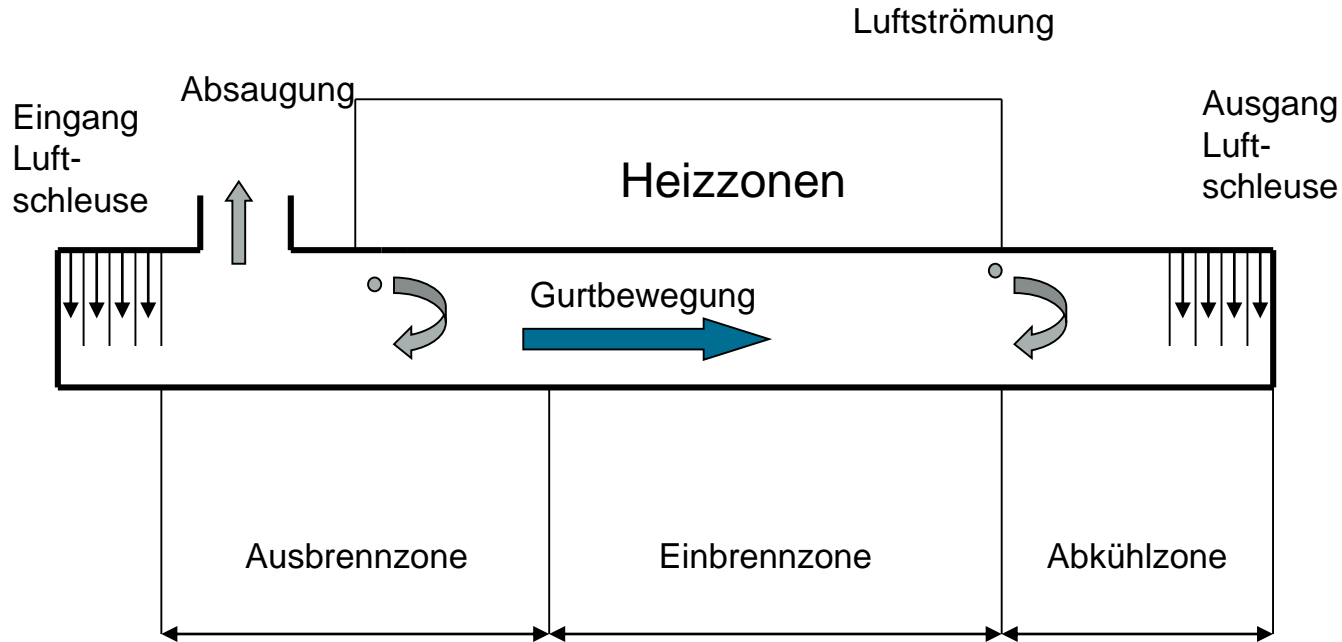
Brennprofil LTCC z.B. DP 951

Recommended Firing Profile

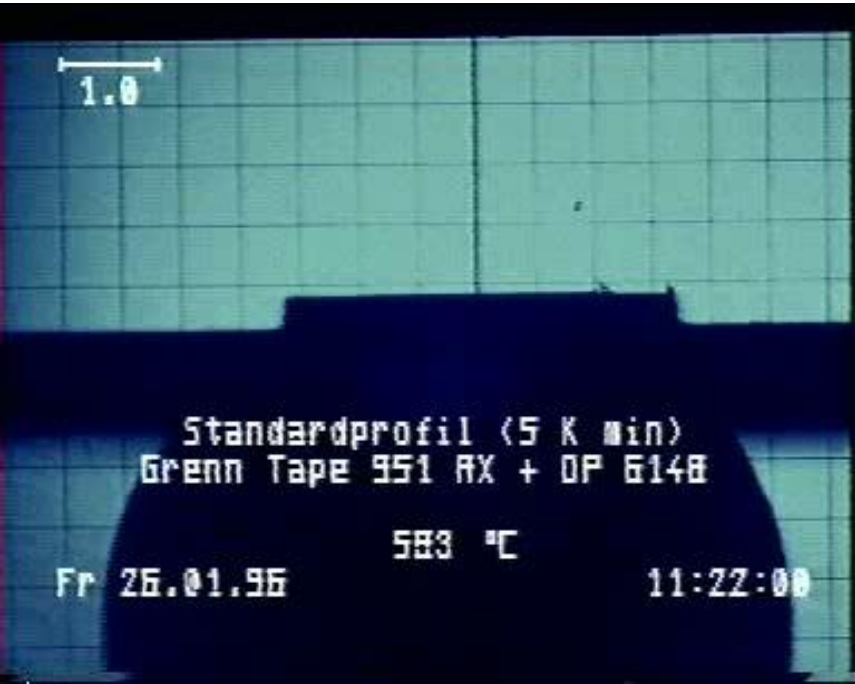


Quelle: Datenblatt DP 951

Schematischer Aufbau eines Dickschichtofens

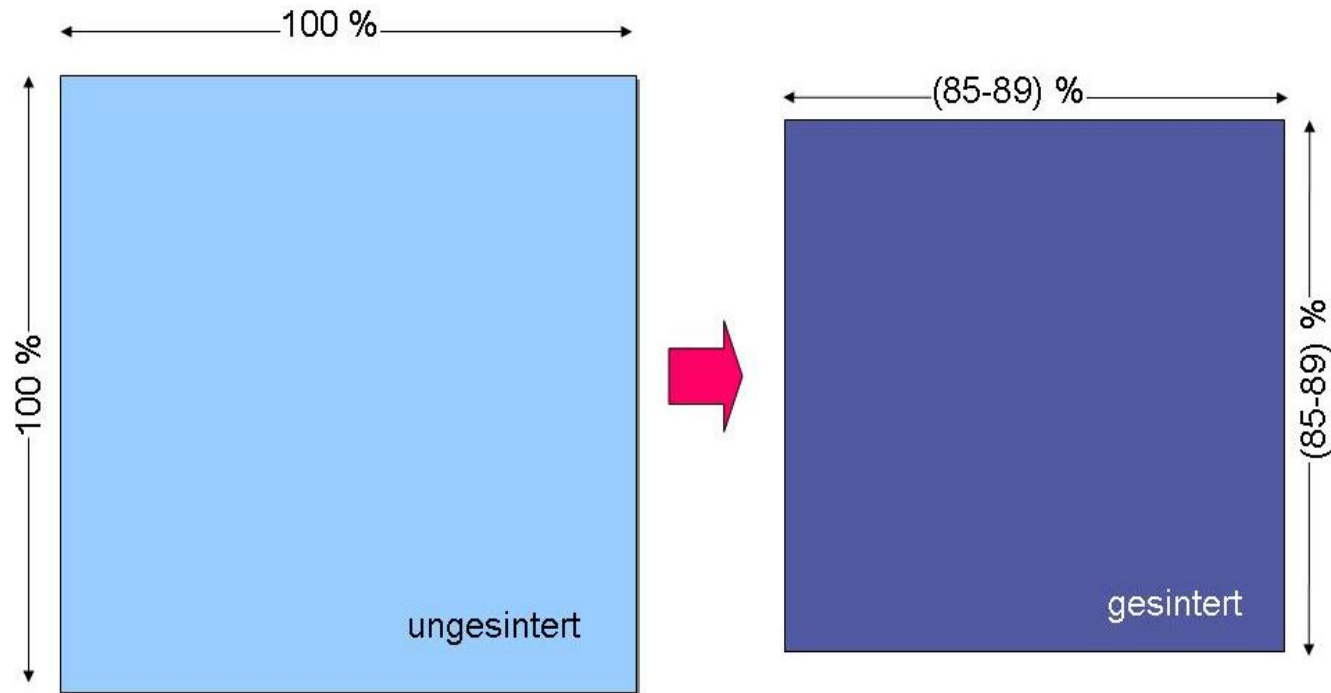


Ausbrand



Dr. Lars Rebenklau; FhG IKTS 2017

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!