	<p style="text-align: center;"><b>Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik</b> Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik Technische Universität Dresden</p>
Praktikum	<p style="text-align: center;">Technologien der Elektronik (GMT) Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik (MEL, WING)</p>
Modul	<p style="text-align: center;">ET-12 06 01 (GMT) / ET-12 06 02 (MEL) WING-BA-20-02 (WING)</p>
Versuch	<p style="text-align: center;"><b>Dickschichttechnik</b></p>

## Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen.....	2
2	Prinzipieller Verfahrensablauf.....	3
3	Materialien.....	4
	3.1 Substrate .....	4
	3.2 Dickschichtpasten.....	6
4	Der Siebdruck.....	10
	4.1 Verfahrensablauf .....	10
	4.2 Druckform .....	11
5	Die thermischen Prozesse.....	12
6	Hybridisierung.....	13
7	Versuchsdurchführung .....	14

Verantwortlicher Hochschullehrer:  
Versuchsbetreuer / Labor:  
Erstellt:

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Karlheinz Bock  
Dr.-Ing. Marco Luniak / WHZ 161/161a  
01.10.2014

# 1 Grundlagen

Die Dickschichttechnologie ermöglicht die Herstellung elektronischer Schaltungen auf anorganischen Trägersubstraten mit der Möglichkeit zur Integration von Widerständen, Kondensatoren und Induktivitäten. Diese Dickschicht-Schaltkreise können durch die Montage aktiver und passiver Bauelemente zu leistungsfähigen, kompakten elektronischen Baugruppen ergänzt werden. Solche mit Bauelementen anderer Technologien bestückte Dickschicht-Schaltkreise werden als **Dickschicht-Hybridschaltkreise** bezeichnet.

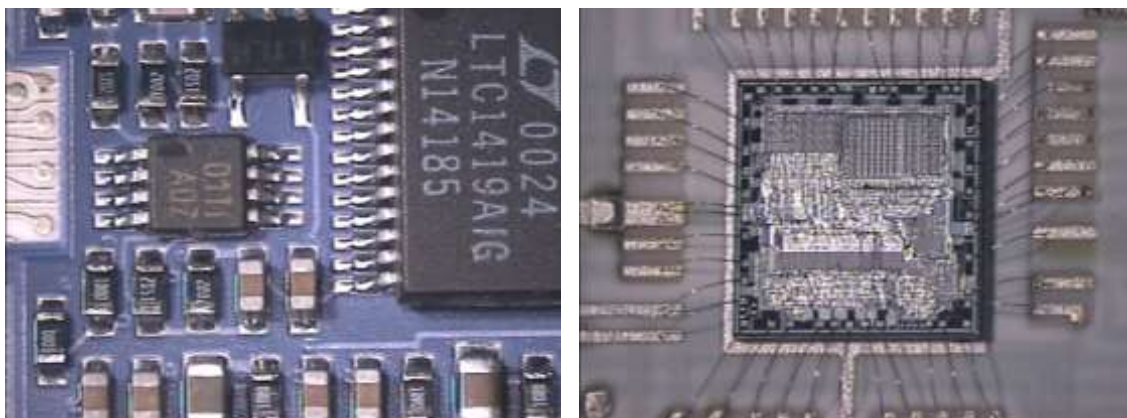


Abbildung 1: Dickschichthybridschaltkreis mit SMD- und Drahtbond-Verbindungen

Die Realisierung einer Schaltung als Dickschicht-Hybridschaltkreis stellt unter bestimmten Voraussetzungen eine Alternative zur Halbleiterintegration oder zur Leiterplattenbaugruppe dar. Kriterien für die Auswahl der zweckmäßigen Technologie sind u.a. Stückzahl, Kosten, Zuverlässigkeit, Platzbedarf, Leistungsumsatz, das Spektrum der notwendigen Schaltelemente sowie Entwicklungs- und Fertigungsaufwand. Die Kosten für einen Dickschicht-Hybridschaltkreis liegen im allgemeinen höher als die Realisierung der gleichen Schaltung mit Leiterplatte, so dass man die Hybridrealisierung nur dann wählt, wenn mit der Leiterplatte die Forderungen nicht erfüllt werden können.

Gegenüber der Baugruppenrealisierung mit Standard-Leiterplattentechnik und diskreten Bauelementen bietet die Dickschicht-Hybridtechnik folgende Vorteile:

- geringerer Platzbedarf,
- höhere Zuverlässigkeit unter harten Einsatzbedingungen,
- höhere thermische Belastbarkeit,
- bessere Anpassung an den Temperatursausdehnungskoeffizienten von Silizium und
- günstigeres Hochfrequenz- und Schaltverhalten.

Typische Einsatzgebiete der Dickschicht-Hybridtechnik sind deshalb:

- Automobilelektronik,
- Industrieelektronik (Leistungselektronik, Telemetrie),
- Medizintechnik (Herzschrittmacher, Hörgeräte) und
- kommerzielle Elektronik (Luft- und Raumfahrt, Nachrichtentechnik, Heizer).

Hybridschaltkreise sind auch in Dünnschichttechnologie realisierbar. Dünnschicht-Hybridschaltkreise weisen viele Gemeinsamkeiten mit Dickschicht-Hybridschaltkreisen auf (konstruktive Gestaltung, Montage aktiver und passiver Komponenten, Verkappung). Die elektrischen und technologischen Eigenschaften beider Substratarten sind jedoch sehr unterschiedlich:

- der Aufbau des Verbindungsnetzwerkes in mehreren Ebenen ist in der Dickschicht-Technologie die Regel, in der Dünnschichttechnologie die Ausnahme,
- die Dickschichtleitbahnen sind bei Verwendung entsprechender Pasten ohne Nachbehandlung löt- und bondbar, Diffusionssperren sind überflüssig,
- der Wertebereich der auf gleicher Fläche realisierbaren Widerstände ist in der Dickschicht-Technologie wesentlich breiter, ihre thermische Belastbarkeit (Leistungsumsatz) ist um ein Mehrfaches höher,
- Dickschichtschaltkreise sind bei der Fertigung und im Einsatz unempfindlicher gegenüber Umwelteinflüssen und
- Dünnschichtschaltkreise bieten Vorteile bezüglich der erreichbaren Strukturauflösung, der Stabilität der Widerstände und im Bereich hoher und höchster Frequenzen.

## 2 Prinzipieller Verfahrensablauf

Bei der Dickschicht-Hybridtechnik werden die einzelnen Schichten nacheinander im Siebdruckverfahren auf dem Substrat aufgebracht und separat in einem Brennofen gesintert. Die einzelnen Leitebenen werden dabei durch Dielektrizitätsschichten voneinander isoliert. Die Lagenzahl (**Anzahl der Leitebenen !**) ist meistens kleiner als 5.

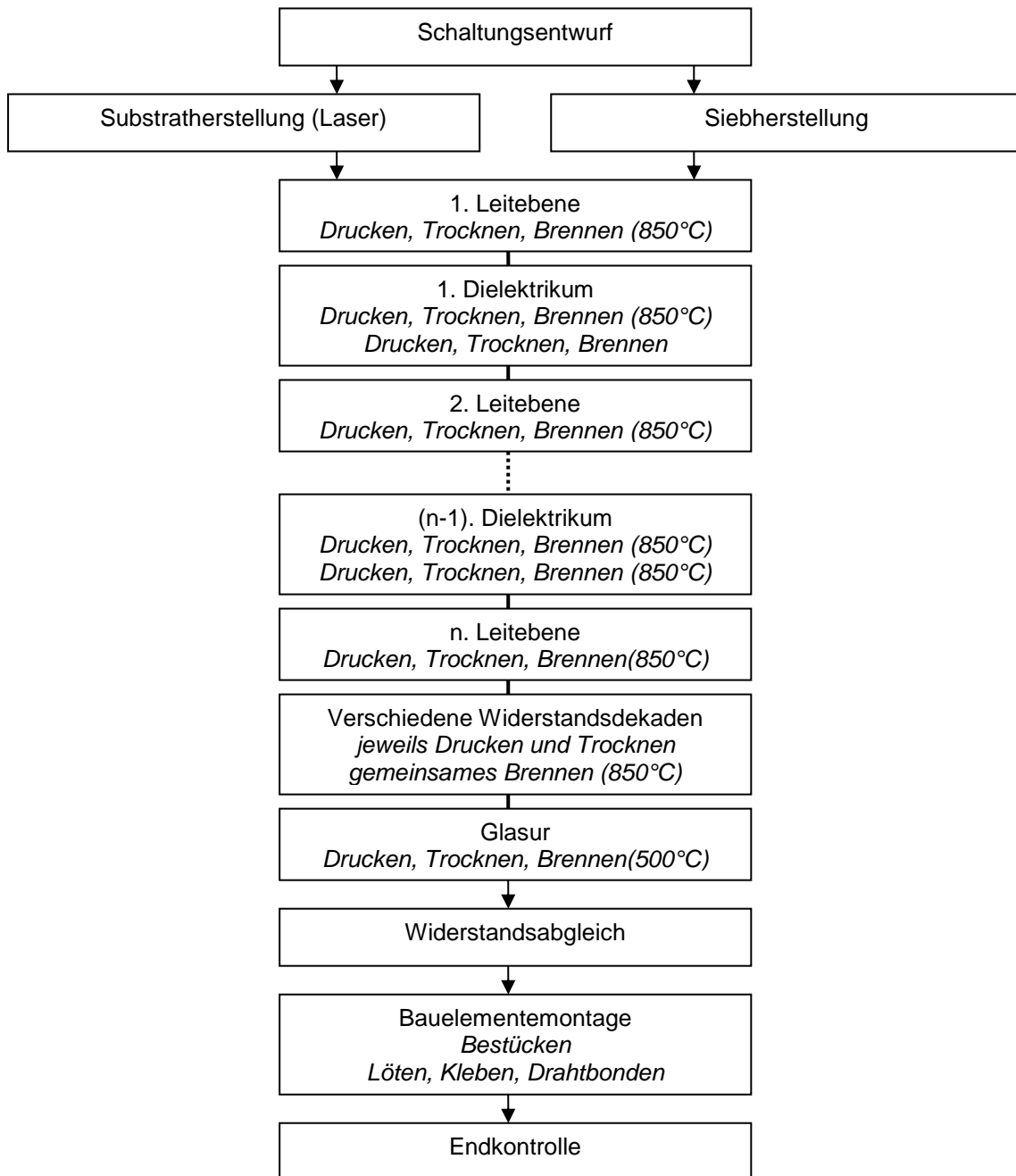


Abbildung 2: Prinzipieller Ablauf der Herstellung einer Dickschichtschaltung

### 3 Materialien

#### 3.1 Substrate

Das Substratmaterial muss einerseits mit den verwendeten Druckpasten kompatibel sein (z.B. Oberflächenrauheit) und andererseits den Anforderungen des Verarbeitungsprozesses entsprechen (z.B. Temperaturbeständigkeit). Diesen technologischen Anforderungen übergeordnet sind Anforderungen an die Funktion (z. B. Leitfähigkeit) sowie ökonomische Kriterien.

Wegen der hohen Brenntemperaturen (bis 1100 °C) werden vorwiegend Keramiksubstrate aus gesintertem **Aluminiumoxid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)** verwendet. Als Standardsubstrat hat sich 96-prozentiges Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mit einer Dicke von 0,63 mm bewährt.

Die Keramik kann mit dem Laser bearbeitet werden, um Via-Bohrungen und Konturen sowie Bruchkanten herzustellen. Die Eigenschaften weiterer Materialien sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Eigenschaft	96%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BeO	AlN	SiC	emailiertes Stahlsubstrat (ESS)
Maximale Einsatztemperatur [°C]	> 1500	> 1600	>1800	>1400	>1400	500...650
Wärmeausdehnung CTE [10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ]	7	7,1	8,5	3...4	4..5	ca. 10
Wärmeleitfähigkeit [W (mK) <sup>-1</sup> ]	20...24	30	230	150...170	40..160	60...80
Biegefestigkeit [N mm <sup>-1</sup> ]	300	350	170	300	170	-
Rauheit R <sub>s</sub> [µm]	0,5...1	0,2	<0,5	1...5	-	-
Spez. elektrischer Widerstand [Ωcm]	10 <sup>14</sup>	10 <sup>15</sup>	10 <sup>15</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup>
Dielektrizitätskonstante ε <sub>r</sub>	9,6	9,8...10	7	8,5	15..45	6...8
Relative Kosten	1	10	50	<40	-	0,5

*Tabelle 1: Substratmaterialien der Dickschichttechnik*

Höhere Verlustleistungen können auf Substraten aus Berylliumoxid (BeO) oder Aluminiumnitrid (AlN) umgesetzt werden. Dabei verdrängt zunehmend das AlN das stark giftige BeO aus seinen bisherigen Anwendungen.

Zunehmende Bedeutung gewinnt die Folien- oder Mehrlagentechnologie (Low Temperature Cofired Ceramic, LTCC). Hier dienen dünne Folien aus ungebrannter Keramikmasse als Träger der zu druckenden Strukturen. Diese Folien lassen sich leicht bearbeiten und so mit Vias und weiteren Durchbrüchen versehen. Sie werden nach dem Bedrucken und Trocknen zum Verbund gestapelt und dann unter Druck laminiert. In einem einzelnen Brennschritt wird dann der Verbund gesintert. Mit dieser Technologie lassen sich auch dreidimensionale Verdrahtungsträger mit Durchbrüchen, Hohlräumen oder Kanälen (z. B. für elektronisch wirkende Pumpen) herstellen.

Für spezielle Anwendungen können emailierte Stahlsubstrate eingesetzt werden. Diese Substrate sind praktisch unzerbrechlich, sichern gute Wärmeableitung und lassen sich vor dem Emailieren durch Biegen und Einbringen von Löchern an die konstruktiven Gegebenheiten anpassen. Insbesondere ermöglichen die mechanischen Eigenschaften dieser Substrate die Realisierung von Sensoren für Biegung, Kraft, Schwingungen usw. Selbstverständlich sind auf solchen Substraten nur spezielle Pasten anwendbar (**Thermischer Ausdehnungskoeffizient**).

### 3.2 Dickschichtpasten

**Dickschichtpasten** bestehen aus der Wirksubstanz, anorganischen Bindern (Metalloxide bzw. Glasfritte = feinkörniges Glaspulver), organischen Bindern, Lösungsmitteln und Hilfsstoffen. Die Lösungsmittel, die organischen Binder und die Hilfsstoffe bilden das Druckvehikel und bestimmen das Druckverhalten. Sie werden nach dem Trocknen und dem Einbrand beseitigt.

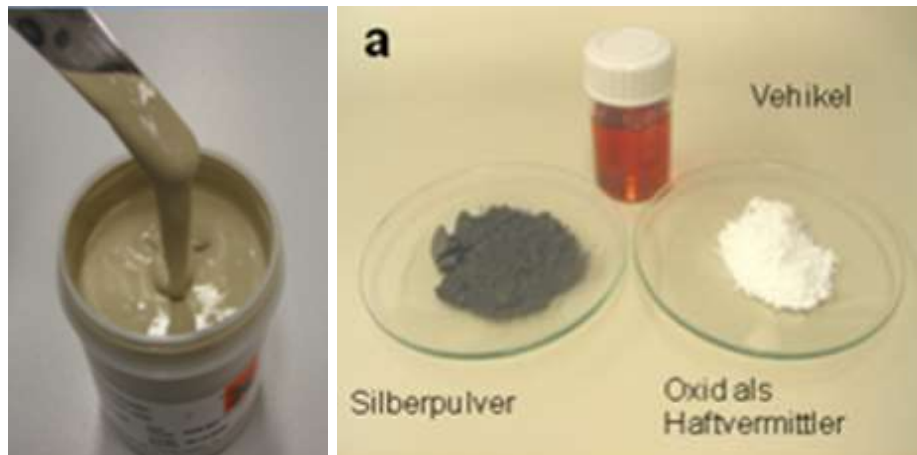
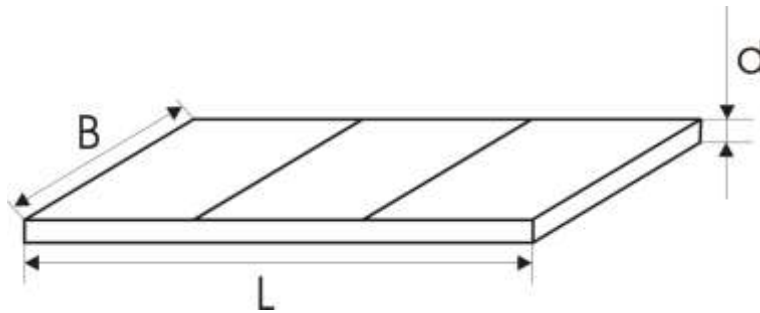


Abbildung 3: Komponenten einer Dickschichtpaste

Die anorganischen Binder dienen der Haftung der Wirkphasenpartikel untereinander und zum Substrat. Die Wirksubstanz bestimmt die elektrische Funktion der Paste. Es werden Leitpasten, Widerstandspasten und Isolationspasten unterschieden. Der Aufbau eines Dickschichtschaltkreises aus mehreren Pasten setzt voraus, dass diese untereinander verträglich (kompatibel) sind.

Der Aufbau eines Dickschichtschaltkreises aus mehreren Pasten setzt voraus, dass diese untereinander kompatibel (verträglich) sind. Die vom Pastenhersteller angebotenen Gruppen kompatibler Pasten werden als Pastensysteme bezeichnet. Sie sichern die Verarbeitung nach einheitlicher Technologie (z.B. gleiches Brennprofil), deren chemische Verträglichkeit untereinander und gewährleisten die Eigenschaften der einzelnen Pasten. Standardpastensysteme bestehen aus Leit-, Isolations- und Widerstandspasten. Daneben werden auch Pasten oder Pastensysteme für spezielle Anwendungen angeboten, z.B. Sensorpasten oder Pasten und Pastensysteme zur Verwendung auf Sondersubstraten (Stahl, Aluminium, Glas).

Die Leitfähigkeit der gebrannten Widerstands- und Leitpasten wird durch die Angabe des Flächenwiderstandes  $R_F$  charakterisiert. Er gibt den Widerstand zwischen den gegenüberliegenden Seiten eines Quadrates der betreffenden Schicht an. Dieser Definition liegt dabei eine definierte Schichtdicke zu Grunde.



$$R = \rho \cdot \frac{L}{d \cdot B} = \frac{\rho}{d} \cdot \frac{L}{B} = R_F \cdot \frac{L}{B}$$

Abbildung 4: Definition des Flächenwiderstands

Außer den elektrischen Eigenschaften der gebrannten Pasten und ihrer Kompatibilität muss das Fließverhalten (Rheologie) der zu druckenden Pasten den speziellen Anforderungen des Siebdrucks genügen. Die beim Druckvorgang durch die einzelnen Maschen gepressten Pastenquader müssen sich einerseits zur zusammenhängenden Struktur verbinden, andererseits soll diese Struktur nicht weiter auseinanderfließen. Diese kurzzeitig gute Fließfähigkeit wird durch Strukturviskosität und Thixotropie der Paste erreicht. Thixotropie ist die reversible Verminderung der Viskosität durch eine konstante Scherbeanspruchung. Die gezielte Beeinflussung dieses Fließverhaltens erfolgt durch die Auswahl der organischen Binde- und Lösungsmittel.

### Leitpasten

Zur Herstellung von Leitstrukturen werden vorwiegend Pasten mit **Edelmetallen** wie Gold oder Silber als Wirksubstanz verwendet. Durch Zusätze von Palladium oder Platin werden die technologischen und elektrischen Eigenschaften gezielt beeinflusst.

Wirkphase	Widerstand in mΩ/□	Adhäsion (initial) in kg/mm <sup>2</sup>	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 lötlbar
Cu	1 – 4	0,5 – 0,7	X	±	++	

X: lötlbar; Bonden: -- nicht bondbar ... ++ sehr gut bondbar; Preis: -- sehr teuer ... ++ sehr billig

Tabelle 2: Eigenschaften von Leitpasten

Eine Alternative stellen **edelmetallfreie** Kupferleitpasten dar. Zur Vermeidung von Oxidation beim Brennen müssen diese Pasten unter Inertgas (meist hochreiner Stickstoff) gebrannt werden. Der durch die Edelmetalleinsparung entstehende Vorteil wird jedoch durch den höheren Aufwand bei der Herstellung des Kupferpulvers und durch den erforderlichen Einsatz eines Inertgases weitgehend aufgehoben.

An die gebrannten Leitstrukturen werden folgende Forderungen gestellt:

- ausreichende Haftfestigkeit
- gute elektrische Leitfähigkeit [ $R_F = (1,5...50) \text{ m}\Omega/\text{Quadrat}$ ]
- Löt- und Bondbarkeit (soweit erforderlich)
- geringe Neigung zu Diffusion und Migration
- Korrosionsbeständigkeit

### Widerstandspasten

In Widerstandspasten der Edelmetallpastensysteme werden als Wirksubstanz vorwiegend Rutheniumoxid ( $\text{RuO}_2$ ) und Wismutruthenat ( $\text{Bi}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$ ) verwendet. Mit diesen Wirksubstanzen werden gute elektrische Eigenschaften erreicht (Temperaturkoeffizient, Langzeitstabilität, Rauschen) und ein Wertebereich des Flächenwiderstandes zwischen  $10 \Omega/\text{Quadrat}$  und  $10 \text{ M}\Omega/\text{Quadrat}$  überstrichen.

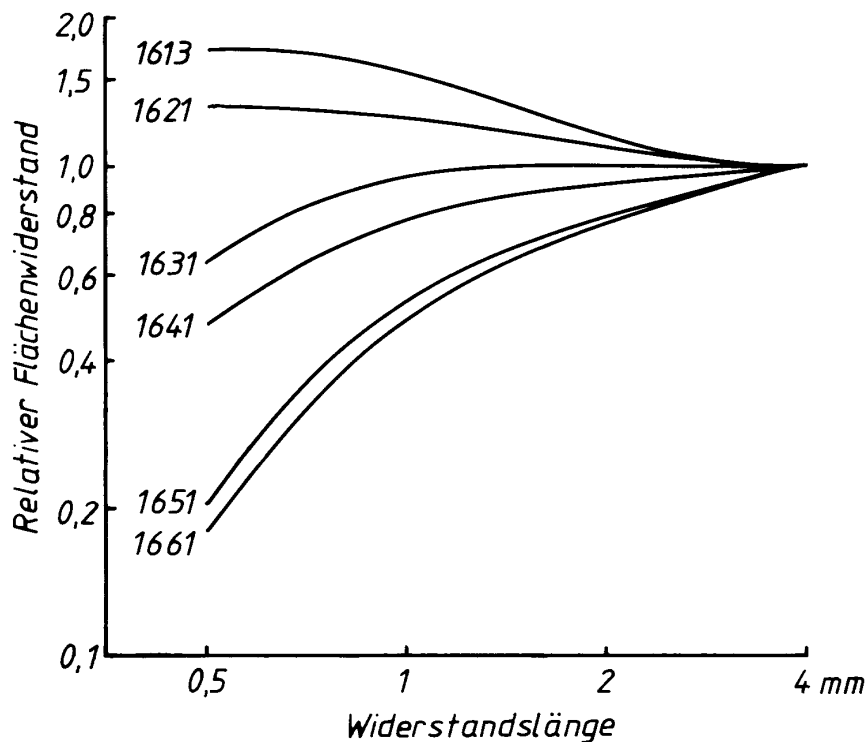
Die reproduzierbare Herstellung der Dickschichtwiderstände mit definierten Eigenschaften erfordert die Kenntnis aller Einflüsse und die exakte Einhaltung der vorgeschriebenen technologischen Verarbeitungsbedingungen. So hat insbesondere das Temperatur-Zeitprofil beim Einbrennen Einfluss auf die Kenngrößen der Widerstände. Die meisten Widerstandspasten dürfen nur einmal gebrannt werden. Beim Einsatz mehrerer Widerstandspasten mit unterschiedlichen Flächenwiderständen werden diese folglich nacheinander gedruckt und getrocknet und dann gemeinsam gesintert.

Beim Entwurf der Widerstandsgeometrie ist der Randeffect zu berücksichtigen. An der Kontaktstelle Leitbahn-Widerstand kommt es beim Brennen zu Reaktionen (Diffusion), die den Flächenwiderstand in diesem Randbereich und damit auch den Endwert des betreffenden Widerstandes beeinflussen. Die Auswirkung dieses Randeffectes ist abhängig von den verwendeten Pasten und der Länge des betreffenden Widerstandes.



## Randeffekt

Platin/Silber-Leitpaste 9770



Normiert auf eine Länge von 4mm. Alle Widerstände 1mm dick.  
Keine Korrektur für Schwankung der Schichtdicke.

Abbildung 5: Abhängigkeit des Flächenwiderstandes von der Länge des Widerstandes für die Leitpaste DP 9770 und das Widerstandspastensystem DP 1600

Die im technologischen Prozess unvermeidbare Streuung der Parameter verursachen Abweichungen der Widerstandswerte vom Entwurfswert (durch gewählte Geometrie und Paste bestimmt) bis zu 30%. Für die exakte Funktion elektronischer Schaltungen ist diese Toleranz oft zu groß. Die Widerstände müssen daher mittels Laser auf ihren Sollwert abgeglichen werden. Der Abgleich erhöht grundsätzlich den Widerstandswert. Daraus folgt, dass der Entwurfswert immer so weit unter dem Sollwert liegen muss, dass der Höchstwert des Widerstandes auch im ungünstigsten Fall die obere Toleranzgrenze des Sollwertes nicht überschreitet.

### Dielektrische und Isolationspasten

Wirksubstanzen dieser Pasten sind spezielle Glas- und Keramikfritten, die neben der jeweils gewünschten Dielektrizitätskonstanten einen möglichst hohen Isolationswiderstand aufweisen. Isolationspasten lassen sich in drei Gruppen einteilen:

- Isolationspasten mit niedriger Dielektrizitätskonstante für Mehrschichtaufbau
- Dielektrische Pasten mit hoher Dielektrizitätskonstante für die Herstellung gedruckter Kondensatoren
- niedrigsinternde Abdeckpasten zum Oberflächenschutz und als Lotstopp

**Isolationspasten mit niedriger Dielektrizitätskonstante** werden zur Realisierung von Leitungskreuzungen (Cross Over-Technologie) und zur Isolation mehrerer Leitebenen (Multilayer) verwendet. Damit die unerwünschte kapazitive Kopplung der isolierten Leitstrukturen möglichst gering bleibt, wird die Wirksubstanz auf minimale Dielektrizitätskonstante optimiert. (Praktische Werte 7...9). Isolationsschichten werden mindestens doppelt gedruckt. Durch den Mehrfachdruck werden eventuell vorhandene Poren (Pin holes) geschlossen und die Dichtigkeit der Schicht verbessert.

**Dielektrische Pasten** dienen zur Herstellung gedruckter Kondensatoren. Um den Flächenbedarf für solche Kondensatoren gering zu halten, ist hier eine höhere Dielektrizitätskonstante erwünscht. Systeme dielektrischer Pasten realisieren abgestufte Dielektrizitätskonstanten bis ca. 2000. Die Kapazität solcher gedruckter Kondensatoren streut jedoch sehr stark. Da keine zufriedenstellende Abgleichtechnologie bekannt ist, können mit derartig grob tolerierten Kapazitäten nur eingeschränkt Schaltungsaufgaben gelöst werden. Daher werden in Hybridschaltungen meist Chipkondensatoren verwendet.

**Abdeckpasten** wurden zum Schutz der gedruckten Widerstände vor Umgebungseinflüssen entwickelt und verbessern deren Langzeitstabilität und Zuverlässigkeit. Sie bestehen aus niedrigschmelzenden Gläsern und können deshalb schon bei Temperaturen um 500 °C eingebrannt werden. Bei diesen Temperaturen werden die schon gebrannten Widerstände nur wenig beeinflusst. Der Abgleich der Widerstände erfolgt durch die Abdeckung hindurch. Beim Druck von Abdeckpasten werden nur die Kontaktflächen freigehalten. Damit wirkt die Abdeckpaste als Lötstopp.

## **4 Der Siebdruck**

### **4.1 Verfahrensablauf**

Das Prinzip des Siebdrucks mit Emulsionssieb ist aus Abbildung 6 ersichtlich. Damit nach dem Druck der Schablonenträger vom Substrat abhebt, wird die Druckform mit Abstand über dem Substrat angeordnet. Der Abstand wird als **Absprung** bezeichnet. Er beträgt bei Emulsionssieben (0,3...2) mm, je nach Siebgewebe, Rahmengröße, Siebspannung und Fließverhalten der Paste. Nach Auslösen des Druckvorganges wird die Rakel abgesenkt und mit definierter (einstellbarer) Geschwindigkeit über den Schablonenträger bewegt. Sie drückt dabei die auf dem Schablonenträger befindliche Druckpaste durch die offenen Maschen des Siebgewebes auf das Substrat. Dabei wird das Siebgewebe gedehnt und die Rakel elastisch verformt. Nach Überstreichen der eingestellten Weglänge hebt die Rakel ab und wird in die Ausgangslage zurückgeführt. Der Schablonenträger hebt sich infolge seiner Vorspannung und des Absprungs aus der Paste und geht in seine Ruhelage zurück.

Variable Druckparameter sind Absprung, Rakelgeschwindigkeit und Rakelkraft. Optimale Druckergebnisse erfordern die Anpassung dieser Druckparameter an die jeweiligen Bedingungen. Wesentlichen Einfluss haben weiterhin Siebgröße, Gewebart, Gewebespannung, Rakelhärte sowie Viskosität und Thixotropie der verwendeten Paste (beide Größen sind temperaturabhängig).



Abbildung 6: Prinzipieller Aufbau eines Siebdruckers

Mit dem Siebdruck lassen sich minimale Strukturbreiten von weniger als 100 Mikrometer herstellen. Die gebrannte Schichtdicke liegt dabei typischerweise zwischen 5 und 15 Mikrometern.

#### 4.2 Druckform

Auf einem stabilen Metallrahmen ist ein Siebgewebe aus Edelstahl oder Kunststoff mit definierter Spannung aufgebracht (meist geklebt). Die erreichbaren Strukturgrößen werden maßgeblich durch die Gewebefeinheit des Siebgewebes bestimmt. Die sogenannte MESH-Zahl gibt dabei die Anzahl der Fäden pro Zoll an. Damit die gewünschte Struktur gedruckt werden kann, müssen die Maschen über den nicht zu bedruckenden Flächen abgedeckt oder verschlossen werden. In den meisten Fällen werden dazu Fotopolymere verwendet, die als Emulsion oder als Folie (Kapillarfilm) auf dem Siebgewebe aufgetragen werden. Durch Belichtung mit UV-Licht über eine Fotoschablone härten die belichteten Bereiche dieser aufgetragenen Schicht aus, die von der Fotoschablone abgeschatteten Bereiche lassen sich auswaschen.

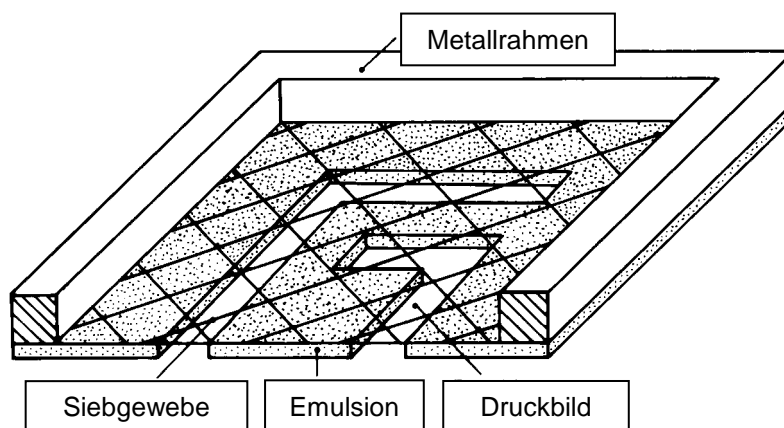


Abbildung 7: Emulsionssieb

## 5 Die thermischen Prozesse

Nach dem Druck der Dickschichtpaste lässt man die gedruckte Struktur für etwa 5..10 Minuten ruhen. Bei diesem Nivellieren verfließen die durch die Siebstruktur verursachten Schichtunregelmäßigkeiten. Anschließend wird die gedruckte Struktur bei 100..150°C für ca. 10 Minuten getrocknet. Dabei entweichen die Lösungsmittel. Die Paste ist nun wischfest, die elektrischen Eigenschaften sind jedoch noch nicht ausgebildet. Die getrocknete Schicht wird dann im Durchlaufofen entsprechend dem vorgeschriebenen Temperatur-Zeit-Profil gebrannt.

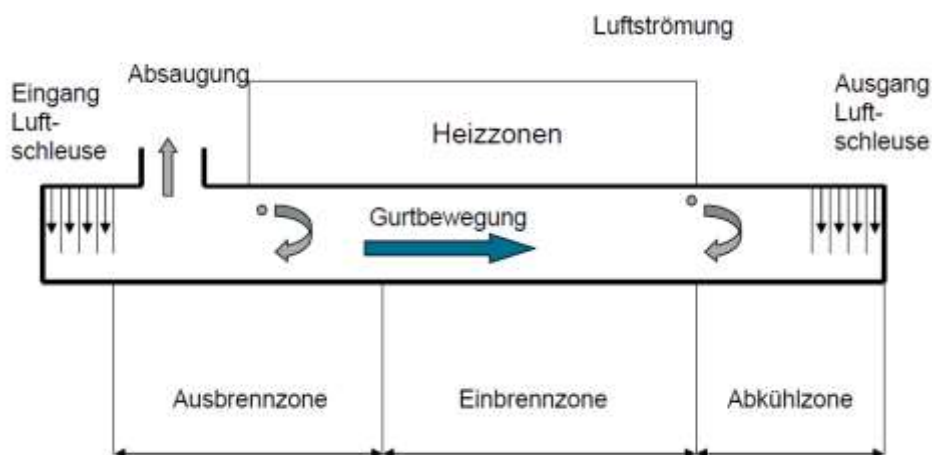


Abbildung 8: Schematischer Aufbau eines Dickschichtofens (Gurt- / Tunnelofen)

Edelmetallsysteme werden in Luft bei 850..1000°C gebrannt, Cu-Pastensystem unter Schutzgas (N<sub>2</sub>) bei annähernd gleichen Temperaturen. Die Durchlaufzeiten liegen bei 30 bis 70 Minuten. Das in den Pasten vorhandene Bindemittel verflüchtigt sich beim Ausbrand, beim Einbrand schmilzt die Glas- und Keramikfritte, verbindet sich mit dem Substrat und bildet ein Stützgerüst, in das die Partikel der Wirksubstanz eingelagert sind.

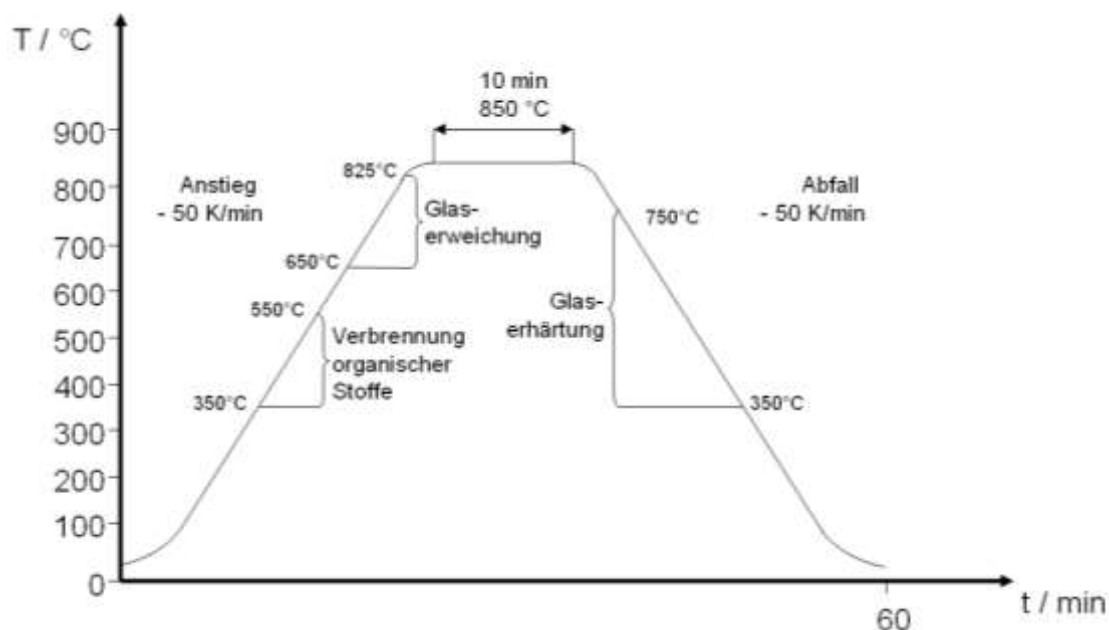


Abbildung 9: Typisches Brennprofil

## 6 Hybridisierung

Dick- oder Dünnschichtschaltkreise, auf denen Komponenten montiert sind, die mit anderen Technologien hergestellt wurden, werden als Hybridschaltkreise bezeichnet. Durch diese Kombination von Halbleitern, optoelektronischen Bauelementen und anderen Komponenten mit dem Dickschicht-Substrat sind kompakte elektronische Baugruppen mit hohem Integrationsgrad herstellbar. Die Halbleiter können gehaust oder als Nacktchip montiert werden. Nacktchips erlauben höhere Packungsdichte, stellen aber wesentlich strengere Forderungen an das technologische Niveau der Montage. Aus der Montagetechnologie leiten sich Vorgaben für den topologischen Entwurf ab (Mindestflächen für Montage und Kontaktierung, Pastenauswahl entsprechend der vorgesehenen Kontaktierung, gedruckter Lötstopp, Auftrennen von Maschen für den Widerstandsabgleich usw.).

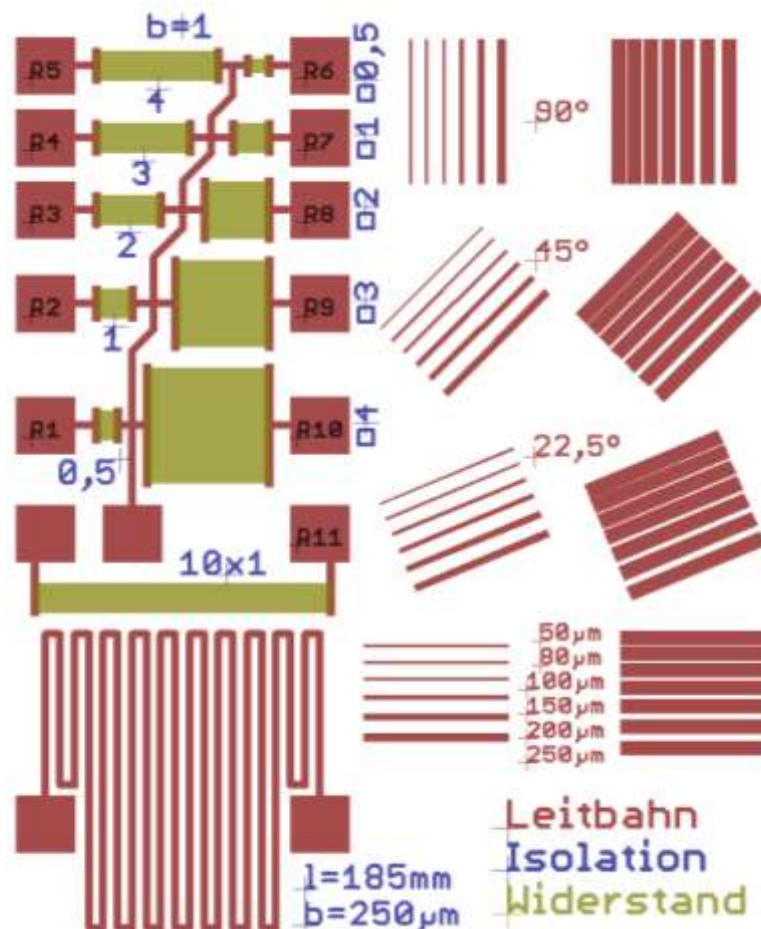
Nach dem Dickschicht-Prozess sind zur Herstellung eines Hybridschaltkreises folgende Arbeitsgänge notwendig:

- Prüfen der Substrate (optisch oder/und elektrisch)
- Laserabgleich der Widerstände
- Löten (SMD; Anschlüsse)
- Reinigen
- Montage der Nacktchips (Chipbonden)
- Drahtbonden
- Elektrische Prüfung, ggf. Reparatur
- Passivierung der Nacktchips (Mold, Verguss, Gehäuse)
- Endprüfung



## 2. Auswerten der Widerstände der Praktikumssubstrats TdE/AVT

- 2.1. Tragen Sie die gemessenen Werte der Widerstände R1 bis R11 sowie die zugehörigen Längen/Breiten-Verhältnisse in eine Tabelle ein.
- 2.2. Ermitteln Sie die Flächenwiderstände der Widerstände R1 bis R5, normieren Sie diese auf den Flächenwiderstand von R11 und stellen Sie das Ergebnis grafisch über der Widerstandslänge dar.
- 2.3. Welchen Flächenwiderstand hat die Widerstandspaste auf dem gemessenen Substrat, wenn Sie R11 als Bezugswiderstand wählen? Warum weichen die Widerstände R1 und R2 wesentlich vom normierten Flächenwiderstand ab?
- 2.4. Prüfen Sie, ob sich Ihre Aussagen auf die quadratischen Widerstände R6 bis R10 übertragen lassen.
- 2.5. Widerstände sind toleranzbehaftet. Wie groß sind typische Streuwerte und wie entstehen sie?
- 2.6. Berechnen Sie näherungsweise die Abmessungen eines Rechteck-Dickschichtwiderstandes, der mit der untersuchten Paste (technologischer Flächenwiderstand von R11) gedruckt werden soll, dessen Flächenbedarf minimal ist, ohne dass seine Abmessungen 1 mm unterschreiten, dessen Nennwert nach dem Laserabgleich 37 k $\Omega$  betragen soll, wenn die technologisch bedingten Abweichungen vom Entwurfswert maximal 25% betragen.
- 2.7. Bestimmen Sie den Flächenwiderstand der verwendeten Leitpaste! Benutzen Sie dazu den Leitbahnmäander (Länge: 185 mm, Breite: 0,25 mm)!



### 3. Untersuchungen am Testschaltkreis

- 3.1. Machen Sie sich mit der Schaltung des Schaltkreises vertraut
- 3.2. Welche Druck- und Brennschritte sind in welcher Reihenfolge durchzuführen?
- 3.3. Was geschieht, wenn R1/R2 bzw. R11/R12 zu groß oder zu klein sind?
- 3.4. Welche weiteren Arbeitsgänge sind zur Hybridisierung notwendig?

