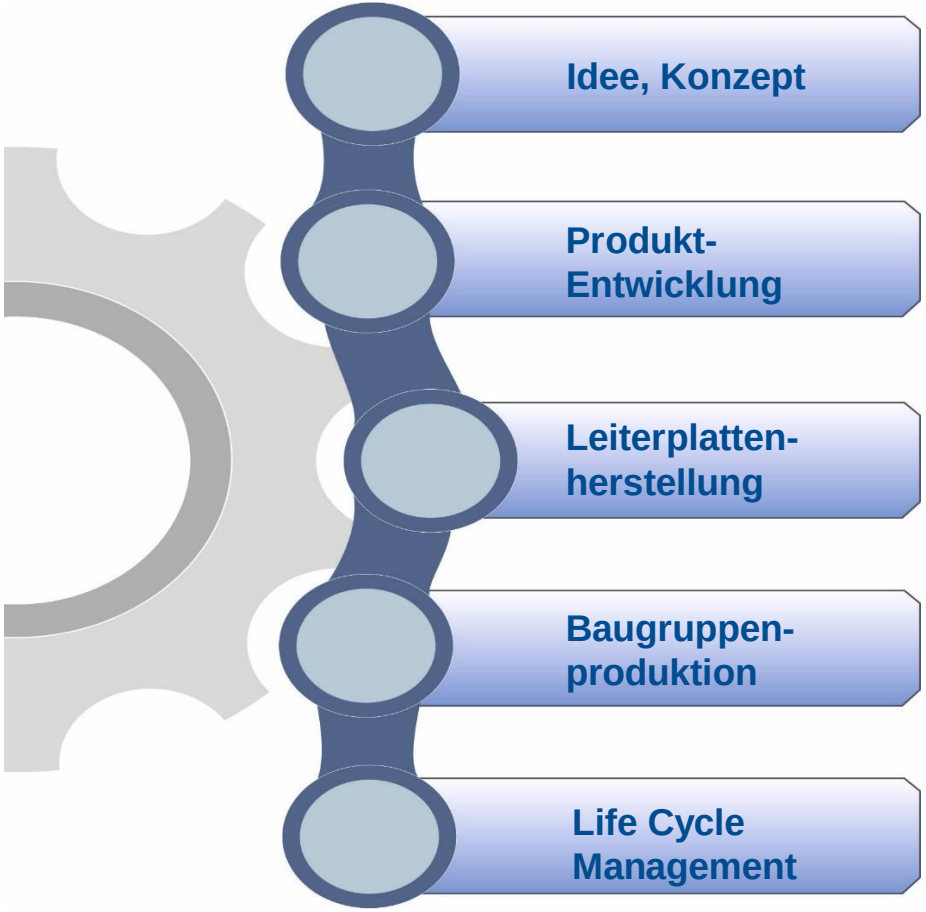
Design Chain



Konstruktive Anforderungen an die zuverlässige Produktion elektronischer Baugruppen

Carmina Läntzsch,
LaserJob GmbH

Arnold Wiemers,
ILFA GmbH, LeiterplattenAkademie GmbH

Markus Biener,
Zollner Elektronik AG

12.11.2015, productronica 2015 München

A B S T R A C T

Die langfristige Funktion einer elektronischen Baugruppe ist ausschlaggebend für die Wertigkeit eines Gerätes oder einer Anlage.
Hohe Anforderungen an Gewicht, Raumbedarf und Leistungsfähigkeit führen unverändert zu integrierteren Bauteilen, reduzierteren Lötflächen und kompakterer Anschlussdichte.
Die Zuverlässigkeit der kommenden Baugruppengeneration wird durch die Lötverbindung zwischen Bauteil und Leiterplatte bestimmt.
Damit rücken die Ausführung der Lotpastenschablone, der Lotpastendruck und die Geometrien der Lötflächen auf der Leiterplatte in den Focus des Qualitätsmanagements.
Der Vortrag des AK Design Chain informiert Sie über die Leistungsfähigkeit moderner Schablonen- und Baugruppenfertigung, die Anforderungen an die Leiterplattentechnologie und die Voraussetzungen, die in der Bibliothek des CAD-Systems erfüllt sein müssen.

A G E N D A

Carmina Läntzsch LaserJob GmbH

- **Die Lotpastenschablone als Garant für eine zuverlässige Baugruppenproduktion**
- **Vom CAD-Layout zur Baugruppe - Von der Baugruppe zum CAD-Layout**
- **Die Arbeit des AK Design Chain im ZVEI**
- **Zusammenfassung**

Anforderungen an das Design von Metallschablonen (…für die SMD-Technologie).

- Treibende Kraft ist die stetige Miniaturisierung.

- Besonders wichtig in diesem Zusammenhang ist der Schablonendruckprozess, da diesem Prozessschritt eine zentrale Bedeutung im Bereich der Oberflächenmontagetechnik zukommt.

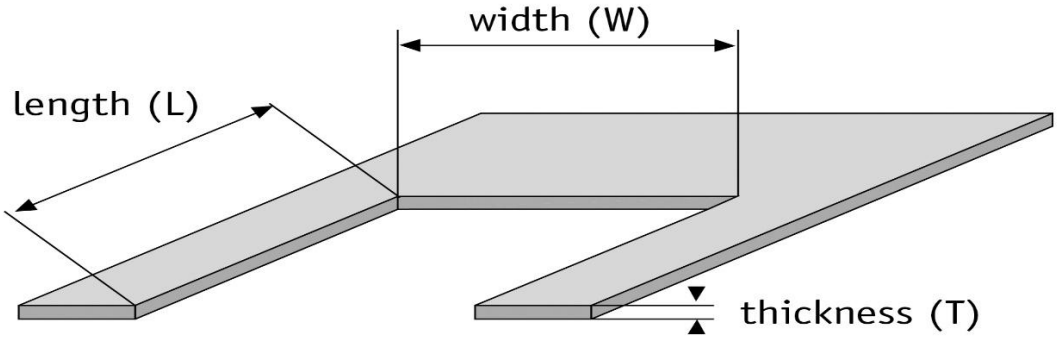
- Die Fehlerrate liegt zwischen 50-70% und weist in der gesamten Fertigungskette somit die höchste Fehlerrate auf.

Unter diesem Blickwinkel sollen die Anforderungen an das Design von Metallschablonen näher betrachtet werden.

Einflussgrößen auf den Schablonendruckprozess

- Layoutrichtlinien und Designempfehlungen nach IPC 7525B
- Einfluss der Lotpulverkörnung auf die Schablonenöffnung
- Eckenradien bei quadrat. Öffnungen – wenn ja, welcher?
- Große Aperturen – wenn ja, wann und welche Unterteilung?
- Spezialformen – wenn ja welche, wie?

Designempfehlung nach IPC 7525B



Aspect ratio: □ 1.5

$$\text{Aspect ratio} = \frac{\text{width of aperture}}{\text{stencil thickness}} = \frac{W}{T}$$

Area ratio: □ 0,66

$$\text{Area ratio} = \frac{\text{area of aperture}}{\text{area of aperture walls}} = \frac{L \times W}{2 \times (L+W) \times T}$$

Area ratio Kreis: > 0,66

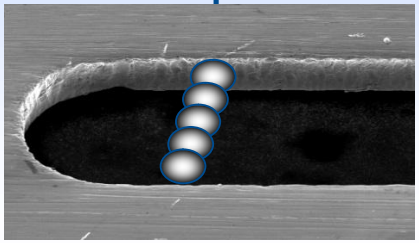
$$\text{Area ratio} = \frac{\pi r^2}{2 \pi r T}$$

Bildquelle: Laserjob GmbH

Einfluss der Lotkörnung

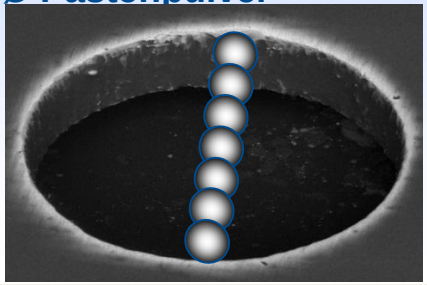
5-Kugel-Regel

$$\frac{\text{Aperturbreite}}{\text{Ø Pastenpulver}} \geq 5$$



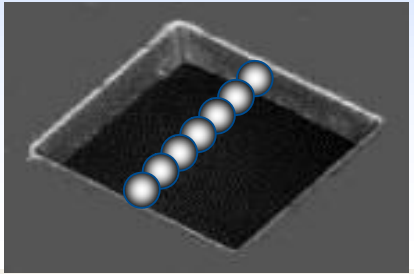
7 Kugel-Regel

$$\frac{\text{Aperturdurchmesser}}{\text{Ø Pastenpulver}} \geq 7$$



7 Kugel-Regel

$$\frac{\text{Aperturdurchmesser}}{\text{Ø Pastenpulver}} \geq 7$$



- 5-6 Lotkugeln nebeneinander in die kleinste Aperturbreite bei Rechtecken
- 7 Lotkugeln bei runden oder quadratischen Aperturen

Es wird immer mit dem mittleren Kugeldurchmesser des Lotpulvers gerechnet

Bildquelle: Laserjob GmbH

Lotpulvertypen und Partikeldurchmesser

Pulvertyp	Partikeldurchmesser µm				
	<3%	<10%	>85%	<10%	Alles kleiner
1	50	50…75	75…150	150…200	200
2	32	32…45	45…75	75…100	100
3	15	15…20	20…45	45…60	60
4	15	15…20	20…38	38…50	50
5	10	10…15	15…25	25…30	30
6	5		5…15	15	20
7	2		2…10	11	15
8	2		2…8	8	10
9			1…5		8

Zur Berechnung des Aperturendurchmessers

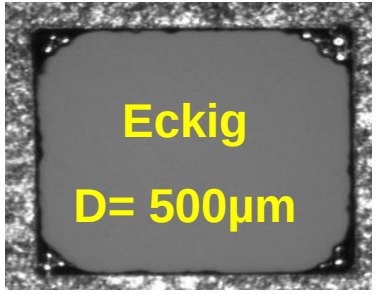
Zur Berechnung der Eckenradien

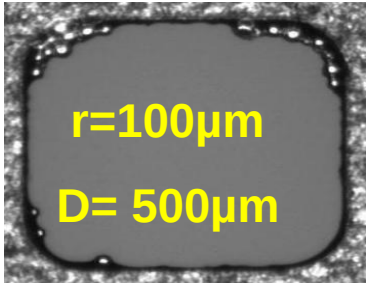
Bildquelle: Laserjob GmbH

Einfluss der Eckenradien bei quadrat. Öffnungen

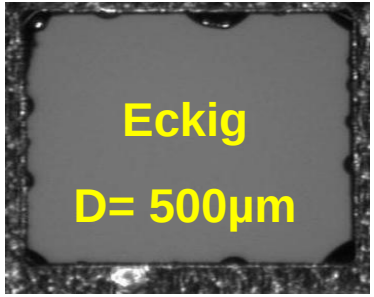
- **Empfehlung IPC 7525A**
  - Bei 250µm Kantenlänge – Richtwert: 60µm Radius
  - Bei 350µm Kantenlänge – Richtwert: 90µm Radius
- **Faustregel:** **Hauptanwendung aus praktischen Erfahrungen : 80-100µm Radien**
- **Warum?** **Reduzierung der Adhäsionskräfte in den Ecken**

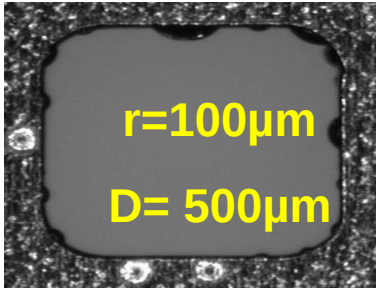
unbeschichtet





NanoWork®-Beschichtung





Bildquelle: Laserjob GmbH

Einfluss der Eckenradien bei quadrat. Öffnungen

- **Orientierung nach der Lotpulverkörnung, ausgehend vom größten Partikeldurchmesser**

  Typ 2: 100µm Radius

  Typ 3: 60µm Radius

  Typ 4: 50µm Radius

Bildquelle: Laserjob GmbH

Schablonenöffnung versus Anschlussflächenmaße

- **Empfehlung IPC 7525B**
  - **Bei SnPb-Lotpasten wird Reduzierung empfohlen**
  - **Bei bleifrei Pasten: Schablonenöffnung = Anschlussfläche**
  - **Wenn Reduzierung dann max. 0,0127mm umlaufend, ausgenommen Masseflächen QFN**

- **Warum? ….um Toleranzen im Prozess auszugleichen**
  - **Druckertoleranzen abzufangen**
  - **Leiterplattentoleranzen abzufangen**
  - **Nachlassende Siebspannung bzw. Auswalgen des Edelstahlbleches**
  - **abzufangen**
  - **Um passgenaue Abdichtung der Schablone zur Leiterplatte garantieren zu können**

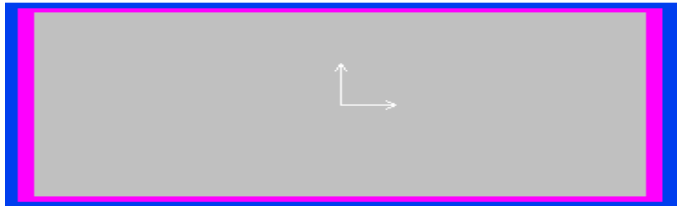
Schablonenöffnung versus Anschlussflächenmaße

Übliche Reduzierungen

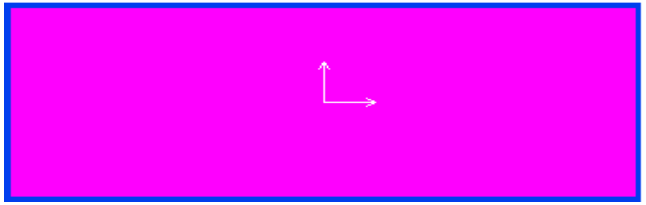
1. Länge und Breite: -10%
2. Flächig: -10%
3. Umlaufend mit Festwert:

Schablonenöffnung versus Anschlussflächenmaße

Am Beispiel einer Padfläche von 5,0 x 2,0mm



- Padfläche 5,0 x 2,0mm
- 10% flächig reduziert = 4,743 x 1,897mm
- 10% in Länge und Breite = 4,5 x 1,8mm



- Padfläche 5,0 x 2,0mm
- 50µm umlaufend reduzieren = 4,9 x 1,9mm

Bildquelle: Laserjob GmbH

Unterteilung von großen Schablonenöffnungen

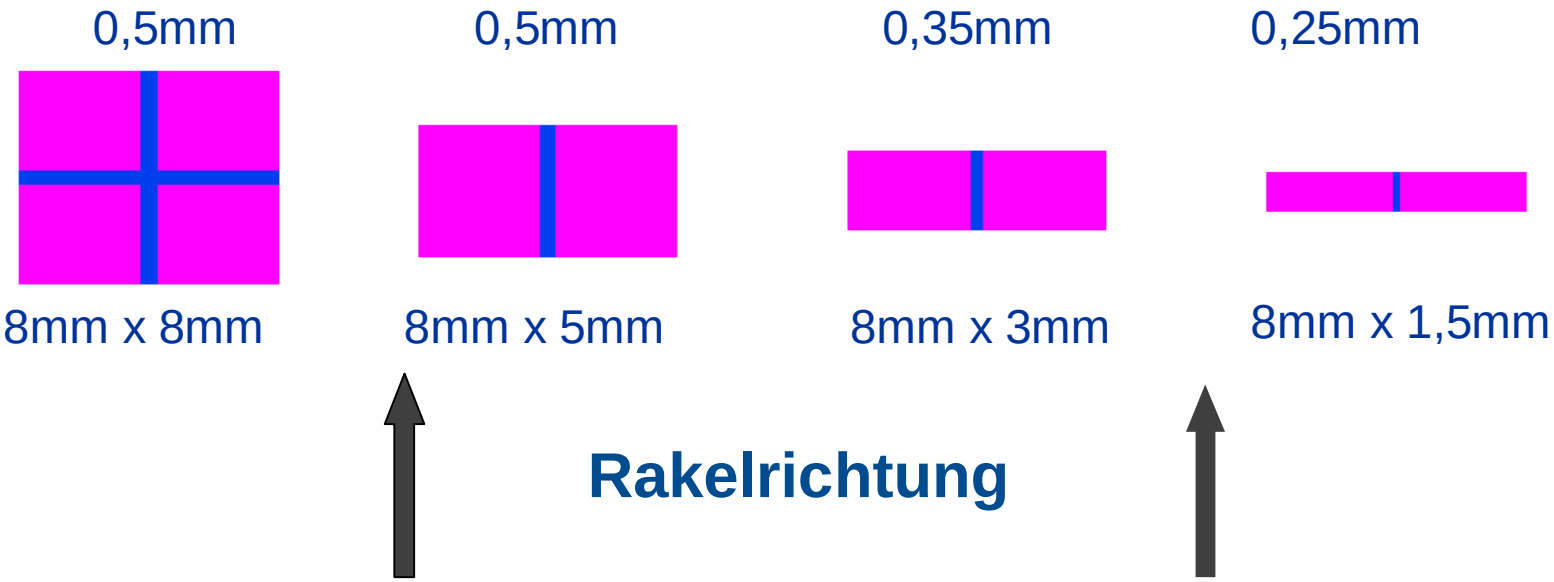
- **Warum?**
  - Um das Ausschöpfung der Lotpaste durchs Rakel zu verhindern
  - Um das Aufschwimmen der Bauelemente zu verhindern
  - Um entstehende Gase aus der Lotpaste abführen zu können

- **Faustregel**
  - Ab 5mm Kantenlänge in x- oder y-Richtung – Steg einbauen
  - Stege immer in Rakelrichtung ausrichten

- **LJ-Faustregel**
  - Bei einer Steglänge > 3,5mm beträgt die Stegbreite 500µm
  - Bei einer Stegbreite > 2,0mm beträgt die Stegbreite 350µm
  - Bei einer Stegbreite < 2,0mm beträgt die Stegbreite 250µm

Unterteilung von großen Schablonenöffnungen

Stegbreiten



Bildquelle: Laserjob GmbH

Designempfehlung für Chip-Bauelemente IPC 7525B

- Konvexe Innenseiten (Home–Plate-Design)
- Konkave Innenseiten (Bow-Tie-Design)
- Abgerundete konvexe Innenseiten (Oblong-Design)

Warum….

1. Um Lotkugelbildung unter dem Chipbauelement zu verhindern – durch Reduzierung der Lotpastenmenge
2. Um Tombstone Effekt zu verhindern -

Bildquelle: Laserjob GmbH

grundsätzlichen Designempfehlungen

Welche grundsätzlichen Designempfehlungen gibt es für ein BGA Bauelement mit 0,5mm pitch-Abstand

- Aus Sicht der Bauteilhersteller?
- Aus Sicht der Norm IPC 7525B
- Gibt es eine einheitliche Empfehlung?
- Was wird in der Praxis tatsächlich angewendet

grundsätzlichen Designempfehlungen

- **Designempfehlung für BGA´s und µBGA´s IPC 7525B**

	Pitch mm	Padfläche mm	Schablonenöffnung mm	Schablonenstärke mm	Pastentyp
BGA	1,25	0,550	Kreis Ø 0,520	0,150 – 0,200	3
Finepitch	1,00	0,450	Quadrat 0,420	0,115-0,135	3
µBGA	0,5	0,250	Quadrat 0,280	0,75-0,125	3
µBGA	0,4	0,200	Quadrat 0,230	0,75-0,100	4

Empfehlung

- **für Padflächen > Ø 0,5mm, Padfläche = Schablonenöffnung oder 20-50µm Reduzierung**
- **für Padflächen ≤ Ø 0,5mm, Padfläche = Schablonenöffnung oder quadratisch mit abgerundeten Ecken**

Bildquelle: Laserjob GmbH

Zitat:…“everyone involved in the design, fabrication and assembly of complex, fine-pitch PCBs must work together as a team to achieve low-cost and reliable products.“

Successful PCB Design Requires Teamwork

…“A good relationship with the other members of your team assures that your company does not have to be the expert in all of these areas. Calling on the expertise of the rest of your team asssures the best possibility of a manufacturable design.“

Designempfehlungen für BGA 0,5mm pitch

µm	Bauteilhersteller 1 (µm)	Bauteilhersteller 2 (µm)	IPC 7525B
Cu-Anschlußfläche	280	254	250
Schablonenöffnung	300	406 overprint 76µm 355 overprint 50µm 300 overprint 25µm	280 x 280
Schablonenstärke	100-120	**100**-125-127	75-125
Öffnungsgeometrie	-	Rund *	quadratisch
Paste	Typ 4	-	Typ 3
Lotkugeln	7-8	>7	>7
FLV	~ 0,75 (100µm) ~ 0,63 (120µm)	>1,0 (406) >0,88 (355) >0,75 (300)	~ 1.0 (70µm) ~ 0,538 (130µm)

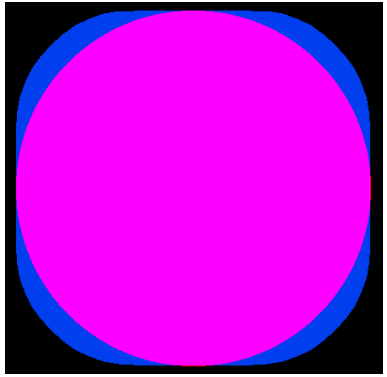
* A round aperture shape is recommended for BGA pads. This allows for an equal amount of overprinting an a round pad. Square corners can result in unequal amounts of paste being deposited ans should be avoided.

Bildquelle: Laserjob GmbH

Praktische Beispielslösung für µBGA

Vorgabe:

- Pitch: 0,5mm
- Cu-anschluß: 300µm
- Pasten Typ 3



- Schablone
- Cu-Anschluss

Lösungsvorschlag

- Schablonendicke: 100µm
- Schablonenöffnung: 300 x 300µm
- Öffnungsgeometrie: quadratisch, Radius 80µm
- FLV: 0,75
- Körnerregel: 6-7Kugeln

Bildquelle: Laserjob GmbH

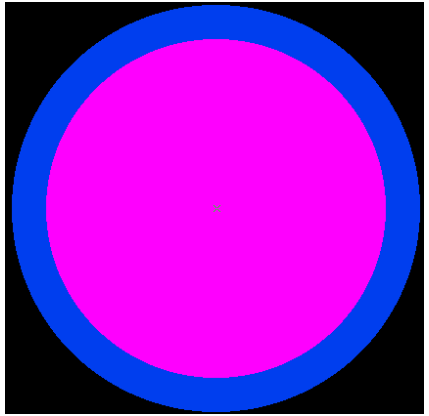
Praktische Beispielslösung für µBGA

Vorgabe:

- Pitch: 0,5mm
- Cu-anschluß: 254µm
- Pasten Typ 3

Lösungsvorschlag

- Schablonendicke: 100µm
- Schablonenöffnung: 300µm
- Öffnungsgeometrie: rund
- FLV: 0,75
- Körnerregel: 6-7Kugeln



- Schablone
- Cu-Anschluss

Bildquelle: Laserjob GmbH

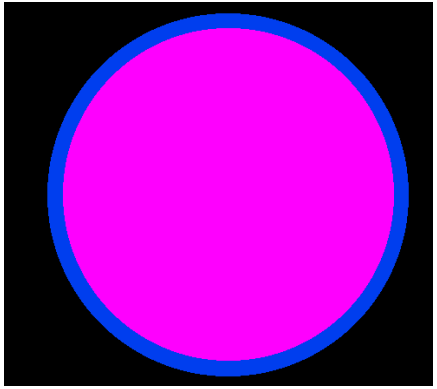
Praktische Beispielslösung für µBGA

Vorgabe:

- Pitch: 0,5mm
- Cu-anschluß: 275µm
- Pasten Typ 3

Lösungsvorschlag

- Schablonendicke: 100µm
- Schablonenöffnung: 300µm
- Öffnungsgeometrie: rund
- FLV: 0,75
- Körnerregel: 6-7Kugeln



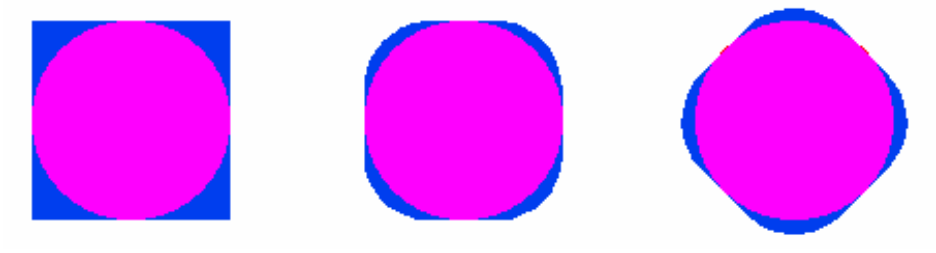
- Schablone
- Cu-Anschluss

Bildquelle: Laserjob GmbH

Praktische Beispielslösung für µBGA

Vorgabe:

- Pitch: 0,5mm
- Cu-anschluß: 300µm
- Pasten Typ 3



- Schablone
- Cu-Anschluss

Lösungsvorschlag

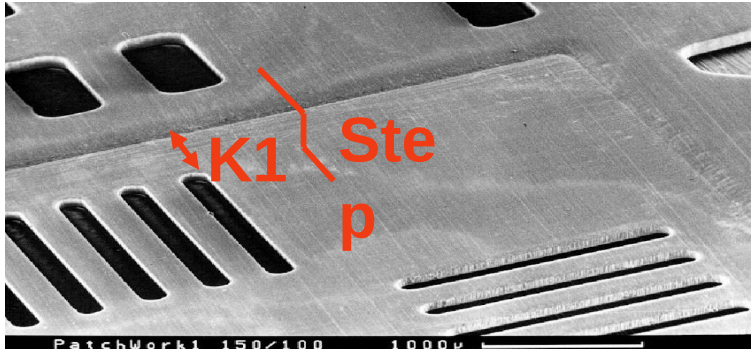
- Schablonendicke: 130µm
- Schablonenöffnung: 300µm
- Öffnungsgeometrie: quadratisch, r=100µm, diagonal
- FLV: 0,57
- Körnerregel: 6-7Kugeln
- Nanobeschichtung

Bildquelle: Laserjob GmbH

PatchWork®Schablone

K1 is the distance from the step edge to the nearest aperture in the step-down area.

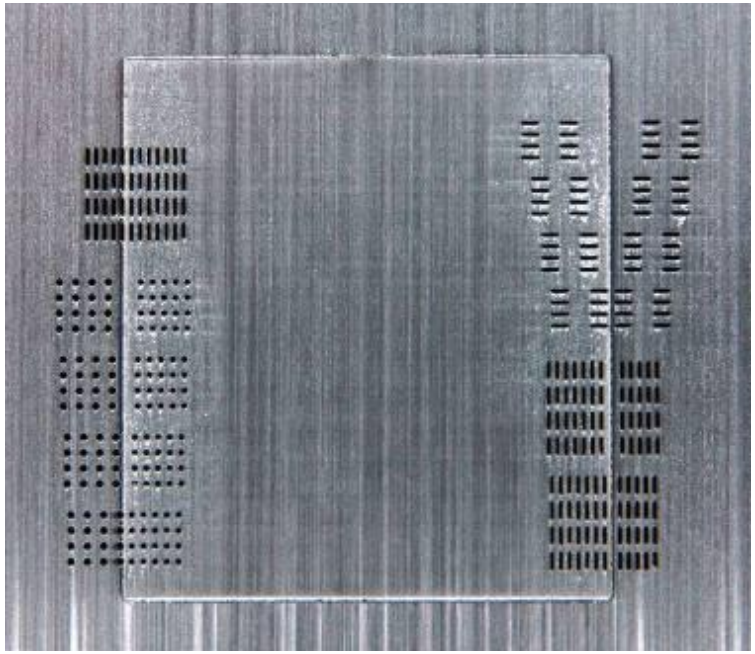
As a general design guide K1 should be 0,9mm [35,4mil] for every 0,025mm [0,98mil] of step- down thickness.



Step in mm	K1 is distance form the step edge to the nearest aperture in step –down area
0,010 [0,397mil]	0,36mm [14,1mil]
0,020 [0,787mil]	0,72mm [28,3mil]
0,025 [0,984mil]	0,90mm [35,4mil]
0,030 [1,181mil]	1,08mm [42,5mil]
0,050 [1,969mil]	1,80mm [70,9mil]
0,080 [3,14 mil]	2,88mm [113,4mil]
0,100 [3,937mil]	3,60mm [141,7mil]

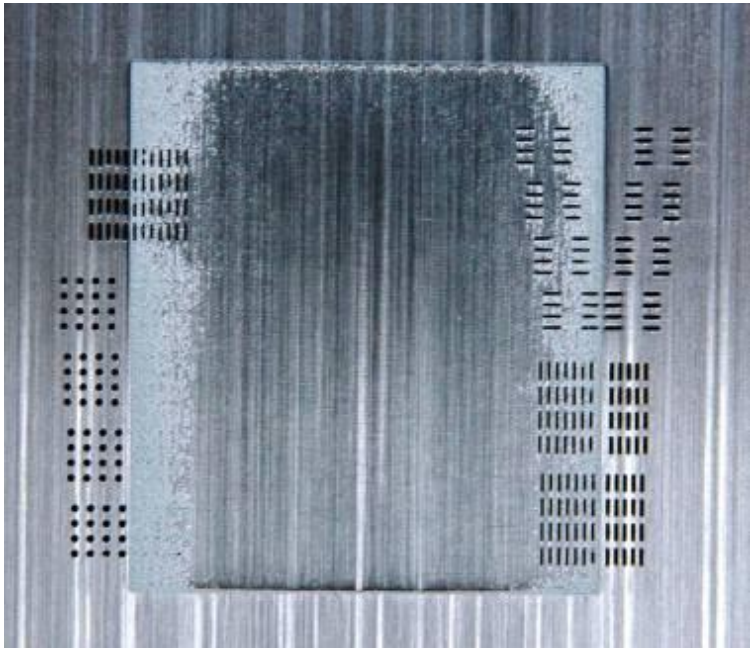
Bildquelle: Laserjob GmbH

PatchWork®Schablone



Stufenschablone 30 µm

Rakelrichtung



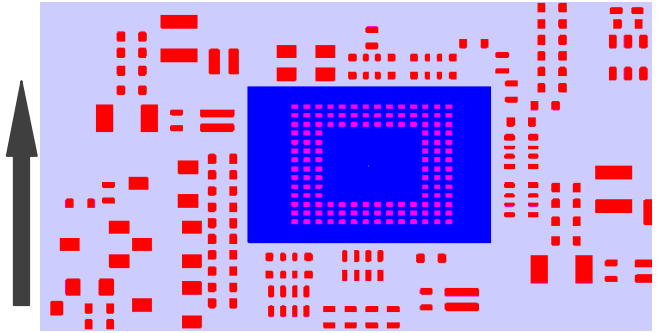
Stufenschablone 80 µm

Bildquelle: Laserjob GmbH

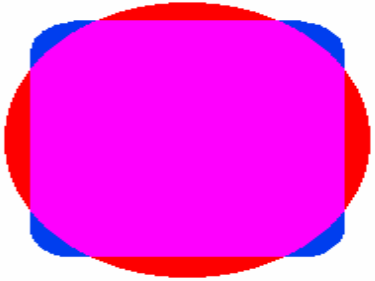
Lösungsvorschlag für µBGA

pitch 0,5mm: PatchWork®Schablone

- Schablonendicke: t=120µm, mit Patchhöhe: t= 80µm
- Kupferanschlussfläche: Ø325µm
- Schablonenöffnung: 280 x 280 µm;
- Geometrie: quadratisch, r=40µm
- Flächenverhältnis: = 0,875



- Schablone
- Cu-Anschluss



Abstand Apertur zur Patchkante:
soll: 1,03mm; ist: 1,66mm

Bildquelle: Laserjob GmbH

Zusammenfassung

…erfolgreiches Design erfordert Kommunikation zwischen allen Beteiligten

entlang der DesignChain, mit einheitlichen Empfehlungen.

A G E N D A

- Die Lotpastenschablone als Garant für eine zuverlässige Baugruppenproduktion

  Arnold Wiemers ILFA GmbH, LeiterplattenAkademie GmbH
- **Vom CAD-Layout zur Baugruppe - Von der Baugruppe zum CAD-Layout**

- Die Arbeit des AK Design Chain im ZVEI

- Zusammenfassung

Arnold Wiemers / Ilfa GmbH

Regel (CAD-Layouts versus Leiterplatten + Baugruppen)
Die Konstruktion der CAD-Layouts bestimmt die Anforderungen an die Produktion der Leiterplatten und elektronischen Baugruppen.

Regel (Leiterplatten + Baugruppen versus CAD-Layouts)
Die Produktion von Leiterplatten und elektronischen Baugruppen bestimmt die Regeln für die Konstruktion der CAD-Layouts.

Erläuterung (CAD-Layouts, Leiterplatten, Baugruppen)
Die Anforderungen an die Konstruktion und eines CAD-Layoutes sowie an die Produktion einer Leiterplatte und einer Baugruppe widersprechen sich. Tatsächlich sind die oben formulierten Regeln einfach nur falsch.

Regel (CAD-Layouts, Leiterplatten, Baugruppen)
CAD, Leiterplatte und Baugruppe bedingen sich gegenseitig und bieten Anforderungen und Lösungen gleichermaßen.

Geometrien für THT, SMT, Padstack und Leiterbahn

Damit Regeln für die Konstruktion von CAD-Layouts formuliert werden können, müssen die möglichen Anforderungen an die Geometrie elektronischer Baugruppenvarianten bekannt sein.

Bestimmend sind die in der CAD-Bibliothek definierten Bauteile, die als "geometrische Makros" angesehen werden können. Jedes Makro ist originär aus den sogenannten "Padstacks" zusammengesetzt.

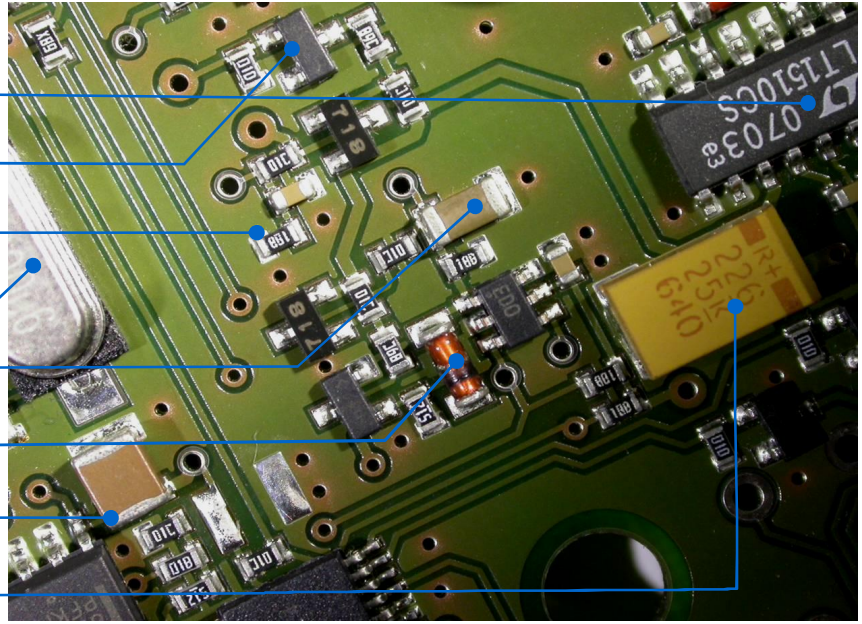
Weil die Pads im Layout mit Leiterbahnen verbunden werden, gehören auch deren Geometrien analysiert.

Arnold Wiemers / Ilfa GmbH

Elektronische Bauteile mit unterschiedlichster Funktion sind als SMD verfügbar und müssen auf Leiterplatten verarbeitet werden können.
Die Vielfalt der Bauformen führt zu einer Vielfalt an Lötflächengeometrien.

SMD-Bauformen

IC	so16
Transistor	sot23
Widerstand	0402
Quarz	hc49
Kondensator	0805
Diode	minimelf
Kondensator	1210
Kondensator	Typ C

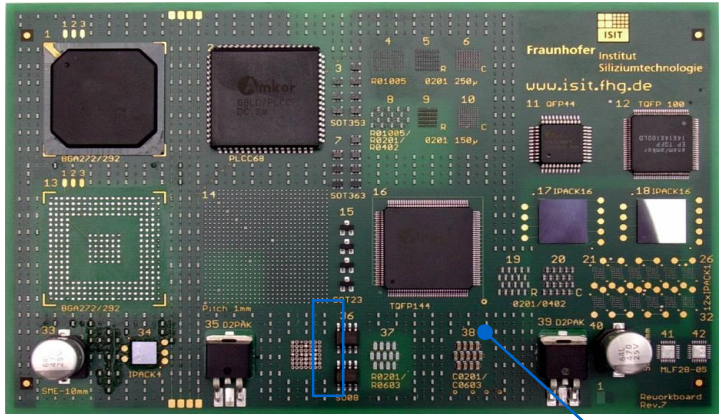


Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

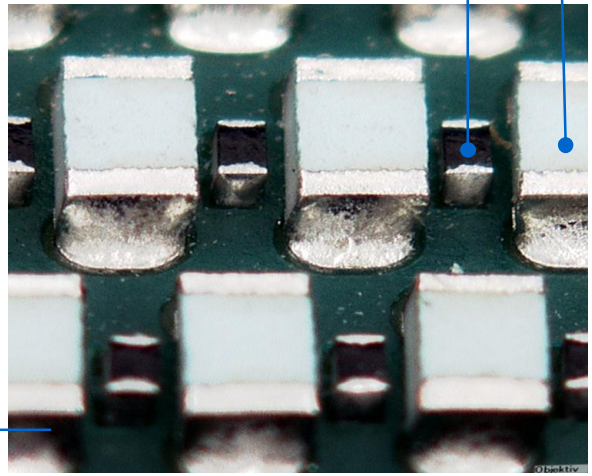
Arnold Wiemers / Ilfa GmbH

Um Platz, Bauhöhe und Gewicht zu sparen, sind die Grundflächen der Komponenten hier : C, R, D) kontinuierlich reduziert worden.

Faktor		**Beispiel**	Bauform	Abmaße	Grundfläche
06 • 03	= 9-fach		0603	1524 • 762µm	1161288µm^2
02 • 01			0201	508 • 254µm	129032µm^2



Fraunhofer / ISIT : Reworkboard



Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

Arnold Wiemers / Ilfa GmbH

Regel (Layout, Leiterplatte, Baugruppe)

Die Disziplinen CAD-Layouterstellung, Leiterplattenfertigung und Baugruppenproduktion bedingen sich gleichwertig gegenseitig.

CAD	Das CAD-Layout liefert die Fertigungsdokumente für die Produktion der Leiterplatte und der Baugruppe.
Leiterplatte	Die Leiterplattentechnologie liefert die Konstruktionsvorgaben für die Erstellung des CAD-Layoutes und stellt die Leiterplatten für die Baugruppenproduktion bei.
Baugruppe	Die Baugruppentechnologie definiert die Anforderungen an die Qualität der Leiterplatte und an die Konstruktion des Layouts.

Regel (Formulierung von Designregeln)

Die Formulierung von Designregeln ist nur möglich über die Analyse der Fertigungsbedingungen für die Leiterplatten- und Baugruppenproduktion.

Hinweis (Padstack)

Die für ein Bauteil typische Anschlußflächenkonfiguration ist als *Bauteil* in der Bauteilbibliothek des CAD-Systems hinterlegt.
Jedes Bauteil ist aus einzelnen Elementen zusammengesetzt, den *Padstacks*.
Jeder Padstack enthält auf verschiedenen Ebenen (~ Layern, Lagen) ein *Pad*, das diejenige Aufgabe repräsentiert, die für die entsprechende Ebene vorgesehen ist.

Definition (Padstack)

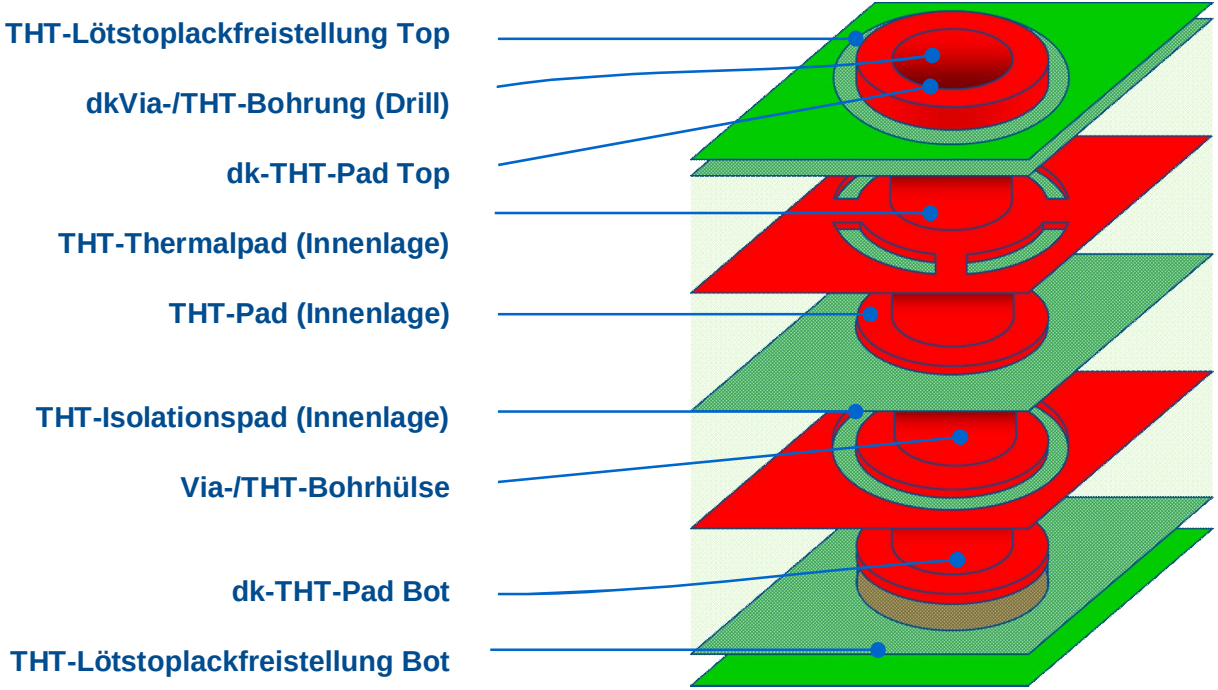
Ein Padstack enthält alle Informationen, die für die Anlage eines Bauteils in der CAD-Bibliothek erforderlich sind.

Regel (Formulierung von Padstacks)

Die konstruktiven Vorgaben aus der Leiterplatten- und Baugruppenproduktion müssen in der Formulierung der Padstacks Berücksichtigung finden.

Arnold Wiemers / Ilfa GmbH

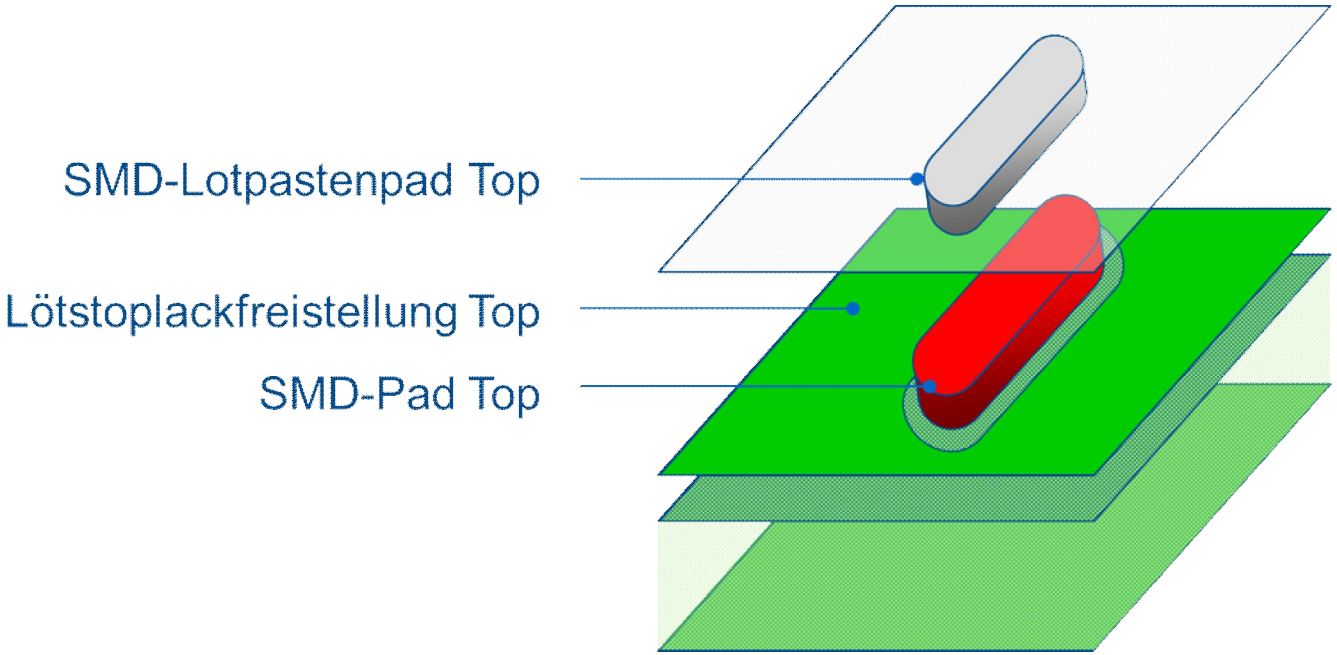
Für das fachgerechte Routing eines Layouts müssen die Padstacks von dk-Vias und dk-THT-Bohrungen auf die Produktion der Leiterplatten und Baugruppen abgestimmt sein.



Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

Arnold Wiemers / Ilfa GmbH

Für das Routing eines Layouts in SMT-Technologie müssen die Padstacks von SMD-Lötflächen auf die Produktion von Leiterplatten und Baugruppen abgestimmt sein.



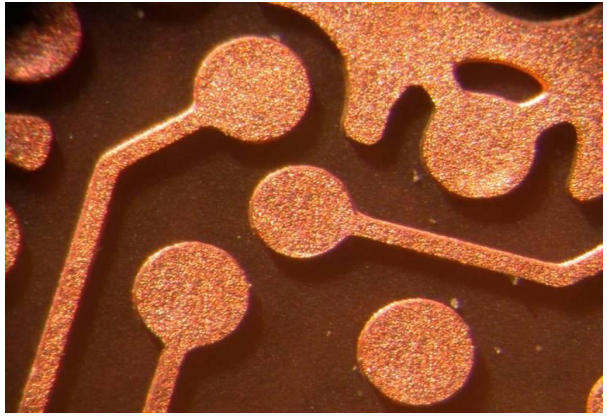
Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

Hinweis (Leiterbahnen und Leiterflächen)
Das CAD-Layout verbindet mit einem geeigneten Leiterbild die Pads der Bauteile entsprechend der Vorgaben des Schaltplans miteinander.
Das Leiterbild besteht aus den Leiterbahnen (~ Signalverbindungen, Übertragungs-leitungen) und den Leiterflächen (~ leitende Flächen, Kupferflächen, Powerplanes, Kantenmetallisierung, Hülsenkupfer).

Definition (Leiterbild)
Mit dem Begriff *Leiterbild* werden alle elektrisch leitenden Anschlussflächen, Leiterbahnen und -flächen einer Leiterplatte zusammengefasst.

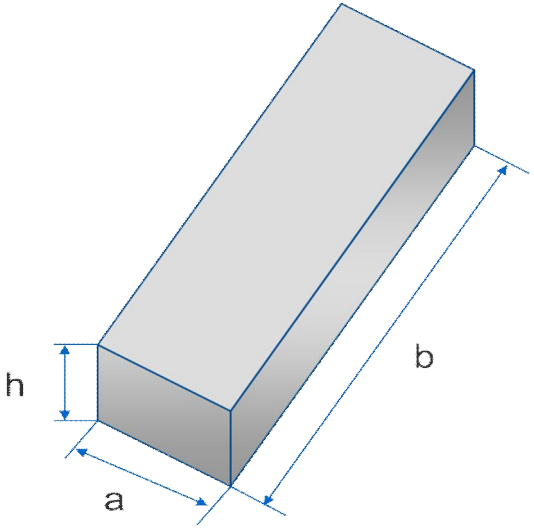
Regel (Formulierung von Leiterbildern)

Die konstruktiven Vorgaben aus der Leiterplatten- und Baugruppenproduktion müssen in der Formulierung der Leiterbilder Berücksichtigung finden.



Leiterbahnsegmente und Viapads

Elementare Geometrien : Quader



Volumen = a • b • h

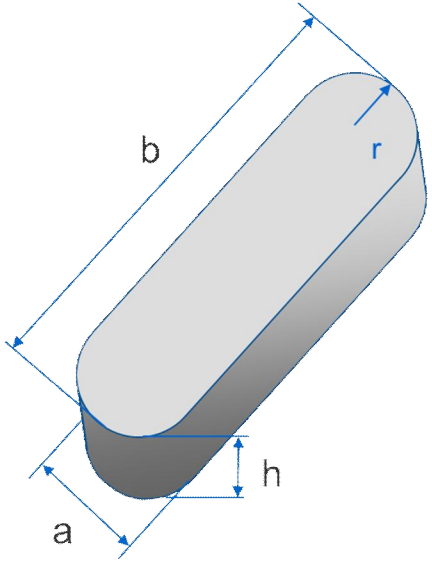
Oberfläche = 2 • ((a • h) + (b • h) + (a • b))

Querschnitt = a • h

Innenwand = 2 • h • (a + b)

Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

Elementare Geometrien : Rechteck + 2 Halbkreise



- Radius $r = 0.5 \cdot a$
  $2r = a$

- Volumen = Fläche • Höhe
  $= ((a \cdot b) - (0.2146 \cdot a^2)) \cdot h$

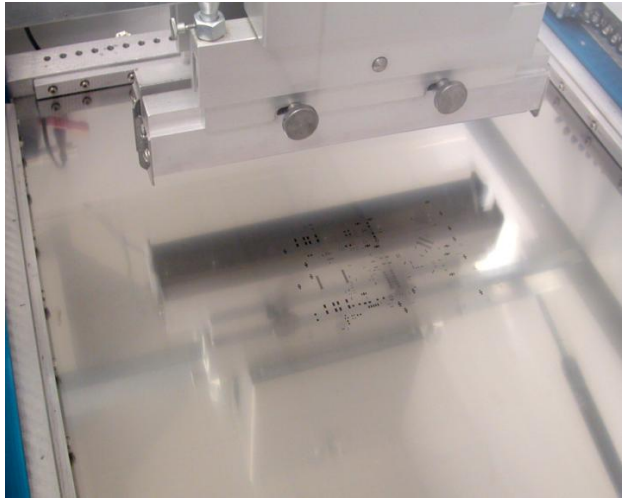
- Innenwand = Umfang • Höhe
  $= (2 \cdot (b - a) + (\pi \cdot a)) \cdot h$

Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

Arnold Wiemers / Ilfa GmbH

Gegeben sind ein gerundetes SMD-Pad mit einem Lotpastenpad von 0.6 x 2.2mm und eine 100µm dicke Pastenschablone. Damit die Lotpaste beim Druck auf die Leiterplatte auslöst, muss die Adhäsionskraft (~ Haftkraft) auf der Oberfläche des SMD-Pads größer sein, als an der zugehörigen Wandung in der Pastenschablone.

Die Bedingung "(Lotpastenpad-) Fläche > Innenwand" muss erfüllt sein.



(Metall-) Pastenschablone im Drucker

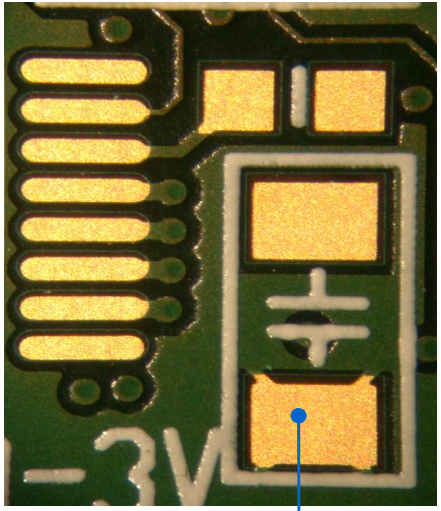
$$\text{Fläche} = (a \cdot b) - (0.2146 \cdot a^2) = (0.6 \cdot 2.2) - 0.077 = 1.24 \quad [mm^2]$$

$$\text{Innenwand} = (2 \cdot (b - a) + (\pi \cdot a)) \cdot h = (2 \cdot 1.6 + 1.88) \cdot 0.1 = 0.508 \quad [mm^2]$$

- Die Fläche des Lotpastenpads ist also deutlich größer als die Innenwand der Schablone.

Arnold Wiemers / Ilfa GmbH

Die Qualität der Lötung von Bauformen des Typs 2512 soll beurteilt werden.
Dazu muss das Lotvolumen bekannt sein.
In der CAD-Bibliothek sind im Padstack quadratische SMD-Pads mit einem Maß von 2.7 x 3.7mm angelegt. Das Lotpastenpad hat ein Maß von 2.5 x 3.5mm.
Der Lotpastendruck soll mittels einer 150µm dicken Metallschablone durchgeführt werden.



Bauform 2512

$$\text{Volumen} = ((a \cdot b) - (0.8584 \cdot r^2)) \cdot h$$

Weil r = 0 ist, ist :

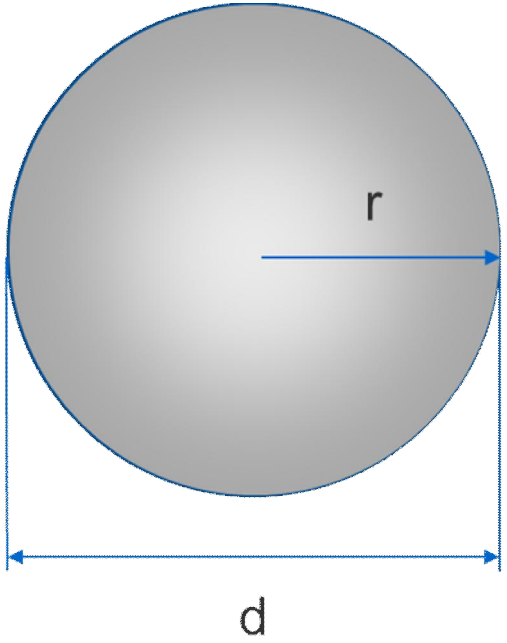
$$\text{Volumen} = a \cdot b \cdot h$$

$$= 2.5 \cdot 3.5 \cdot 0.15 \ [mm^3]$$

$$= 1.31 \ [mm^3]$$

Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

Elementare Geometrien : Kugeloberfläche und Kugelvolumen

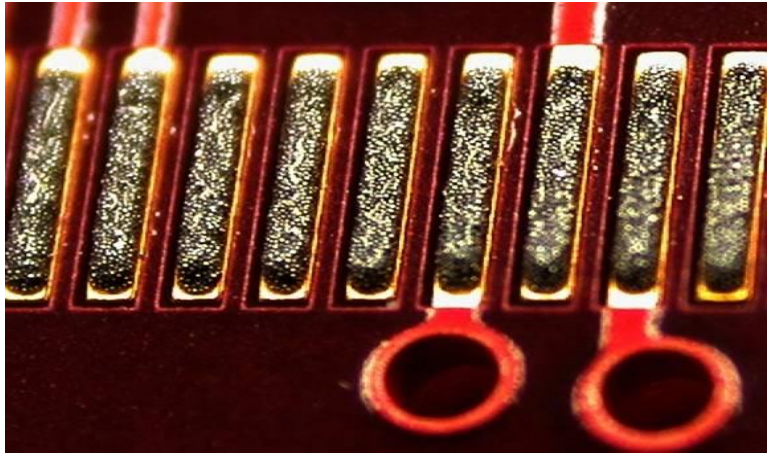


- Oberfläche $= 4 \cdot \pi \cdot r^2$
- Volumen $= \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$

Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

Hinweis (Lotkugel)

Lotlegierungen bestehen aus einem pastösen, kugelförmigen Substrat. Allgemein gilt, dass mindestens 5 Lotkugeln nebeneinander in die Schmalseite einer Schablonenöffnung passen sollen. Nimmt die Geometrie eines Bauteilanschlusses ab, dann nimmt auch die Geometrie des Lotpastenpads ab. Die Schablonenöffnung wird schmaler und daher müssen die Lotkugeln kleiner werden. Mit abnehmendem Kugelvolumen nimmt aber die **reaktive Kugeloberfläche** zu und damit die **Oxidationsbereitschaft** der Lotlegierung.



Lotpastendruck auf SMD-IC-Pads

Lotkugel Ø	Oberfläche : Volumen
8 µm	750.00 : 1
11 µm	545.45 : 1
15 µm	400.00 : 1
38 µm	157.89 : 1
45 µm	133.33 : 1
75 µm	80.00 : 1

Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

Geometrie von Leiterbildern : das Querschnittsprofil

Erwartete und letztlich typische Querschnitte von Leiterbahnen respektive von allgemeinen Bildstrukturen. Der Ätzprozess, insbesondere die Rückätzung, bestimmt die Geometrie von Leiterbahnen, Viapads und Kupferflächen.

Es ist unbedingt notwendig, die Querschnittsprofile der Leiterbilder zu untersuchen und die Querschnittsgeometrie zu definieren.

Die Analyse der Geometrien erlaubt die Berechnung der Löt- und Montageflächen sowie die vorausschauende Bewertung der Folgen, die sich aus der Rückätzung ergeben.

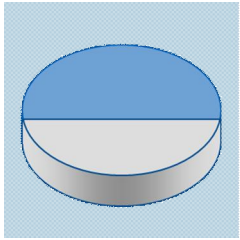
Und das führt letztlich zur Definition der **Kenngröße „TangensAlpha“**.

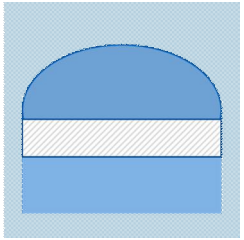
Arnold Wiemers / Ilfa GmbH

Allgemein wird angenommen, daß die Querschnitte von Bildstrukturen idealerweise eckig sind. In der Praxis ist das jedoch nicht so.

Querschnitt / Pad

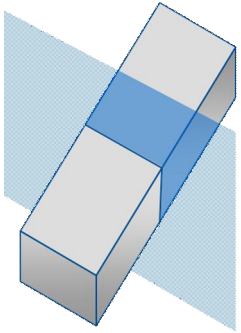
Pad für Via, THT-Bauteile und BGAs

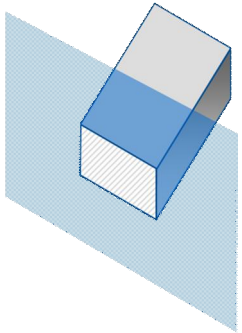




Querschnitt / Vektor

SMD-Pad oder Leiterbahn-Vektor





Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

Arnold Wiemers / Ilfa GmbH

Ätzfuß (~ Leiterbahn *Unten*)

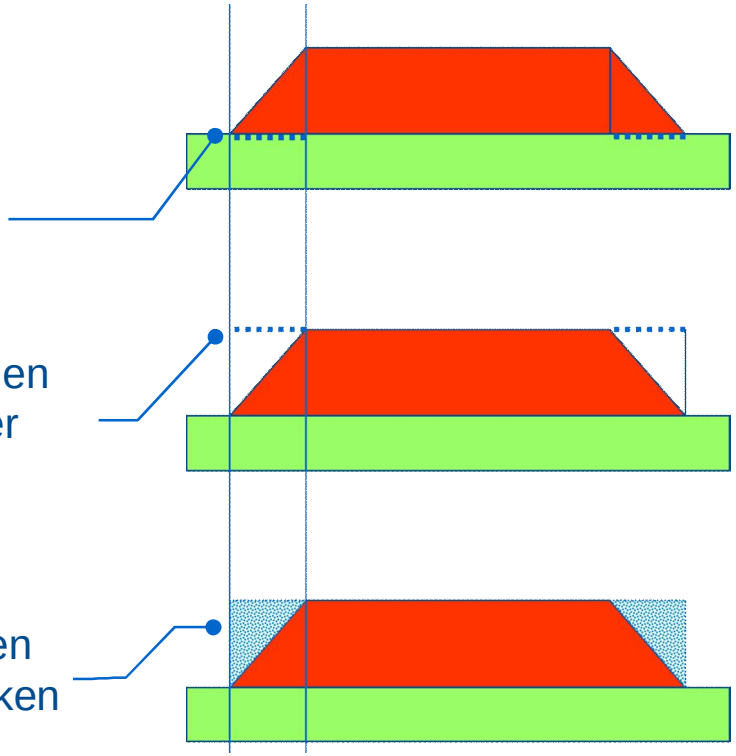
Der Ätzfuß ist der von einer eingeschriebenen rechteckigen Leiterbildstruktur abweichende Kupferanteil auf der Höhe des Dielektrikums.

Unterätzung (~ Leiterbahn *Oben*)

Die Unterätzung ist der von der idealen rechteckigen Leiterbildstruktur abweichende Kupferanteil auf der Höhe der Leiterbildoberfläche.

Rückätzung

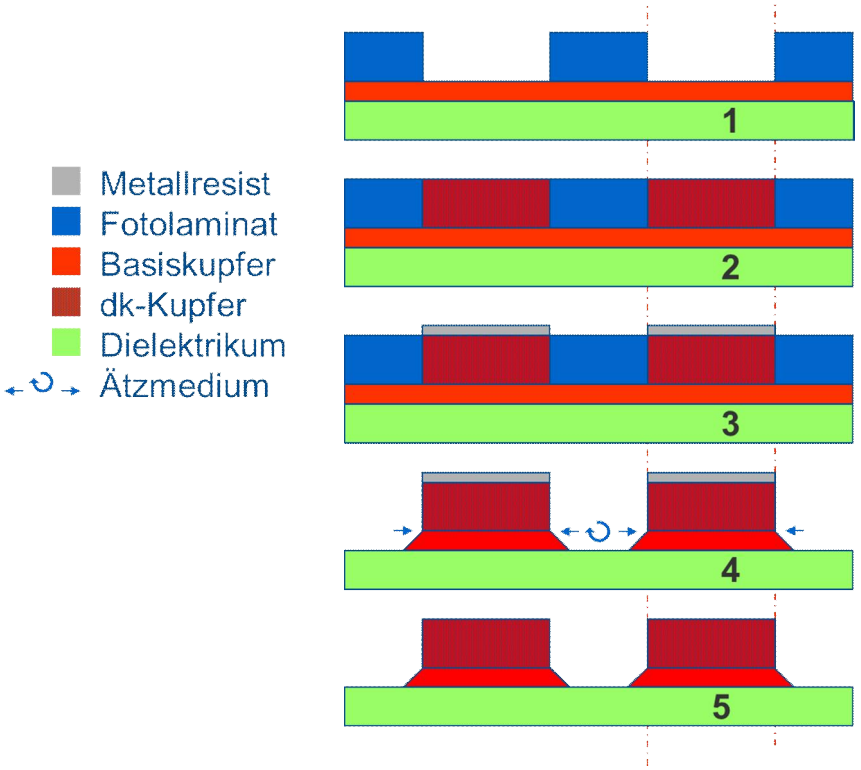
Die Rückätzung ist die Summe der durch das Ätzen verlorengegangenen Kupfervolumina an den Flanken der Leiterbildstrukturen.



Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

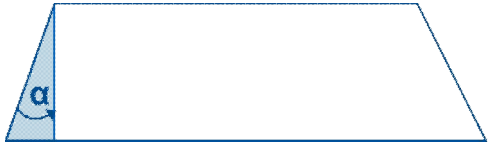
Ätzen (Foto- und Metallresist)

1) Laminieren und Belichten des Fotolaminats
2) Kupferaufbau
3) Metallresist aufbauen
4) Fotolaminat strippen / Kupfer ätzen
5) Die fertige Bildstruktur zeigt den ätzbedingten trapezoidalen Querschnitt nur im Bereich des Basiskupfers.



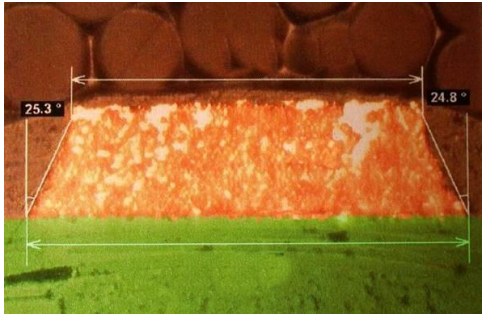
Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

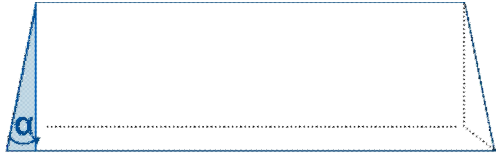
Arnold Wiemers / Ilfa GmbH



Querschnittform Trapez
Flankenwinkel **α** **25°**

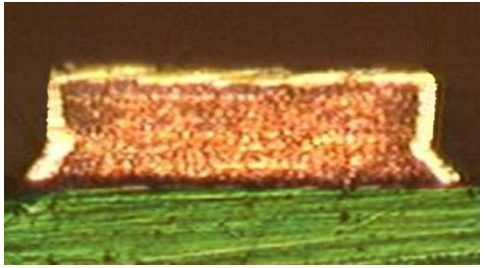
Subtraktiver Ätzprozeß





Querschnittform Trapez
Flankenwinkel **α** **15°**

Semiadditiver Ätzprozeß



Werkbilder ILFA / Modifikation Wi

Regel (Querschnittsprofil)

Das Querschnittsprofil einer Leiterbahn, oder ganz allgemein das Querschnittsprofil einer Bildstruktur, ist *immer tendenziell* ein Trapez.

Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

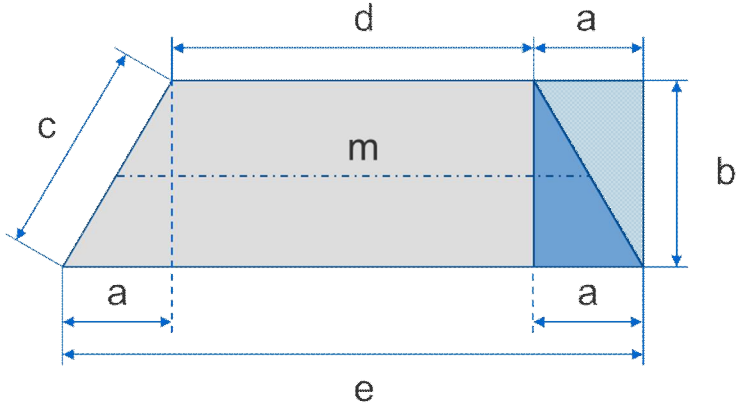
Querschnittsprofil und TangensAlpha

Die Querschnittsgeometrie einer Leiterbahn muss *vorab* in die konstruktiven Betrachtungen für eine Leiterplatte/Baugruppe eingebunden werden.

Die **Steigung der Flanke** einer Leiterbildstruktur ist ein wichtiger Referenz-wert, mit dem die Geometrie der Flanke als prozessabhängige Größe beschrieben werden kann.

Über die Definition des TangensAlpha können die wichtigsten geometrischen Größen einer Leiterbildstruktur berechnet werden.

Querschnittsprofil : Trapez (gleichschenklig)



- Umfang $= d + e + 2c$
- Fläche $= b \cdot (a + d)$

  oder

  Fläche $= b \cdot 0.5 \cdot (d + e)$

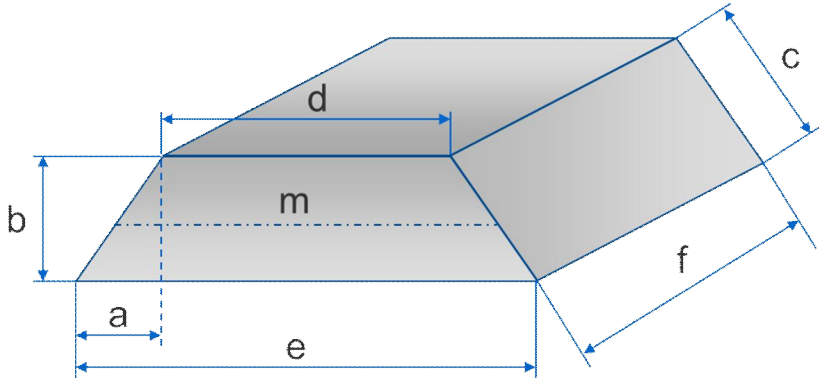
  oder

  Fläche $= b \cdot m$

- Mittellinie $m = 0.5 \cdot (d + e)$
- Weglänge a $a = 0.5 \cdot (e - d)$
- Weglänge e $e = d + 2 \cdot a$
- Weglänge c $c = \sqrt{a^2 + b^2}$

Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

Querschnittsprofil : Trapezkörper (gleichschenklig)



- Oberfläche $= 2 \cdot (f \cdot c) + (d \cdot f) + (e \cdot f) + 2 \cdot (b \cdot m)$
- Volumen $= f \cdot b \cdot (a + d)$

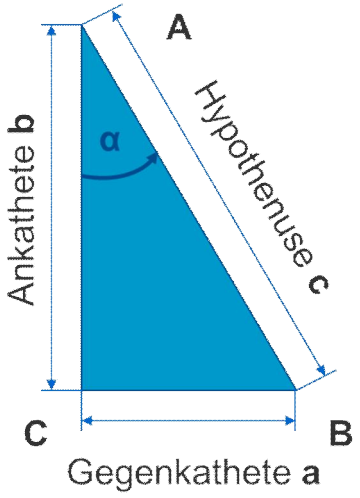
  oder

  Volumen $= f \cdot b \cdot 0.5 \cdot (d + e)$

  oder

  Volumen $= f \cdot b \cdot m$

Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

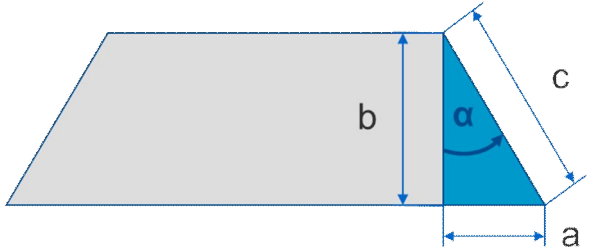


Die Längen für a, b und c sind nicht ohne weiteres ermittelbar. Die Dokumentation der CAD-Daten gibt dazu keine Auskunft.
Eine Beziehung zwischen diesen Größen kann über die **trigonometrische Definition** des Tanges beschrieben werden.

Allgemein gilt :

- $\tan \alpha = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Ankathete}} = \frac{a}{b}$
- $\text{Gegenkathete} = \text{Ankathete} \cdot \tan \alpha$

  $a = b \cdot \tan \alpha$



Alpha '**α**' ist der Winkel zwischen der Flanke 'c' der Bildstruktur und der Kupferdicke 'b'.

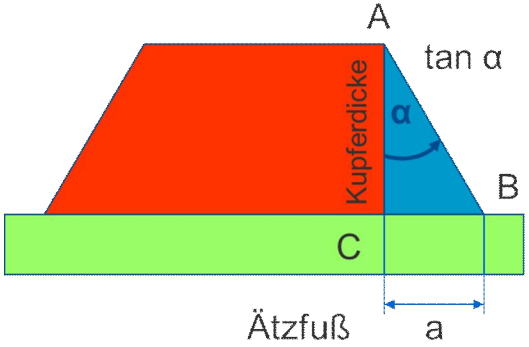
Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

Arnold Wiemers / Ilfa GmbH

Mit dem Tangens des Winkels **α** wird ein mathematischer Zusammenhang zwischen dem Ätzfuß und der Kupferdicke formuliert.

Definition (Ätzfuß) Ätzfuß = Kupferdicke • tan α

Hinweis (TangensAlpha)



Die Kupferdicke ist genau oder innerhalb eines Intervalls bekannt.
Der Tangens ist eine prozeßbezogene Größe und ist ebenfalls genau oder innerhalb eines Intervalls bekannt. Mit dieser Definition kann der Ätzfuß genau oder innerhalb eines Intervalls berechnet werden.

Aus der Definition lässt sich die folgende Abhängigkeit ableiten.

Regel (Abhängigkeit des Ätzfußes)

Der Ätzfuss ist *ausschließlich* von der Kupferdicke abhängig.

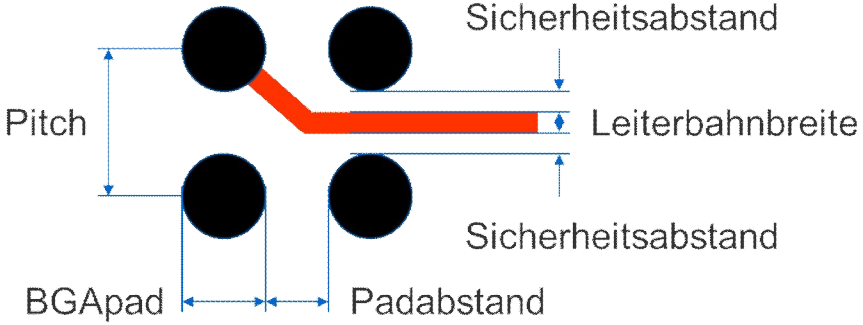
Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

Routingconstraints für BGAs

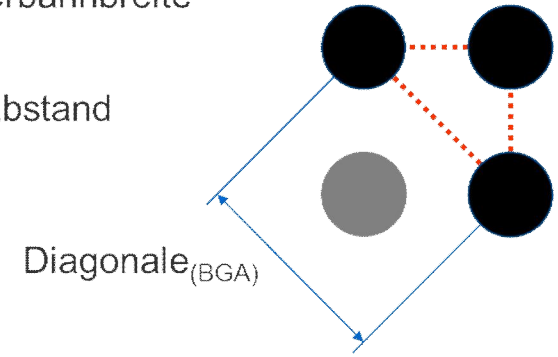
Das FanOut von BGAs erfordert eine sehr gute Abstimmung der funktionalen, geometrischen und fertigungstechnischen Vorgaben.

Für die Berechnung von Constraints müssen die Geometrien innerhalb eines BGAs bekannt sein.
Deren Abhängigkeit vom AspectRatio der FanOut-Vias und vom Ätzprofil der BGA-Pads führt zu einer Komplikation, die nur noch in einer ganzheitlichen Betrachtung gelöst werden kann.

Arnold Wiemers / Ilfa GmbH



BGA : Grundregeln



Regeln (BGA-Geometrien)

Pitch	= BGApad + Padabstand
Padabstand	= Pitch - BGApad
BGApad	= Pitch - Leiterbahnbreite - 2 • Sicherheitsabstand
Padabstand	= Leiterbahnbreite + 2 • Sicherheitsabstand
Leiterbahnbreite	= Padabstand - 2 • Sicherheitsabstand
Sicherheitsabstand	= 0.5 • (Padabstand - Leiterbahnbreite)
Diagonale$_{(BGA)}$	= 1.414 • Pitch

Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

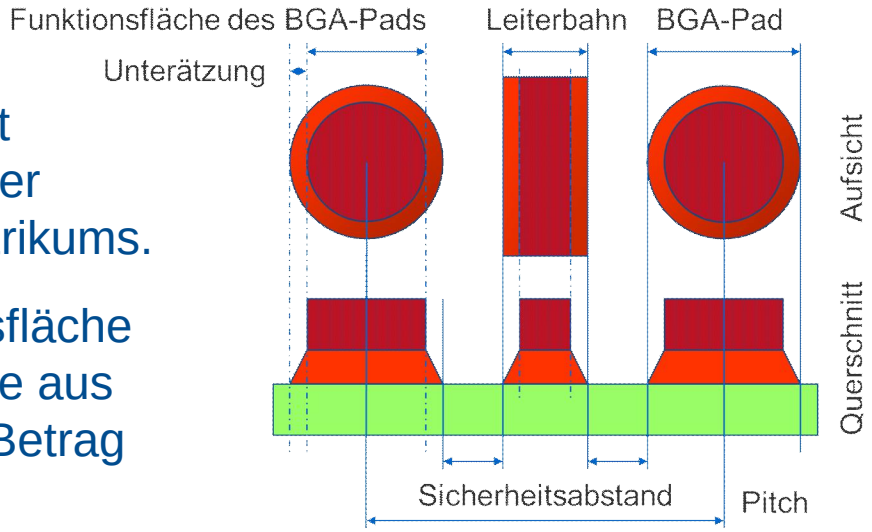
Regel (Grund- und Funktionsfläche bei BGAs)

$$\text{Funktionsfläche}_{(BGA)} = \text{BGApad} - \text{Unterätzung}_{(ges)}$$
$$= \text{BGApad} - 2 \bullet \text{Kupferdicke} \bullet \tan \alpha$$

Hinweis

Der Sicherheitsabstand im CAD-Layout entspricht in der Praxis dem Abstand der Bildstrukturen auf der Höhe der Dielektrikums.

Für BGA-Pads entspricht die Funktionsfläche für das Aufsetzen der Balls der Vorgabe aus der CAD-Bibliothek verringert um den Betrag für die Unterätzung.



Bildquelle: Ilfa, Leiterplattenakademie GmbH

A G E N D A

- Die Lotpastenschablone als Garant für eine zuverlässige Baugruppenproduktion

- Vom CAD-Layout zur Baugruppe - Von der Baugruppe zum CAD-Layout

  Markus Biener Zollner Elektronik AG

- **Die Arbeit des AK Design Chain im ZVEI**

- Zusammenfassung

Optimierungsbedarf in den Prozessen

Bildquelle: AK Design Chain

Idee

Der Einfluss der einzelnen Disziplinen Schaltungsentwicklung, PCB Design, Leiterplatten-herstellung und Produktion elektronischer Baugruppen **auf ein Endprodukt** ist in den letzten Jahren massiv angestiegen.

Das **Spektrum der Anforderungen**, aber auch die **Leistungsfähigkeit dieser Fachbereiche** wachsen in immer kürzeren Zeitabständen.

Es ist also notwendig, ein Netzwerk einzurichten, das sich mit der Problemstellung und einer **ganzheitlichen Betrachtung der kompletten Prozesskette** befasst.

Denn nur so kann ein hoher Innovationsgrad erreicht werden.

Herausforderung

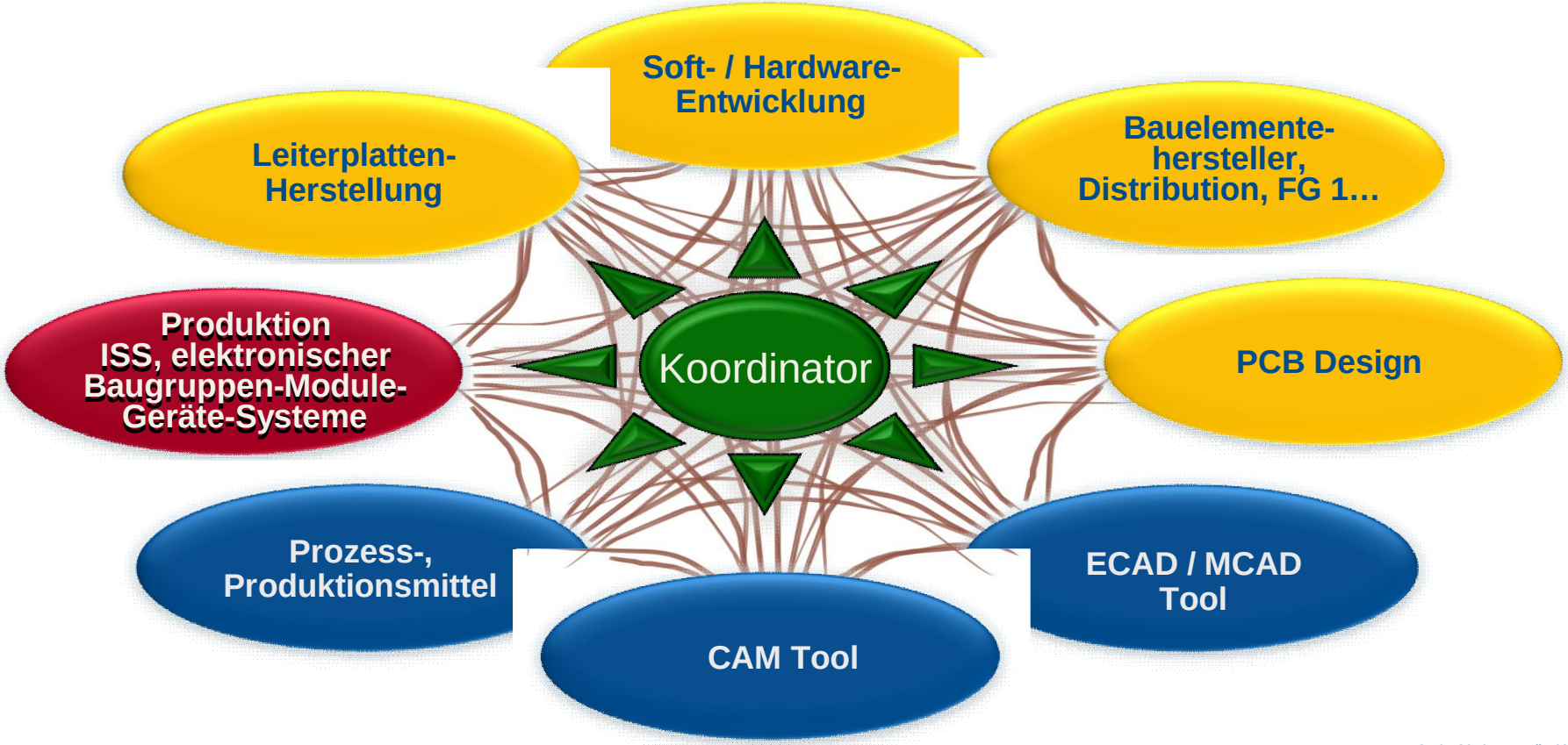
- Gemeinsames Verständnis für das Machbare und das Notwendige aller beteiligten Gruppen in einem Netzwerk (vom Marketing bis zur fertigen Baugruppe) schaffen
- Erarbeitung von Design Guidelines
- Möglichkeiten zur einfachen und flächendeckenden Verbreitung des Wissens
- Ausbildung der PCB Designer
- Schaffung einer nachhaltigen Netzwerkstruktur für ein „optimales Produkt“

Was bisher geschah…

Zusammenfassung der Aktivitäten aus

- **Gemeinsame Projektgruppe Design FED / ZVEI**
  (Strombelastbarkeit, Einpresstechnik, Endoberflächen, Basismaterialien, Lötstopplackdesign, Entwärmungskonzepte,…)
- **AK Ergebnisse**
  (NPI, Repair/Rework von elektronischen Baugruppen, Services in EMS Initiative, Robustness Validation, Steckverbinder, Qualität in der Leiterplatte, Zuverlässigkeit, PLM, Traceability, Obsolescence-Management,…)
- **Arbeitstreffen um die Herangehensweise zu klären**
- **Bildung von Gruppen**

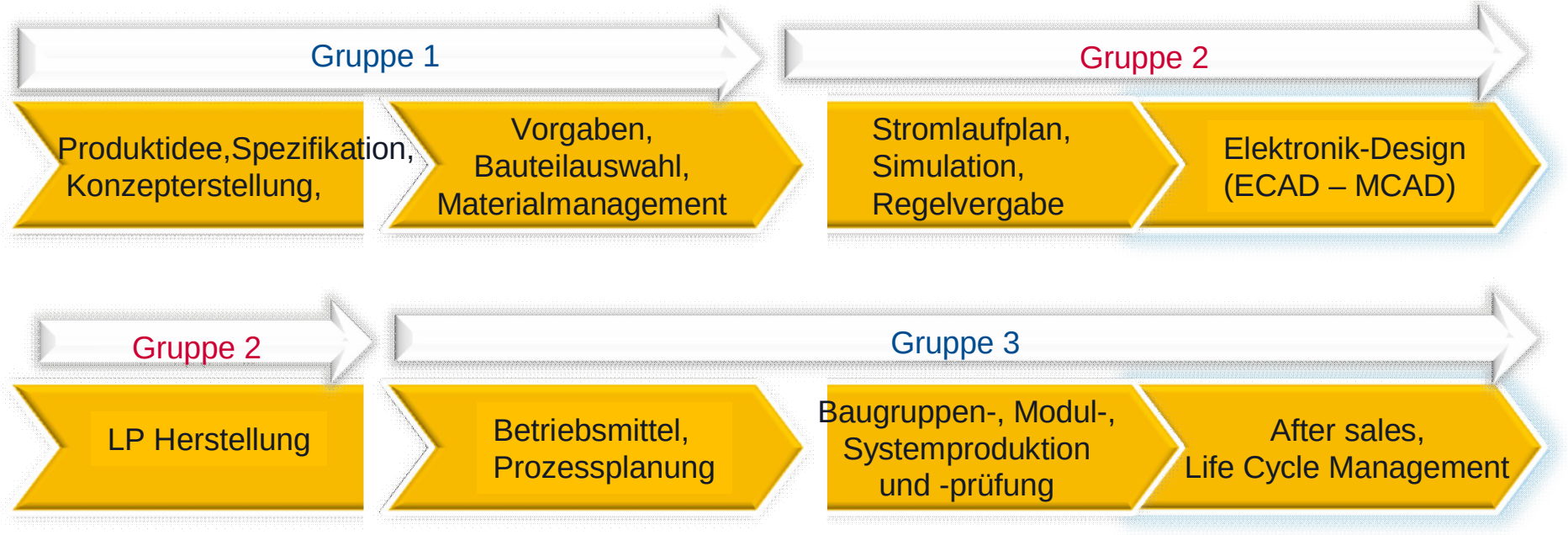
Was bisher geschah…



Bildquelle: AK Design Chain

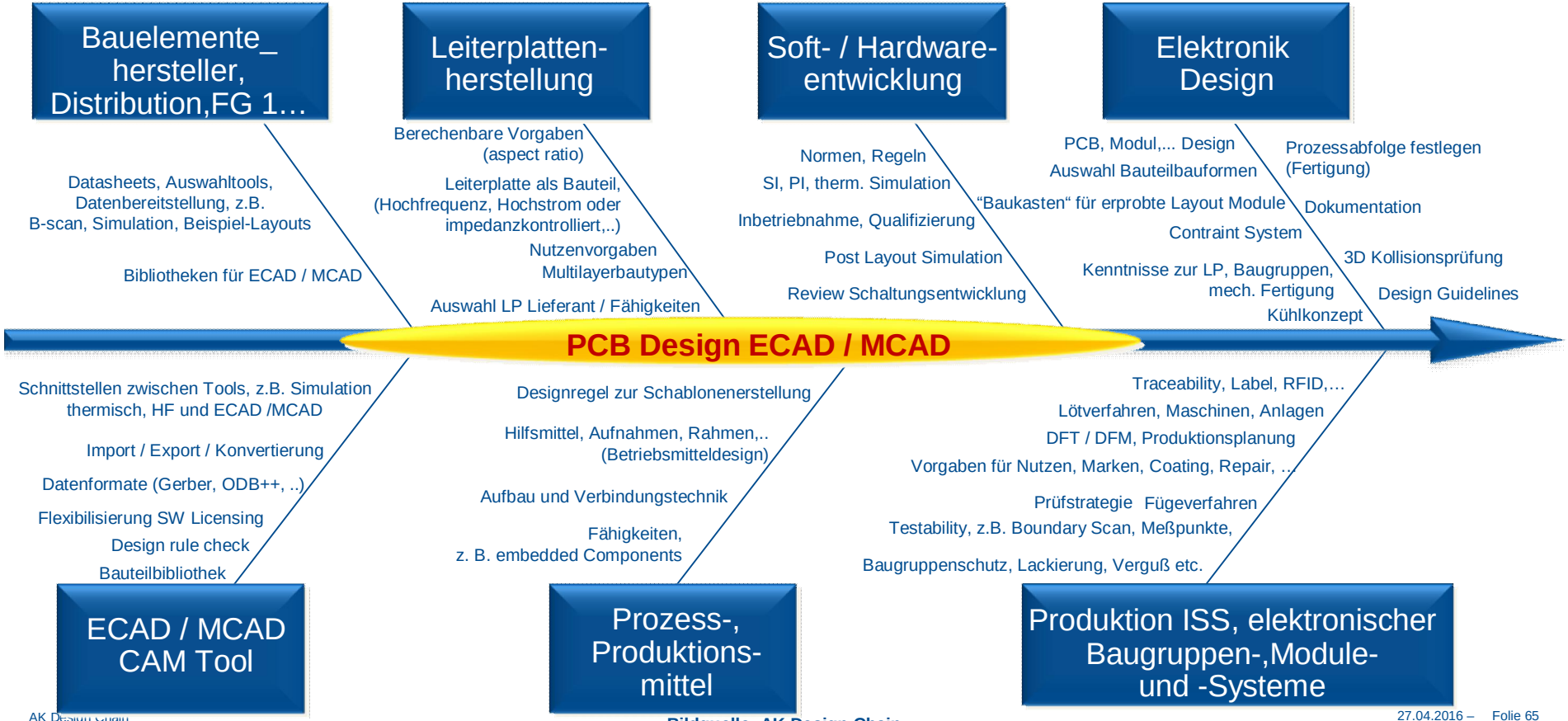
Was bisher geschah…

- Identifizierung der gesamten Prozesskette und der einzelnen Kettenglieder sowie deren Nahtstellen und Vernetzungen



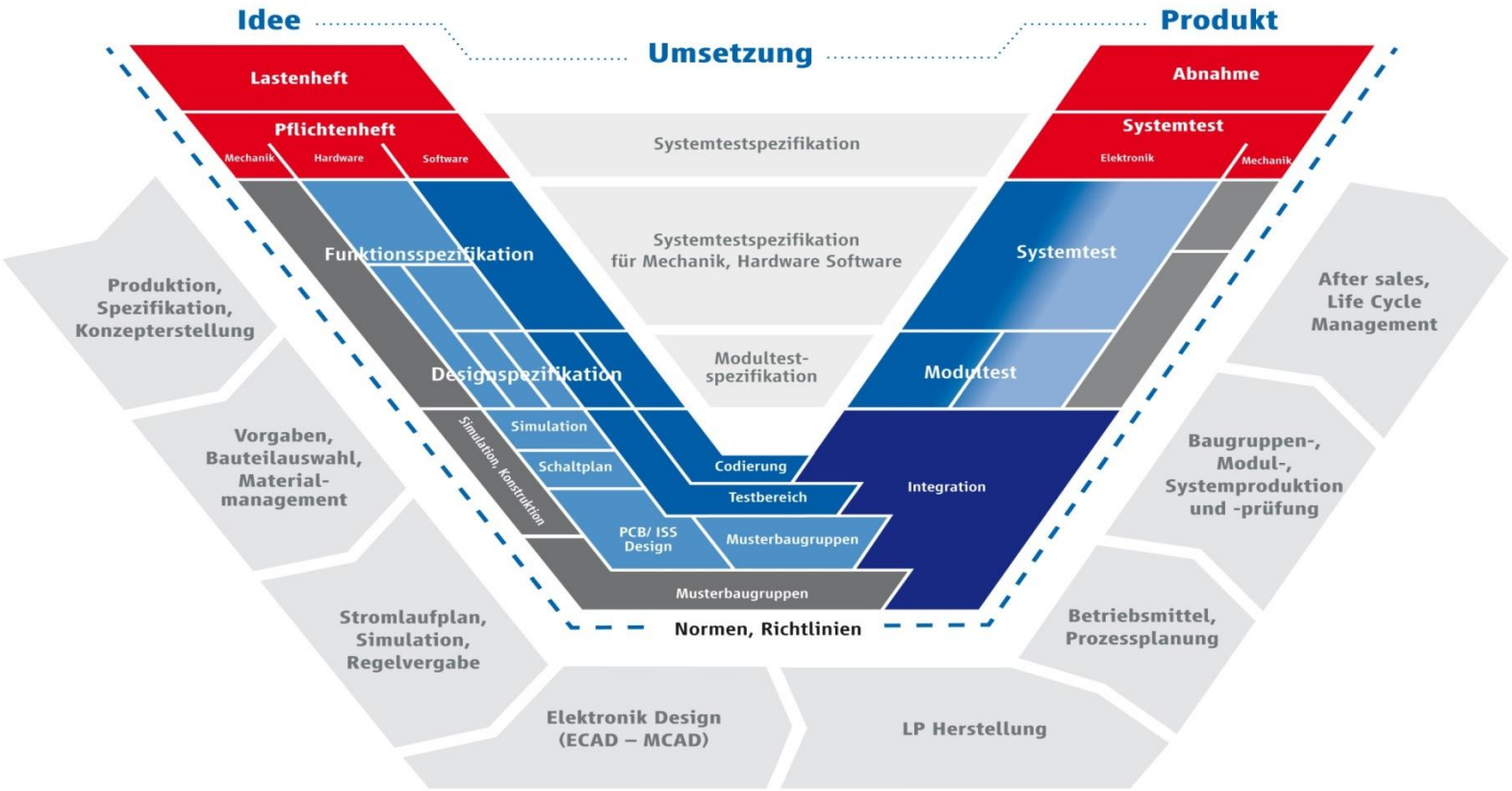
Bildquelle: AK Design Chain

Was bisher geschah…



Bildquelle: AK Design Chain

Von der Idee zum Produkt



Bildquelle: ZVEI Flyer AK Design Chain

Was bisher geschah…

- Auflösung der Gruppen und die Bildung von Fachteams

Team 1	Konzeptphase		
Team 1		Produktidee	
Team 1		Lastenheft	
Team 2	Entwicklungsphase	Pflichtenheft	
Team 2		logisches Design	Simulation, Stromlauf, Software
Team 3		mechanisches Design	Mechanische Konstruktion
Team 3		physikalisches Design	Layout, Verbindung
Team 2		Geräte-Verifizierung	funktionierender Prototyp
Team 2			Inbetriebnahme, Zulassungen
	NPI (DfX)		
Team 4		Leiterplattenfertigung	
Team 6		Baugruppenfertigung	
Team 5		Prüfung/Test	
Team 2		LifeCycle Management	
Team 7		Komponentenlieferant	
Team 8		Praxisbeispiele	

Bildquelle: AK Design Chain

Aktueller Stand …

- ca. 40 AK-Mitglieder in 8 Fachteams
- 2 Informationsebenen (Fachebene, Informationsebene)
- Erstellung eines Flyers
- Round Table Gespräch, Presseberichte
- Aktuell erfolgt die Ausarbeitung der einzelnen Fachartikel (wichtige Querinformationen werden gruppenübergreifend erarbeitet) ca. 170 Themen
- Einrichten eines Wissenspools (Informations-Datenbank)

Bildquelle: ZVEI Flyer AK Design Chain

Was ist daran neu…?
Beispiel: Lötstopplack

ZVEI: Die Elektroindustrie

Auf welchen Wegen wird nach Informationen gesucht?

Google findet **29600 Suchergebnisse** zum Thema Lötstopplack
und die am besten „gepflegten“ Seiten werden zuerst gelistet…

Wikipedia findet folgende Begriffe:

Leiterplatte

In-Circuit-Test

Bestückungs-druck

Gerber Format

Gravis Ultrasound

Lötstopplack

Testpunkt

Löten

Skat Champion

Vergolden

Lotkugel

Passermarke

Leitlack

Bei Wikipedia kann „jeder“ die Berichte editieren (weitgehend ohne fachliche Prüfung)

Bildquelle: AK Design Chain

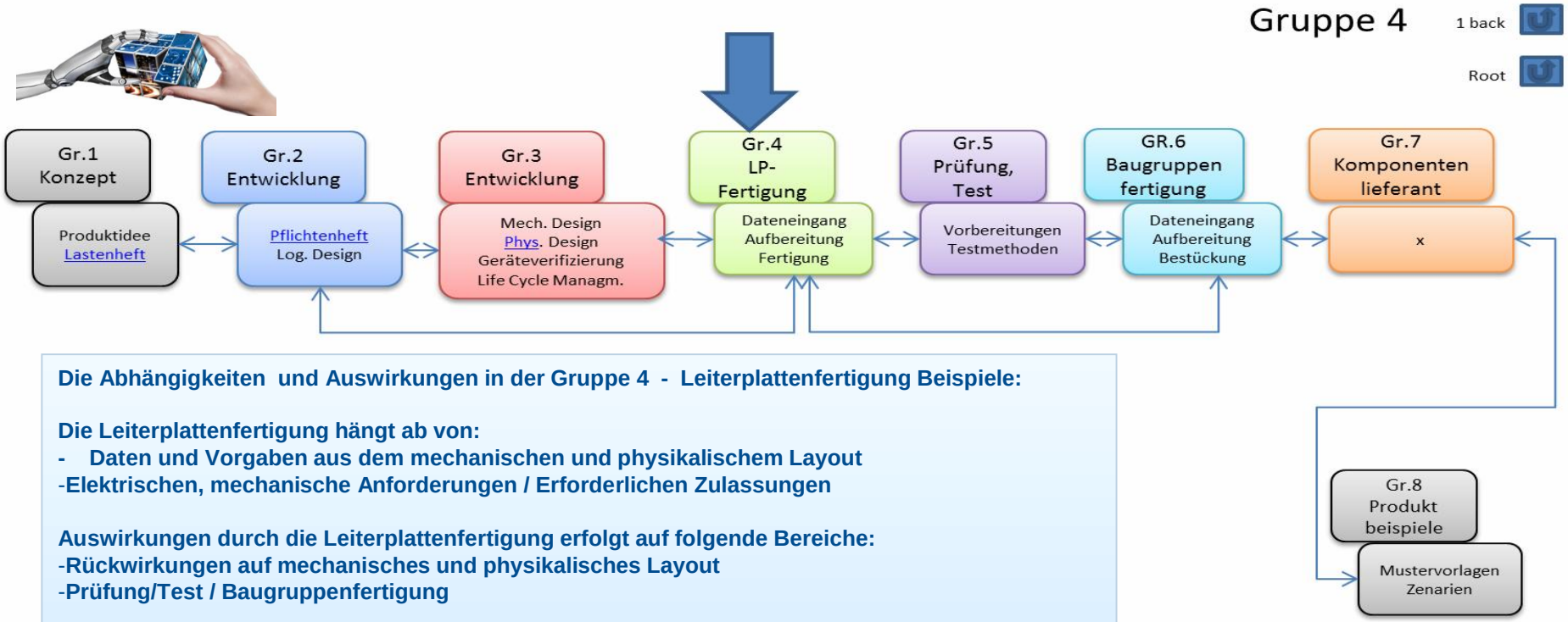
Wie findet man die Informationen…?

ZVEI CONNECTS

Durch einen „Klick“ auf die Begriffe gelangen Sie in die weiten Darstellungen der einzelnen Gruppen.

Bildquelle: AK Design Chain

Wie findet man die Informationen…?



Die Abhängigkeiten und Auswirkungen in der Gruppe 4 - Leiterplattenfertigung Beispiele:

Die Leiterplattenfertigung hängt ab von:
- **Daten und Vorgaben aus dem mechanischen und physikalischem Layout**
- **Elektrischen, mechanische Anforderungen / Erforderlichen Zulassungen**

Auswirkungen durch die Leiterplattenfertigung erfolgt auf folgende Bereiche:
- **Rückwirkungen auf mechanisches und physikalisches Layout**
- **Prüfung/Test / Baugruppenfertigung**

Fehlerhafte Vorlagen und Beschreibungen führen hier zu Nachfragen, fehlerhafter Umsetzung und damit auch zu Zeitverzögerungen und erhöhten Kosten!
Verfehlungen können oft erst in den Folgeprozessen festgestellt werden !

Bildquelle: AK Design Chain

Wie findet man die Informationen…?

Gruppe 4

1 back

Root

Gr.4
LP-
Fertigung

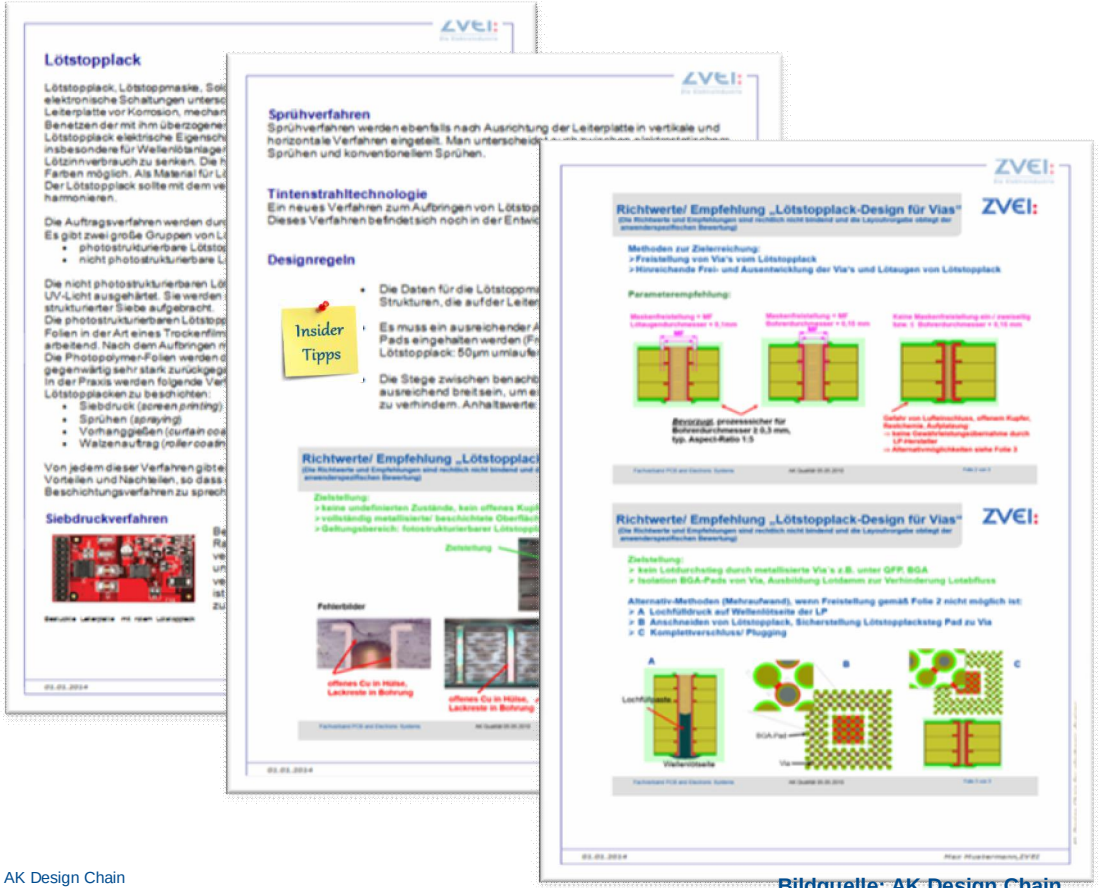
Dateneingang
Aufbereitung
Fertigung

6.1.	**Leiterplattenfertigung**
6.1.1.	Möglichkeiten Endoberflächen
6.1.2.	**Lötstopplack**
6.1.3.	Mechanische Toleranzen
6.1.4.	Wirtschaftliche Nutzengestaltung
6.1.5.	Bohrungstoleranzen Einpresstechnik
6.1.6.	CAF-Beständigkeit von Materialien / PCB's und Auswirkungen auf das Design
6.1.7.	Oberflächenreinheit von Leiterplatten
6.1.8.	Copperfilling von Blind Vias
6.1.9.	Pluggen von Vias
6.1.10.	Wechselwirkung zwischen Lötstopmaske und Vergussmasse des Baugruppenproduzenten
6.1.11.	Verfügbarkeit von Materialien und Hilfsstoffen in Deutschland/Europa
6.1.12.	Planung der Versorgungsspannungen
6.1.13.	Postprozessing / Gerber / ODB++ / IPC 2581
6.1.14.	Bohren / Fräsen
6.1.15.	Layoutgestaltung aus Metallverteilungssicht (Masseflächen, Isolierte Leiter)
6.1.16.	Kupferschichtdicken
6.1.17.	HF und EMV Aufbauten
6.1.18.	Impedanzen, single / differential
6.1.19.	Strombelastbarkeit von Leiterbahnen
6.1.20.	Durchschlagsfestigkeit
6.1.21.	Spannungsfestigkeit

Bildquelle: AK Design Chain

Welchen Mehrwert bietet das System…?

Beispiel: Lötstopplack



Bildquelle: AK Design Chain

In den einzelnen Themen sind, die für den PCB Designer relevanten Designregeln speziell hervorgehoben.

Weiterbildung, ist eine politische Herausforderung

ZVEI: Die Elektroindustrie

PCB Design, eine Schlüsselstelle in der Produktentwicklung

- Aktuell gibt es keinen Ausbildungsberuf bzw. Studienzweig Leiterplatten und Baugruppendesign
- Unterlagen für eine „Basispräsentation“ vorhanden
- Prüfen der Zusammenarbeit mit anderen Verbänden (z. B. IHK, Hochschulen, FED,…)
- Erarbeitung eines mehrstufiges Konzept (wie z. B. Mechatroniker IHK, Bachelor, …)
- Aufsetzen eines Pilotprojektes an Berufsschulen bzw. Hochschulen

- **Ziel:** Aufwertung des Stellenwertes eines Designers,
  Etablierung eines Berufsbildes im Markt,
  Wettbewerbsvorteil durch gezielte Aus- und Weiterbildung

A G E N D A

- Die Lotpastenschablone als Garant für eine zuverlässige Baugruppenproduktion
- Vom CAD-Layout zur Baugruppe - Von der Baugruppe zum CAD-Layout
- Die Arbeit des AK Design Chain im ZVEI
- **Zusammenfassung**

Zusammenfassung

- Die Teilnehmer des Arbeitskreises Design Chain haben sich zum Ziel gesetzt alle Zusammenhänge hinsichtlich des Elektronikdesigns und die Abhängigkeiten der Beteiligten innerhalb der Chain darzustellen.

- Jedes Glied dieser Kette beeinflusst die Entstehungskosten und Marktfähigkeit eines Produktes. Das beginnt bei der Produktidee und reicht über die erfolgreiche Markteinführung hinaus bis zum After Sales Service.

- Frühzeitige Absprachen und Kommunikation entlang der „Design Chain“ verkürzen die Dauer der Entwicklungsphasen und erhöhen die Qualität.

- Grundlagen und Hilfen dazu werden durch den Arbeitskreis des ZVEI angeboten. Er zeigt Wege auf und weist auf die Stellen, die in der Informationskette unumgänglich sind um Fehler frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden.

Mit den notwendigen Informationen im Netzwerk intelligent ans Ziel

ZVEI: Die Elektroindustrie

Sichern Sie sich aktuelles Wissen und arbeiten Sie aktiv im Arbeitskreis mit!

Bildquelle: ZVEI Flyer AK Design Chain