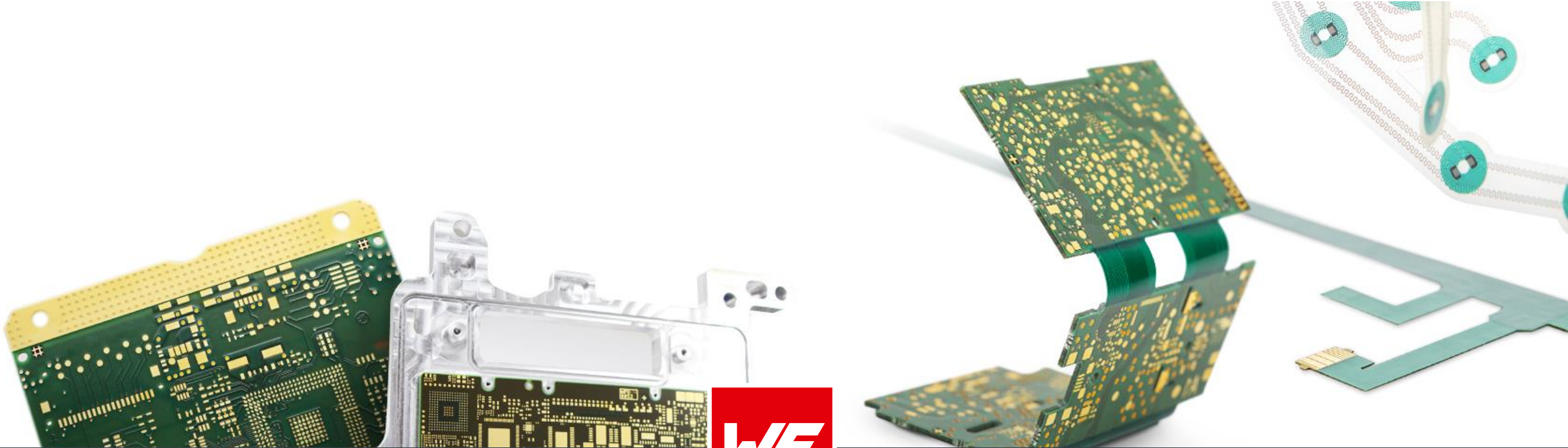




WIE BEEINFLUSST IHR LEITERPLATTENLAYOUT DIE KOSTEN IN DER LEITERPLATTENFERTIGUNG

Jürgen Wolf

Co- Autoren: Andreas Dreher – Holger Krause – Andreas Nies – Jens Töbeck

WÜRTH ELEKTRONIK MORE THAN YOU EXPECT

AGENDA

Wie beeinflusst Ihr Leiterplattenlayout die Kosten in der Leiterplattenfertigung?

1. Leiterplattengröße und Nutzensauslegung
2. Kupferpreisentwicklung und Materialwahl
3. Lagenaufbauten
4. Mechanische Bearbeitung
5. Erweiterte Technologien
6. Weitere Tipps & Tricks
7. Zusammenfassung



Jürgen Wolf

Würth Elektronik GmbH & Co. KG
Leitung Advanced Solution Center



AGENDA

Wie beeinflusst Ihr Leiterplattenlayout die Kosten in der Leiterplattenfertigung?

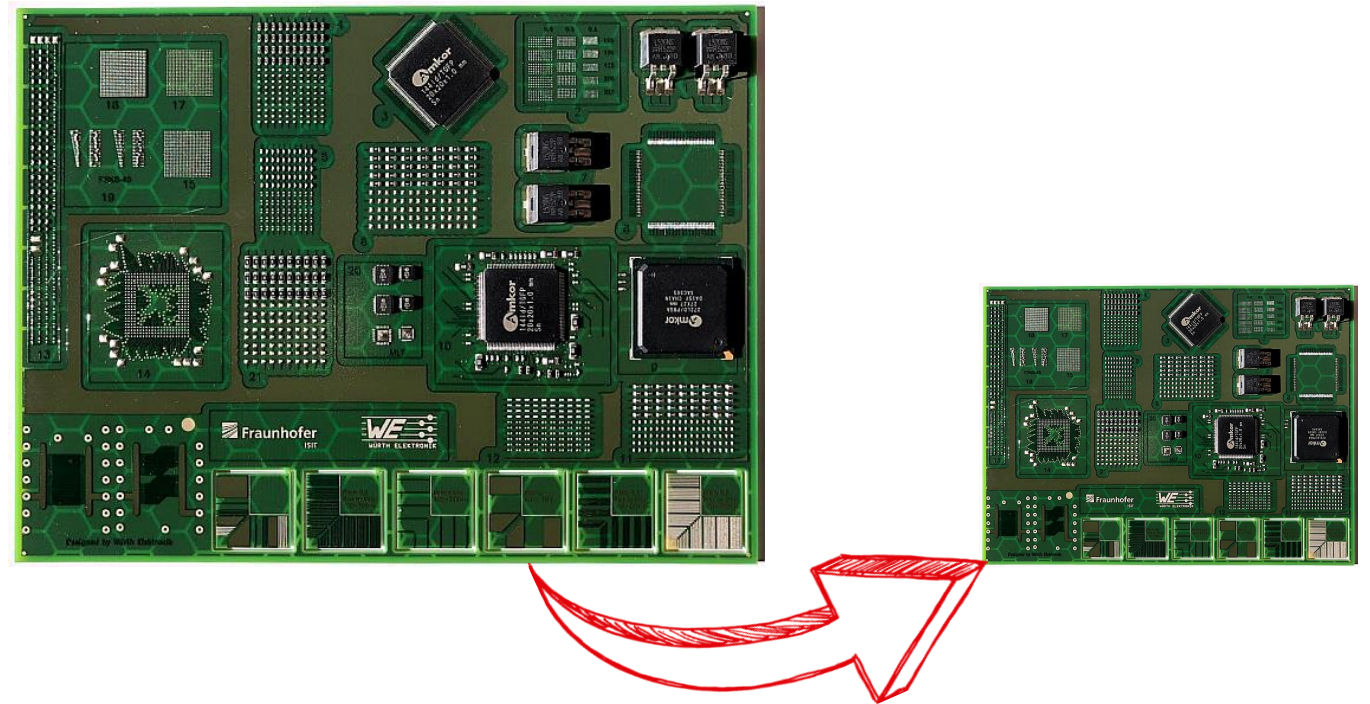
1. Leiterplattengröße und Nutzensauslegung
2. Kupferpreisentwicklung und Materialwahl
3. Lagenaufbauten
4. Mechanische Bearbeitung
5. Erweiterte Technologien
6. Weitere Tipps & Tricks
7. Zusammenfassung

DIE LEITERPLATTENGROÖßE

Alles eine Frage des Platzbedarfs!

Die Leiterplattengröße

- Je kleiner die Leiterplatte, desto höher die Stückzahl auf dem Produktionspanel
- Fehleranfälligkeit vs. Yield:
Je kleiner die PCB, desto besser wird der Yield pro PCB, desto weniger hoch ist die Mehrauflage, um die gewünschte Liefermenge zu bedienen
- Nachhaltigkeit:
Je weniger Material verwendet wird, desto geringer der Fußabdruck der LP



DIE NUTZENAUSLEGUNG

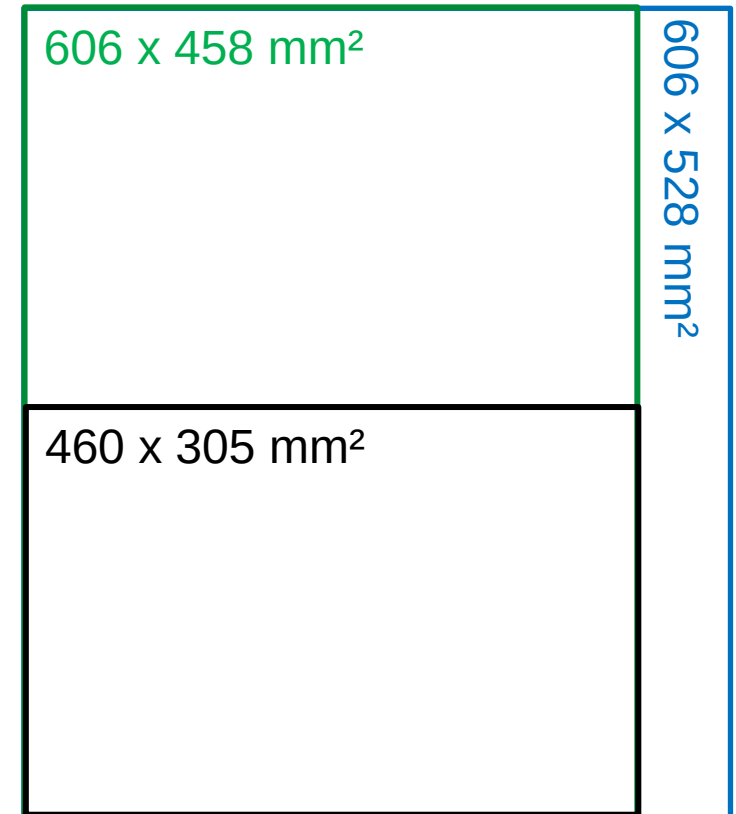
Wie laste ich den Fertigungsnutzen ideal aus?

Wie ist der Fertigungsnutzen ausgelastet?

Hintergrundwissen:

- PCB-Materialien werden in großen Tafeln gefertigt
Für EU und USA werden zu 90% diese Tafel-Formate verwendet:
 - US-Format: 1.225 x 925 mm²
 - Uni-Format: 1.225 x 1.070 mm²
- 95% der Leiterplattenfertiger in EU & US arbeiten daher mit diesen Formaten:

■ 460 x 305 mm ²	(1/8 US-Format)	WE Musterformat
■ 606 x 458 mm ²	(1/4 US-Format)	WE Standardformat
■ 606 x 528 mm ²	(1/4 Uni-Format)	WE Jumboformat



DIE NUTZENAUSLEGUNG

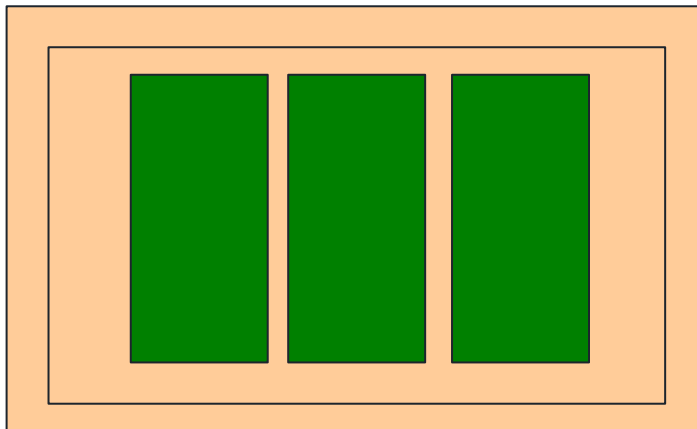
Wie laste ich den Fertigungsnutzen ideal aus?

Wie ist der Fertigungsnutzen ausgelastet?

- Jeder LP–Hersteller benötigt einen Registrierungs- und Beschriftungsrand → Nicht nutzbare Fläche!

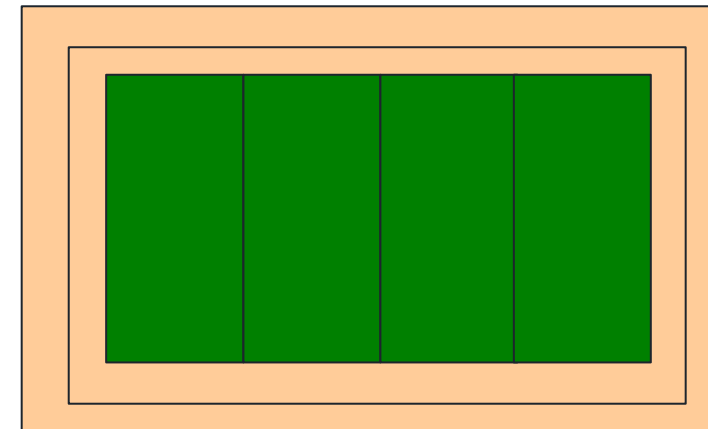
Beispiel: Einzelleiterplatten

Fräsen



oder

Kerbfräsen



In diesem Beispiel: 33% mehr Leiterplatten auf dem Fertigungsnutzen

DIE NUTZENAUSLEGUNG

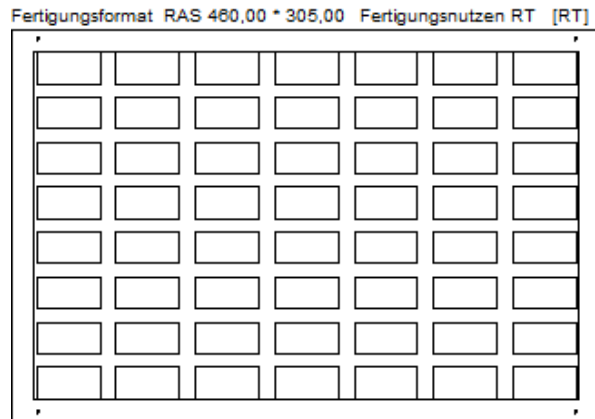
Wie laste ich den Fertigungsnutzen ideal aus?

Wie ist der Fertigungsnutzen ausgelastet?

- Jeder LP–Hersteller benötigt einen Registrierungs- und Beschriftungsrand → Nicht nutzbare Fläche!

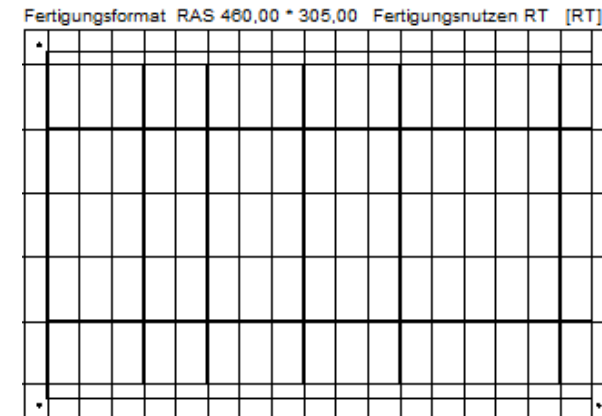
Beispiel: Einzelleiterplatten – Je kleiner die PCB, desto grösser die Auswirkung!

Fräsen



oder

Kerbfräsen



In diesem Beispiel: 56 LPs vs. 85 LPs

DIE NUTZENAUSLEGUNG

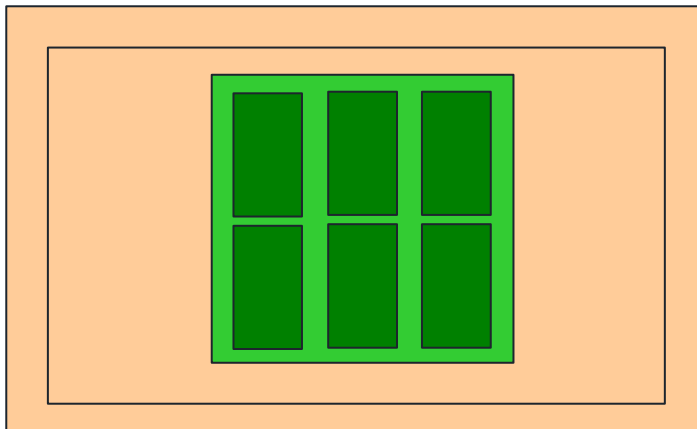
Wie laste ich den Fertigungsnutzen ideal aus?

Wie ist der Fertigungsnutzen ausgelastet?

- Jeder LP–Hersteller benötigt einen Registrierungs- und Beschriftungsrand → Nicht nutzbare Fläche!

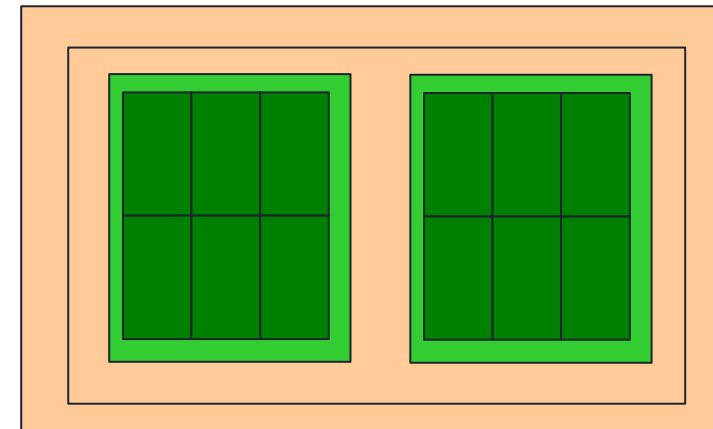
Beispiel: Leiterplatten im Bestücknutzen

Fräsen



oder

Kerbfräsen



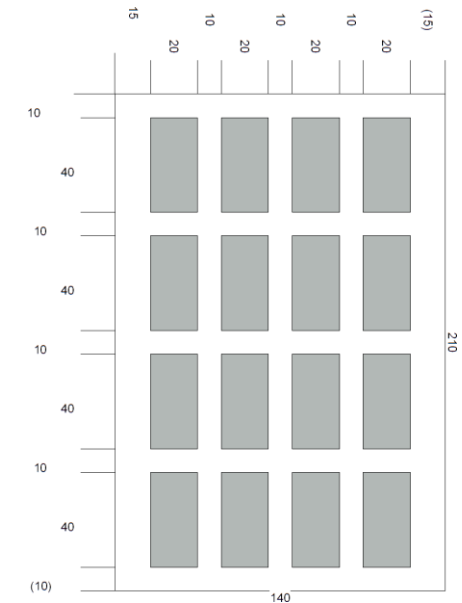
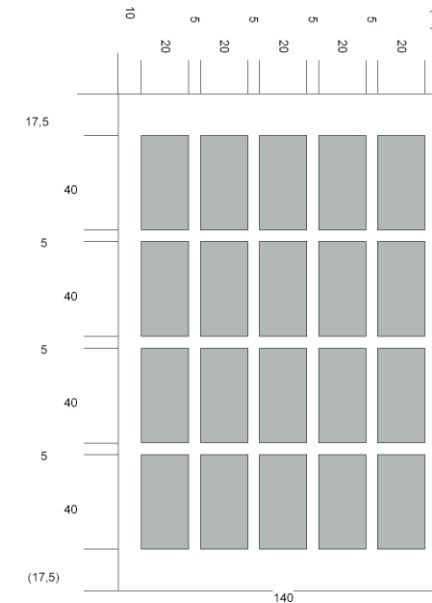
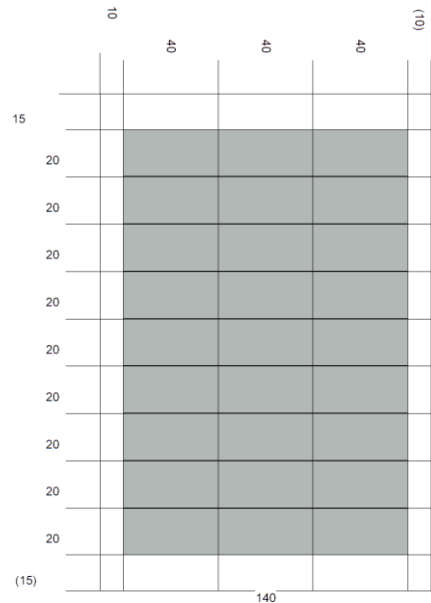
In diesem Beispiel: 100% mehr Leiterplatten auf dem Fertigungsnutzen

DIE NUTZENAUSLEGUNG

Wie laste ich den Fertigungsnutzen ideal aus?

Berechnungsgrundlage:

- ML6 / Basismaterial T_g 150
- PCB 20 x 40 mm²
- Liefernutzen 210 x 140 mm²
- 100 µm L/S
- 500 Bohrungen
- 0,20 mm kleinster Bohr-Ø
- Chem. Ni/Au



PCB pro Fertigungsnutzen

216

160

128

Anzahl Fertigungsnutzen (1.000 PCBs bestellt)

5

7

8

PCB pro Liefernutzen

27

20

16

PCB Kontur

gekerbt

gefräst

gefräst

PCB Abstand im Liefernutzen

0,00 mm

5,00 mm

10,00 mm

Preisindikator

100%

117%

131%

DIE NUTZENAUSLEGUNG

Wie laste ich den Fertigungsnutzen ideal aus?

Wie ist der Fertigungsnutzen ausgelastet?

WE-Format		Muster-Format	Standard-Format	Jumbo-Format
Technologien		Alle Technologien	Basic, Starrflex & HDI	Basic & HDI
Werk		Rot am See	Niedernhall	Schopfheim
			Schopfheim bei Sonderaufbauten	Niedernhall auf Nachfrage
Zuschnitt		460 x 305 mm ²	606 x 458 mm ²	606 x 528 mm ²
Nutzbare Fläche		426 x 271 mm ²	572 x 424 mm ²	570 x 500 mm ²
	Anzahl Liefernutzen	Abmessungen Liefernutzen		
Optimaler Liefernutzen	1	426 x 271 mm ²	572 x 424 mm ²	570 x 500 mm ²
für	2	271 x 213 mm ²	424 x 286 mm ²	500 x 285 mm ²
geritzte Konturen	4	213 x 135 mm ²	286 x 212 mm ²	285 x 250 mm ²
	6	142 x 135 mm ²	212 x 190 mm ²	250 x 190 mm ²
	8	135 x 106 mm ²	212 x 143 mm ²	250 x 142 mm ²
	9	142 x 90 mm ²	190 x 141 mm ²	190 x 166 mm ²
	12	106 x 90 mm ²	143 x 141 mm ²	166 x 142 mm ²
	15	90 x 85 mm ²	141 x 114 mm ²	166 x 114 mm ²

Tipps:

- Nutzenrand min. 5 mm
- Nutzenrand 8 - 10 mm bei gefräster LP-Kontur
- 2 Nutzenränder mit 5 – 10 mm bei geritzter LP-Kontur
- Nutzengröße sollte an LP-Dicke angelehnt werden (je dünner desto kleiner)

AGENDA

Wie beeinflusst Ihr Leiterplattenlayout die Kosten in der Leiterplattenfertigung?

1. Leiterplattengröße und Nutzenauslegung
2. Kupferpreisentwicklung und Materialwahl
3. Lagenaufbauten
4. Mechanische Bearbeitung
5. Erweiterte Technologien
6. Weitere Tipps & Tricks
7. Zusammenfassung

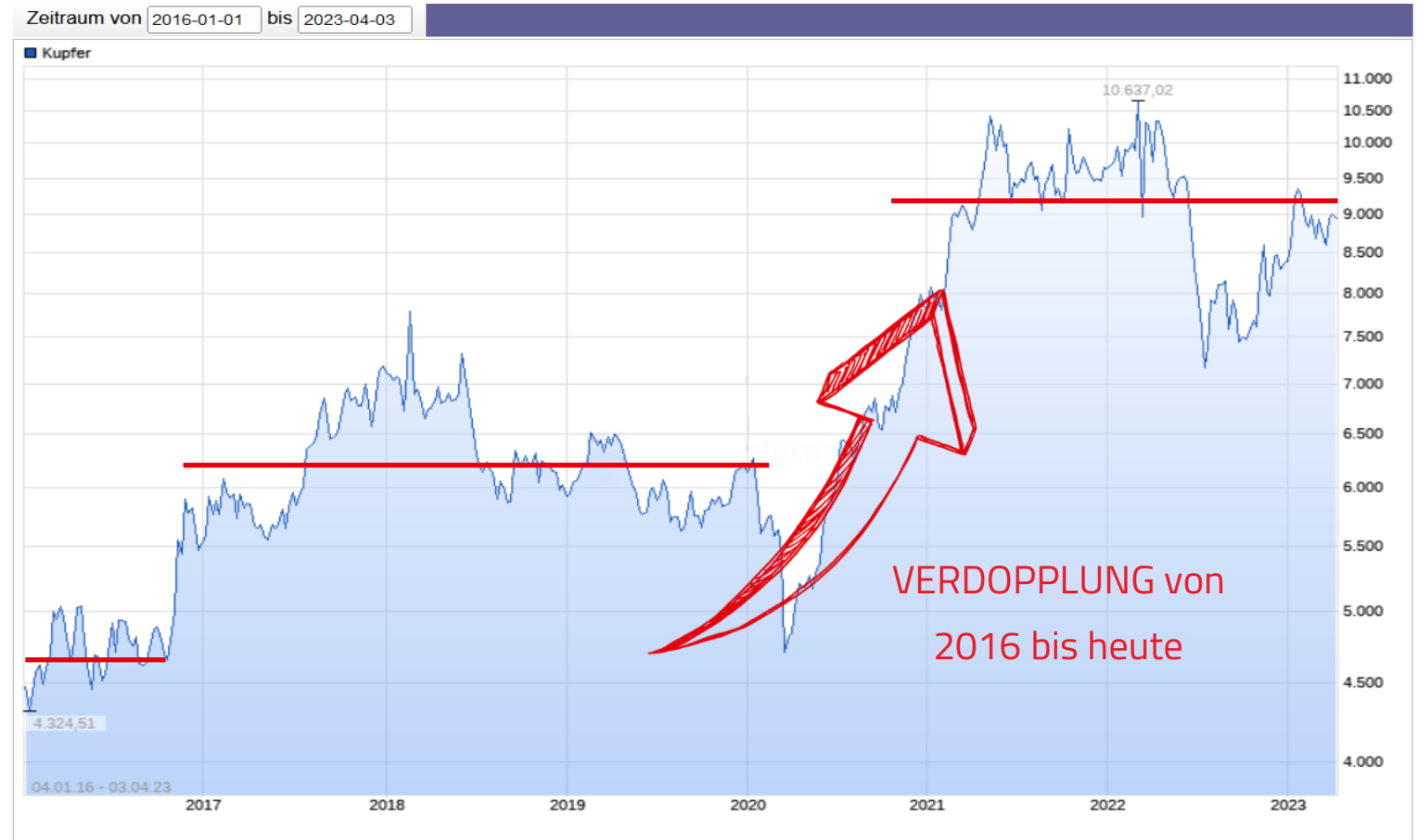
ENTWICKLUNG KUPFERPREIS

Rolle des Materialpreises beim Leiterplattenpreis

Kupferpreis

Entwicklung an der
Rohstoffbörse in London

Zeitraum:
Jan. 2016
bis
April 2023

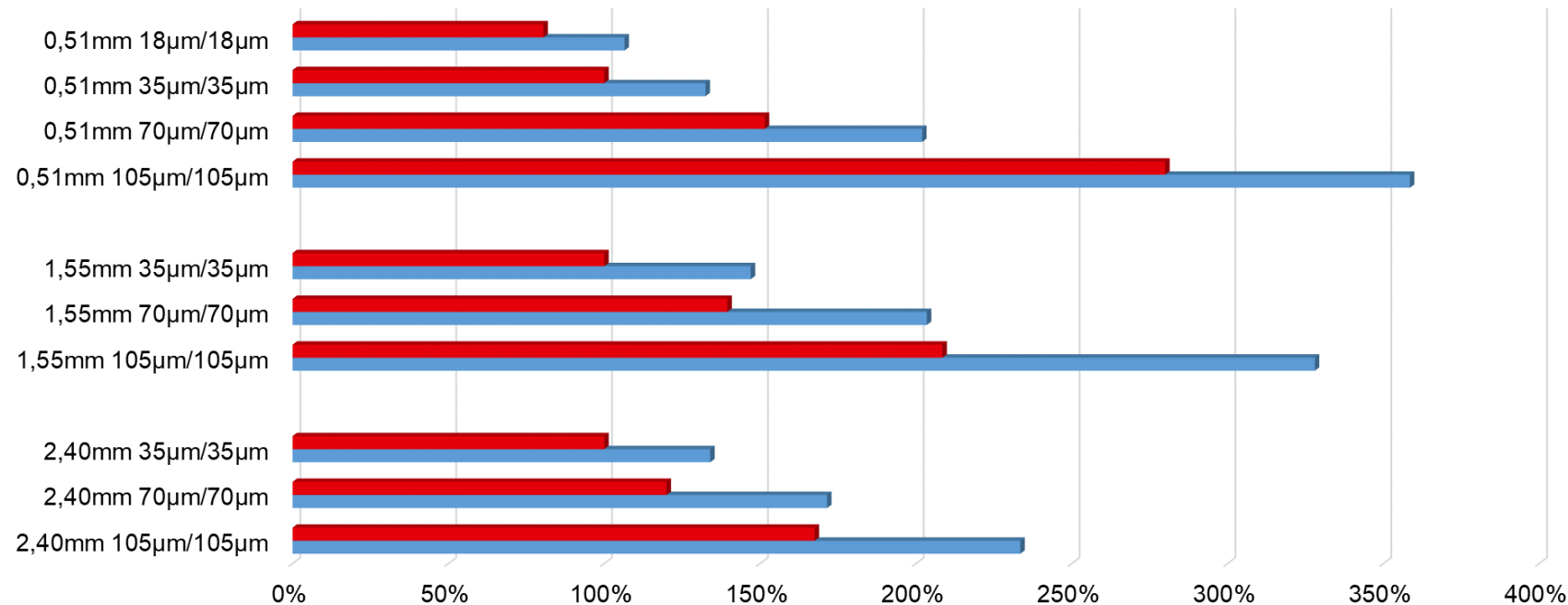


Quelle: <http://www.boerse.de> – Daten abgerufen am 03.04.2023

ENTWICKLUNG KUPFERPREIS

Rolle des Materialpreises beim Leiterplattenpreis

Vergleich Materialpreise Einkauf FR4 (Stand 09.07.2020 / Stand 03.04.2023)



Vergleich pro Material
immer mit
35 µm Kupferkaschierung
als 100%-Basis

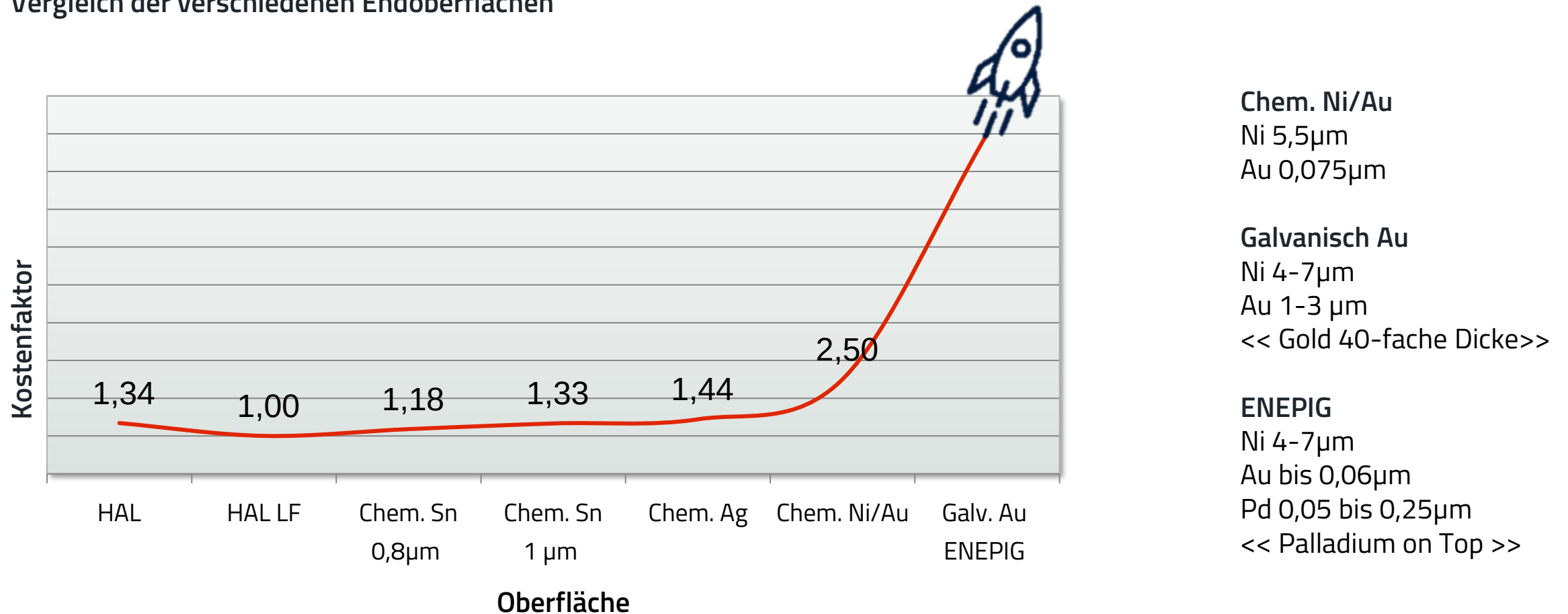
Kupfer spielt also eine wichtige Rolle im Leiterplattenpreis!

Daher die Frage: Was ist nötig, **oder** was ist möglich?

MATERIALPREISE

Rolle des Materialpreises beim Leiterplattenpreis

Vergleich der verschiedenen Endoberflächen



MATERIALPREISE

Rolle des Materialpreises beim Leiterplattenpreis

Galvanisch Gold

Einsatz von galvanisch Gold

- oft im Steckbereich als abriebfeste Oberfläche
- meist selektiv in Kombination mit chem. NiAu
- mit Schichtstärken bis zu 4 µm

Preisindikator: bis zu 500% oder mehr (je nach aktuellem Goldpreis)



Quelle: <http://www.boerse.de> – Daten abgerufen am 03.04.2020

AGENDA

Wie beeinflusst Ihr Leiterplattenlayout die Kosten in der Leiterplattenfertigung?

1. Leiterplattengröße und Nutzenauslegung
2. Kupferpreisentwicklung und Materialwahl
3. Lagenaufbauten
4. Mechanische Bearbeitung
5. Erweiterte Technologien
6. Weitere Tipps & Tricks
7. Zusammenfassung

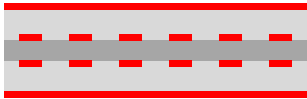
LAGENAUFBAU

Wie beeinflusst die Leiterplattenkonstruktion den Preis?

Vergleich eines 4-lagigen Multilayers mit unterschiedlichen Dicken

- Standard: 1,55 mm / 1,60 mm
- Optimum: 1,00 mm
- Weitere Standards: 0,80mm / 2,00 mm / 2,40 mm

0,50mm

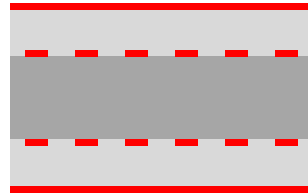


ML4_TG150_0.50_35

1x 0.10mm-035+035
4x Prepreg 1080

Preisindikator 107%

1,00mm

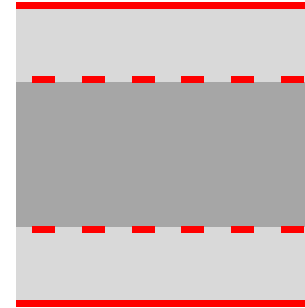


ML4_TG150_1.00_35

1x 0.41mm-035+035
4x Prepreg 2116

Preisindikator 96%

1,60mm

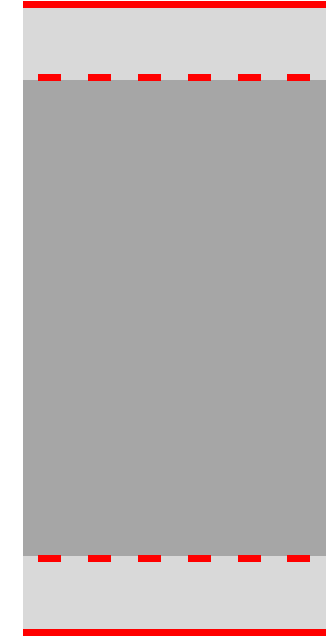


ML4_TG150_1.60_35

1x 0.71mm-035+035
4x Prepreg 7628

Preisindikator 100%

3,20mm



ML4_TG150_3.20_35

1x 2.40mm-035+035
4x Prepreg 7628

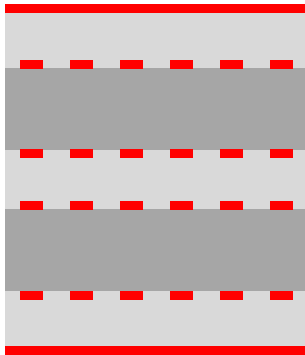
Preisindikator 137%

LAGENAUFBAU

Wie beeinflusst die Leiterplattenkonstruktion den Preis?

Vergleich eines 6-lagigen Multilayers: Standard vs. individuellem Aufbau mit 1,60 mm

Standardaufbau

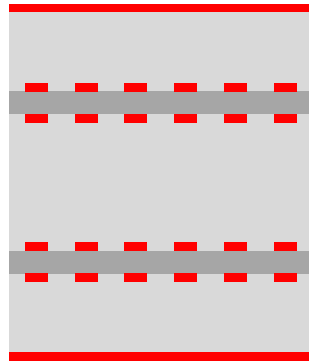


2x 0.36mm-035+035

6x Prepreg 2116

Preisindikator 100%

Spezifischer Aufbau



2x 0.10mm-035+035

2x Prepreg 2116

8x Prepreg 7628

Preisindikator 116%

Mehrkosten durch:

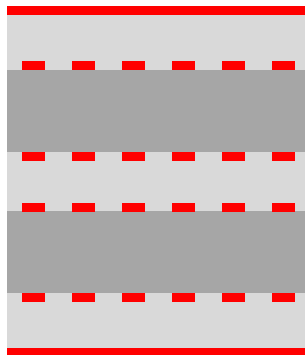
- Handling von Dünnlaminat
- 4 Prepregs mehr pro Aufbau

LAGENAUFBAU

Wie beeinflusst die Leiterplattenkonstruktion den Preis?

Vergleich eines 6-lagigen Multilayers: Standard vs. individuellem Aufbau mit 1,60 mm

Standardaufbau

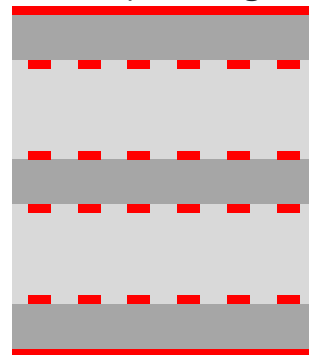


2x 0.36mm-035+035

6x Prepreg 2116

Preisindikator 100%

Kernverpressung



3x 0.20mm-035+035

4x Prepreg 2116

2x Prepreg 7628

Preisindikator 122%

Mehrkosten durch:

- Mehrfachbelichtung der äußeren Kerne (Ablauf quasi wie eine 8-lagige LP)
- Mehr Kerne

Weitere Kostentreiber

- Füllkerne im Aufbau

AGENDA

Wie beeinflusst Ihr Leiterplattenlayout die Kosten in der Leiterplattenfertigung?

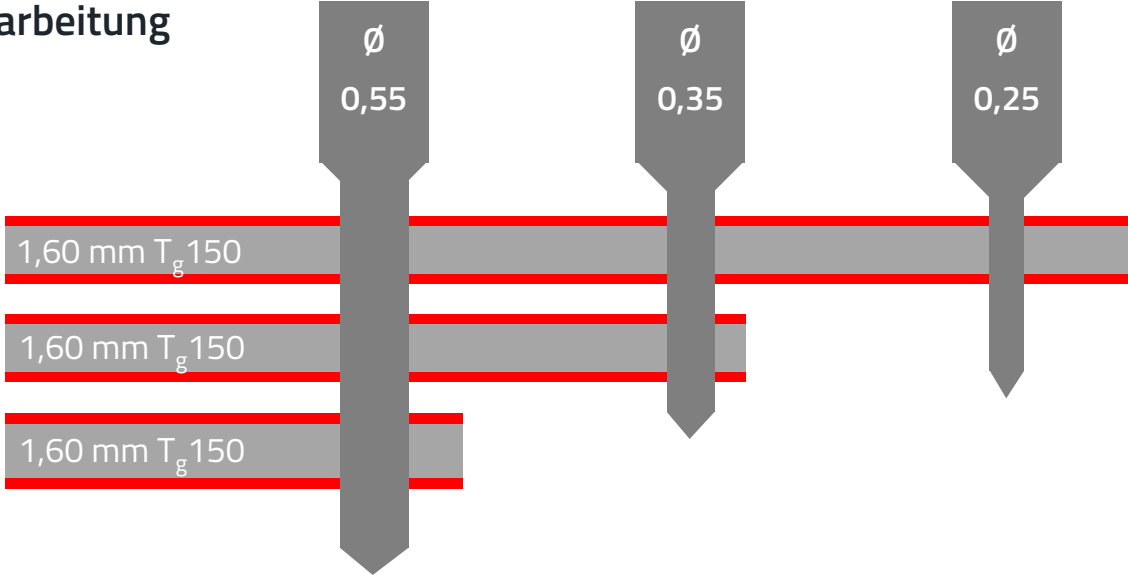
1. Leiterplattengröße und Nutzensauslegung
2. Kupferpreisentwicklung und Materialwahl
3. Lagenaufbauten
4. Mechanische Bearbeitung
5. Erweiterte Technologien
6. Weitere Tipps & Tricks
7. Zusammenfassung

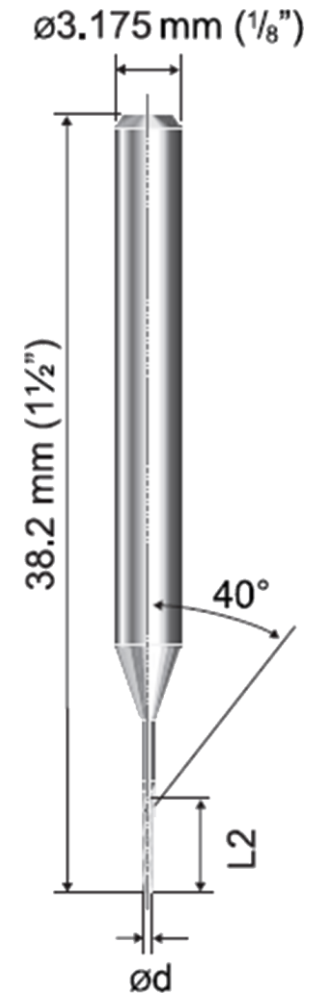
MECHANISCHE BEARBEITUNG

Welchen Einfluss hat der Bohr-Ø auf die Leiterplattenkosten?

Paketierung in der mechanischen Bearbeitung

am Beispiel „Bohren“

	Ø 0,55	Ø 0,35	Ø 0,25
			
Standzeit Paketierung	1.250 Hübe 3er Pack	1.000 Hübe 2er Pack	500 Hübe 1er Pack
Bohrdauer für 15.000 fertigen Vias	0,2 h	0,4 h	0,8 h
Benötigte Bohrer für 15.000 fertigen Vias	4	7,5	30
Preisindikator nur Bohrprozess	100%	200%	460%



MECHANISCHE BEARBEITUNG

Welchen Einfluss hat der Bohr-Ø auf die Leiterplattenkosten?

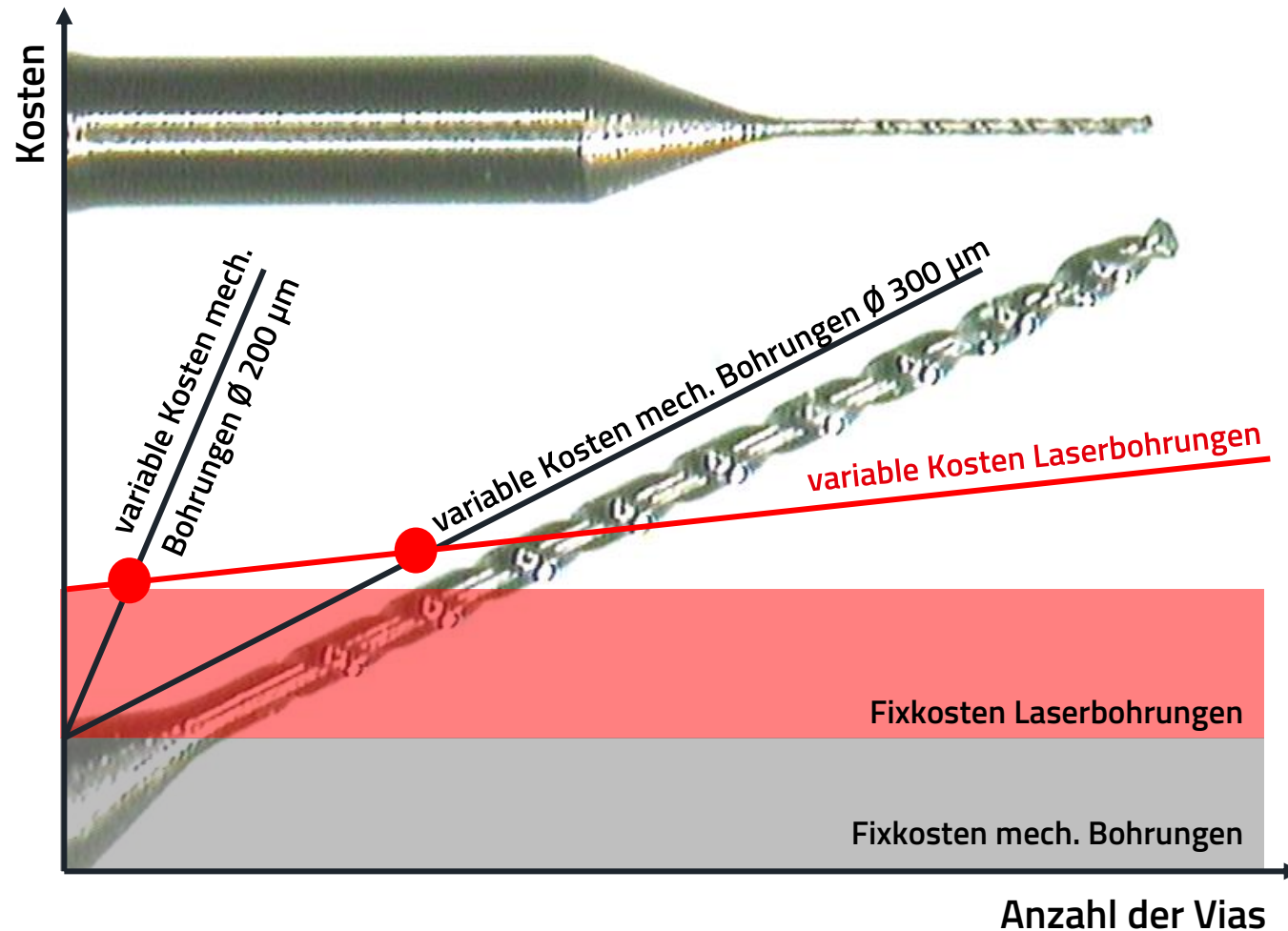
Zum Vergleich:

Ø 0,5 mm, Ø 0,35 mm und Ø 0,25 mm Bohrer auf 5 mm x 5 mm kariertem Papier



MECHANISCHE BEARBEITUNG

Welchen Einfluss hat der Bohr-Ø auf die Leiterplattenkosten?



Ø 0,2 mm (0,55 € pro Bit)

Lebensdauer: 750 Hübe

Bohrfrequenz: 3 / s

Ø 0,3 mm (0,50 € pro Bit)

Lebensdauer: 1.000 Hübe

Bohrfrequenz: max. 8 / s

Microvia

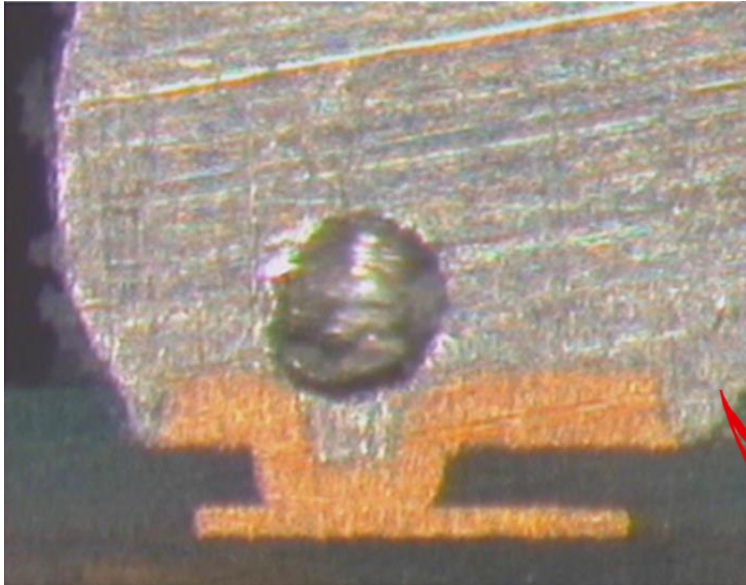
Ø 0,125 mm

Bohrfrequenz: 150–180 / s

MECHANISCHE BEARBEITUNG

Kupfer- bzw. harzgefüllte Microvias

Microvias füllen oder nicht? Das ist hier die Frage!



Jeder Anwender muss für sich definieren, wie gefertigt wird!

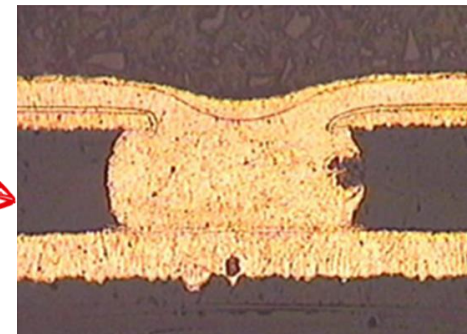


füllen

IPC-7095C – Tabelle A-3 – Klasse III:
Max. „22% of the image diameter“

Die Entstehung von Voids ist u.a. abhängig von:

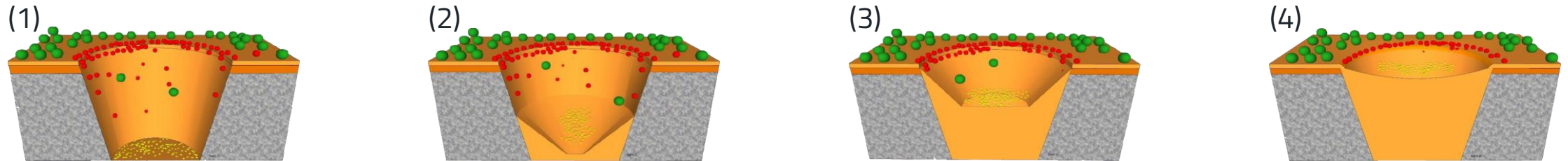
- Flussmittel / Lotpaste
- Temperaturprofil des Lötprozesses
- Gleichmäßige Er- bzw. Durchwärmung der Leiterplatte



MECHANISCHE BEARBEITUNG

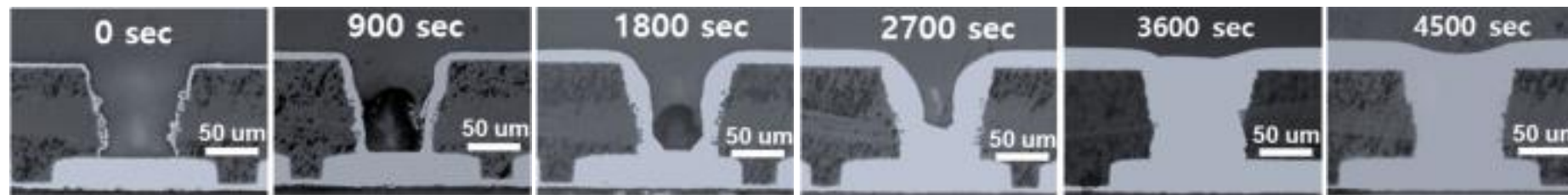
Microvias füllen oder nicht? Das ist hier die Frage!

Ablauf Cu-Filling Prozess (Quelle/Veröffentlichung: MacDermid Enthone Electronic Solutions / 2018)



- Wetter/Suppressor Moleküle belegen die Oberfläche und behindern ein Abscheiden von Cu
- Leveler Moleküle sammeln sich am Ort der größten Stromstärke und behindern ein Abschieden von Cu
- Brightener Glanzbildner zur Verringerung der Cu-Kristallgrößen

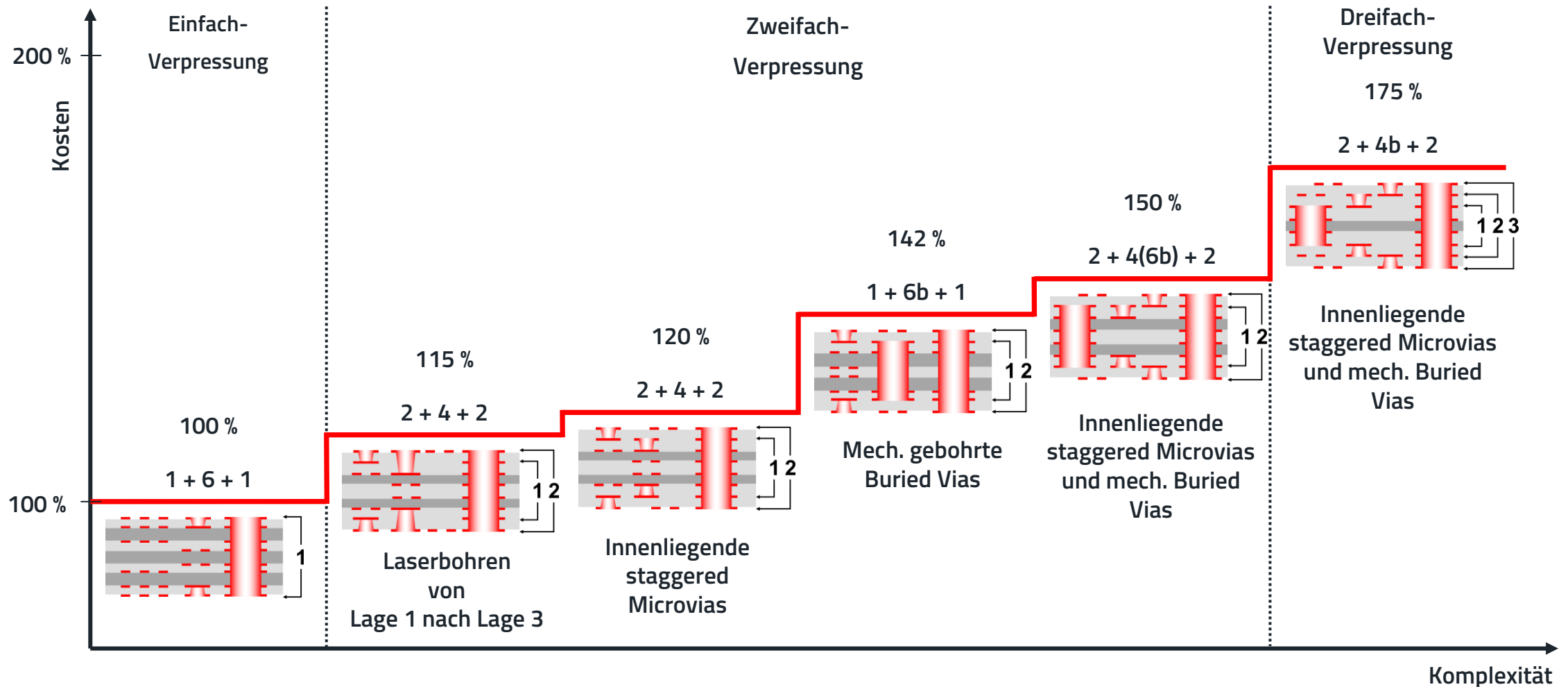
Zeitlicher Ablauf (Quelle/Veröffentlichung: KAIST / 2019)



Prozessdauer
Faktor 2-3
länger
im Vergleich
zu Standard

MECHANISCHE BEARBEITUNG

Welchen Einfluss hat der HDI-Lagenaufbau?

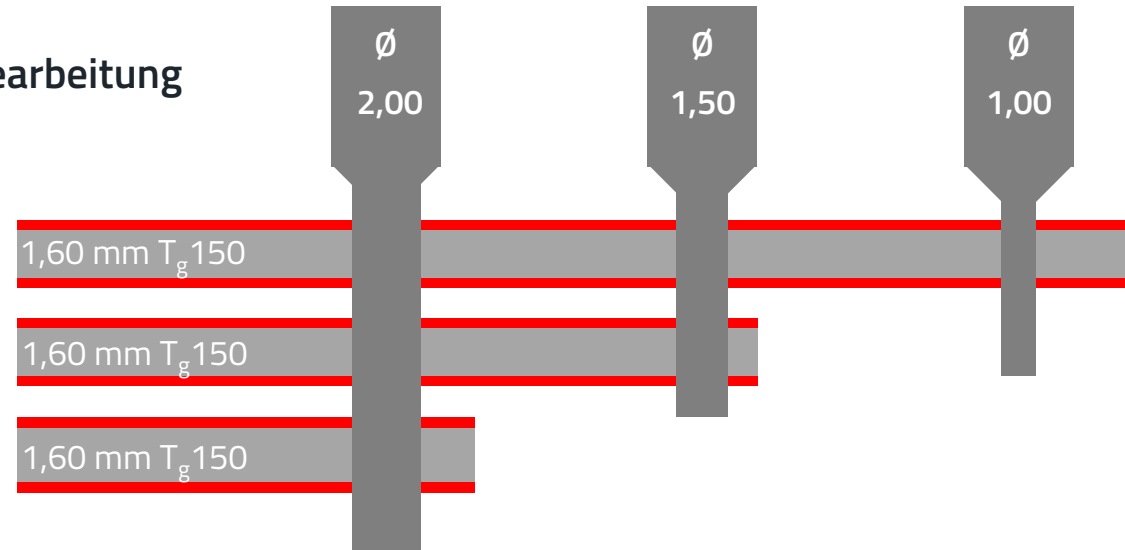


MECHANISCHE BEARBEITUNG

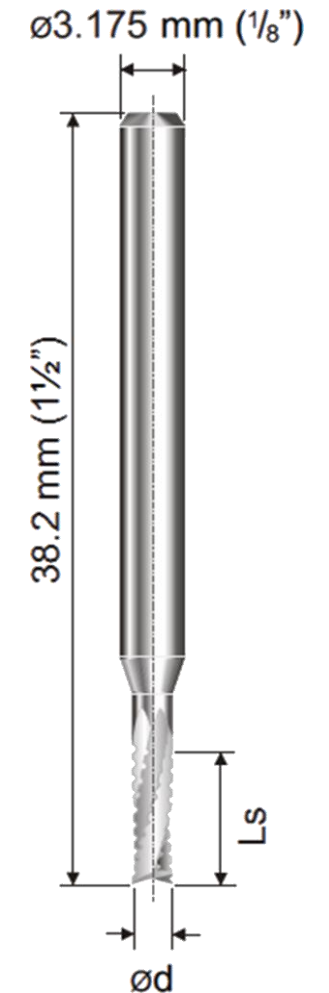
Welchen Einfluss hat der Fräs-Ø auf die Leiterplattenkosten?

Paketierung in der mechanischen Bearbeitung

am Beispiel „Fräsen“



Standzeit Paketierung	15 m 3er Pack	5 m 2er Pack	3 m 1er Pack
Fräser je 100 PCBs bei 0,5m Umfang/PCBs	1,1	5	16,7
Fräservorschub Dauer für 100 PCBs mit 0,5m Umfang/PCB	1,2 m/min 0,2 h	0,7 m/min 0,6 h	0,3 m/min 2,8 h
Preisindikator nur Fräsprozess	100%	270%	1200%

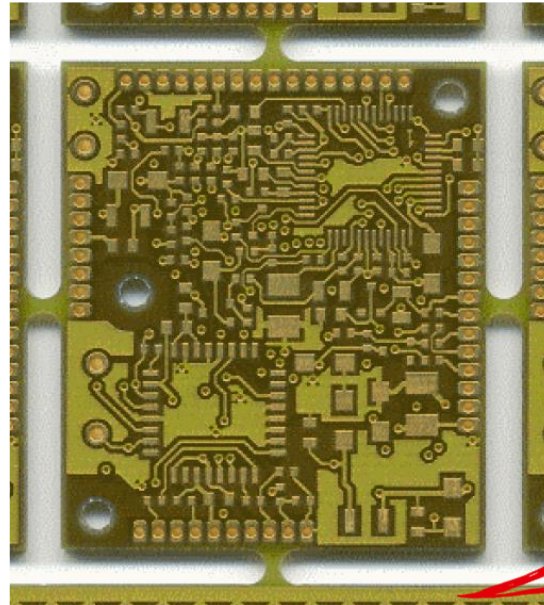


MECHANISCHE BEARBEITUNG

Was hat noch Einfluss auf den Leiterplattenpreis?

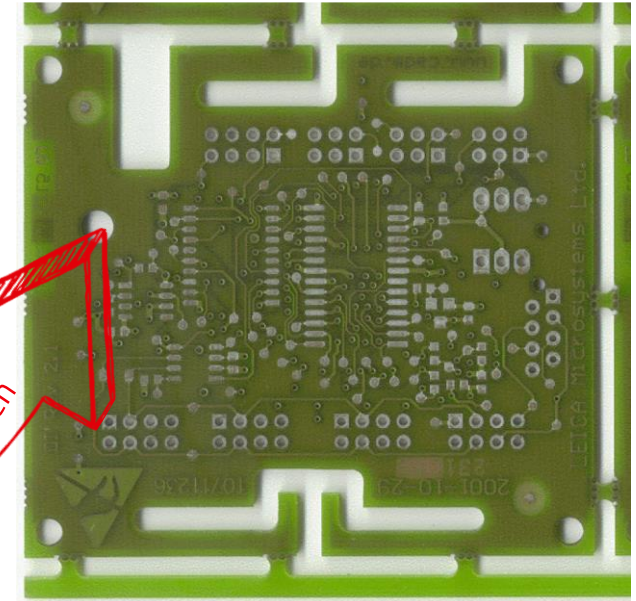
Fräskonturen

Aufwändige Fräskonturen können die Fräswege verlängern und den Fräserdurchmesser negative beeinflussen



Standard Fräskontur

- 4x Richtungswechsel
- Fräserdurchmesser 2,4 mm



Aufwändige Fräskontur

- ca. 30x Richtungswechsel
- hohe Fräszeit
- Fräserdurchmesser 1,8 mm

AGENDA

Wie beeinflusst Ihr Leiterplattenlayout die Kosten in der Leiterplattenfertigung?

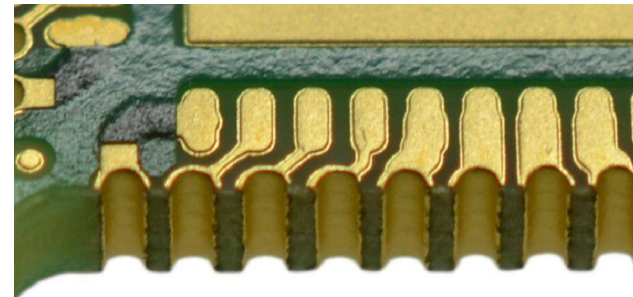
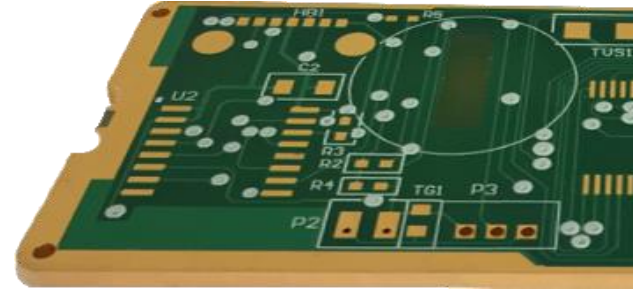
1. Leiterplattengröße und Nutzenauslegung
2. Kupferpreisentwicklung und Materialwahl
3. Lagenaufbauten
4. Mechanische Bearbeitung
5. Erweiterte Technologien
6. Weitere Tipps & Tricks
7. Zusammenfassung

ERWEITERTE TECHNOLOGIEN

Was hat noch Einfluss auf den Leiterplattenpreis?

Weitere Kostentreiber!

- Leiterplattendicke/Lagenanzahl
→ nicht nur relevant beim Bohren & Fräsen...
- Anzahl Verpressungen
- Kantenmetallisierung
- Halboffene DK-Bohrungen („Briefmarken-Design“, Castellations)

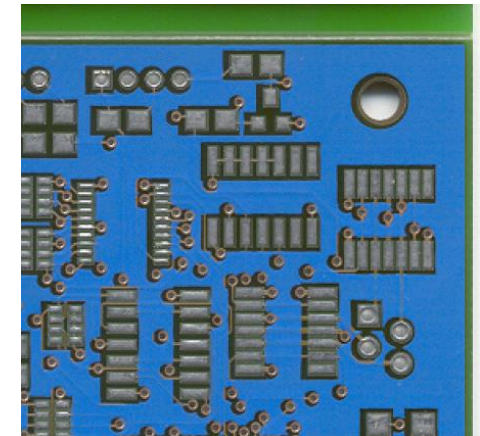
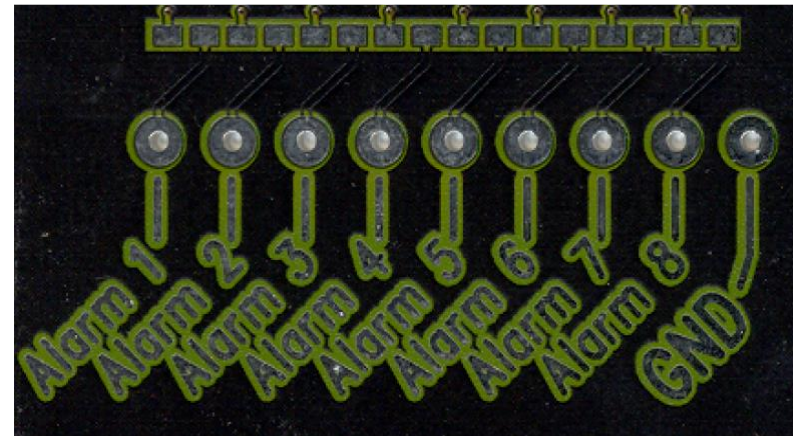
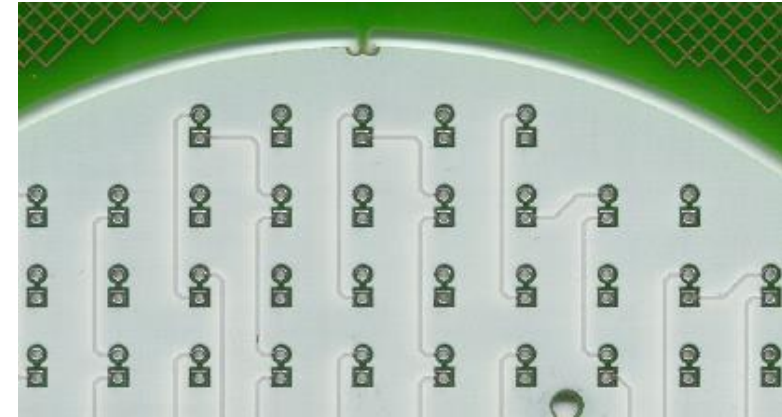


ERWEITERTE TECHNOLOGIEN

Was hat noch Einfluss auf den Leiterplattenpreis?

Weitere Kostentreiber!

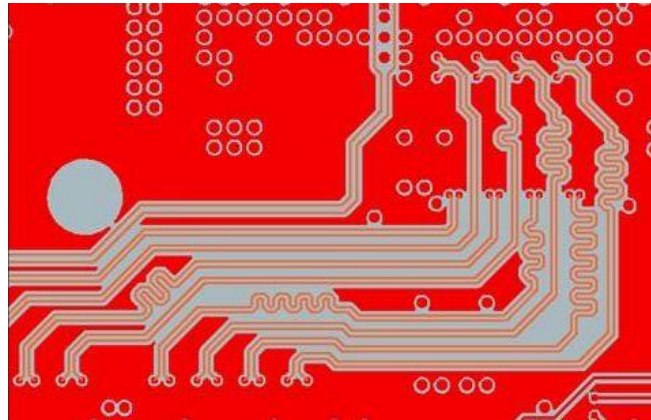
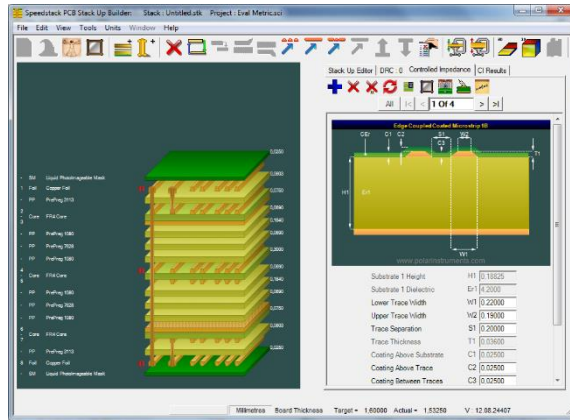
- Farbige Löstopplacke
 - Weiß / Schwarz / Rot / Blau
 - Problem: Nachfrage extrem gering
 - Tipp:
Muss es immer Lötstopp sein?
Oder reicht evtl. Kennzeichnung
durch farbigen Beschriftungsdruck
(z.B. zusätzlich rot/gelb für
Prototypen / Muster ohne Serienzulassung)
- Beschriftungsdruck
 - Wie klein muss gedruckt werden?
Gefahr: Andrucken von Pads



ERWEITERTE TECHNOLOGIEN

Was hat noch Einfluss auf den Leiterplattenpreis?

Geforderte bzw. benötigte Impedanzen



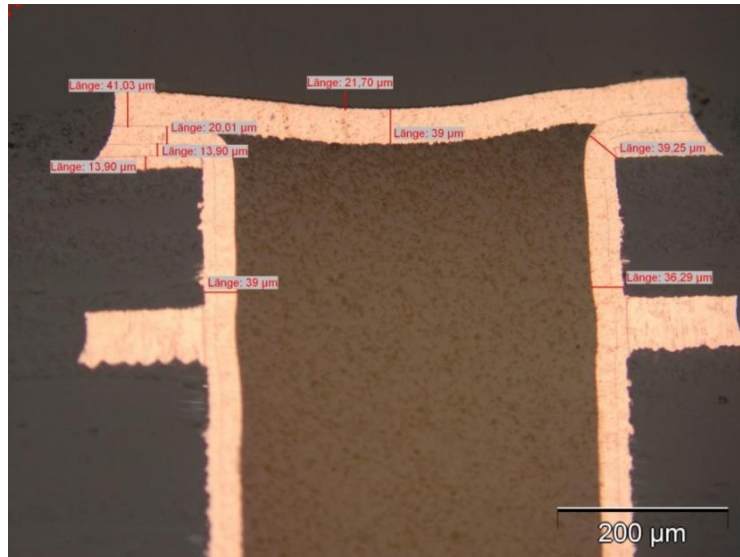
- Impedanz-gefertigte Leiterplatten
 - Berechnung Lagenaufbau und Leiterbahnen
- Impedanz-geprüfte bzw. -kontrollierte Leiterplatten
 - zusätzlich mit (mehreren) Testcoupon
 - reduzierte Anzahl PCBs je Panel

ERWEITERTE TECHNOLOGIEN

Was hat noch Einfluss auf den Leiterplattenpreis?

Filled and Capped Via (IPC 4761 – Typ VII Via)

Via mit Harz gefüllt und überkupfert!



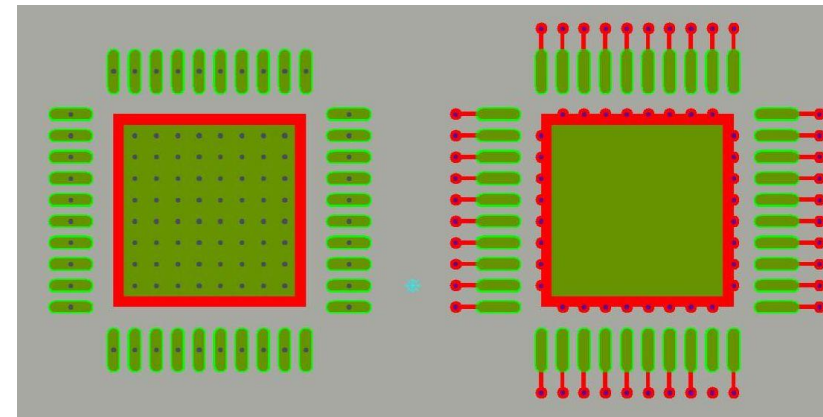
Notwendig oder mit
intelligentem Design zu vermeiden?

Einsatzfeld:

z.B. Kühlkörperflächen

Vias in Lötflächen

Vakuumdichtigkeit



ERWEITERTE TECHNOLOGIEN

Was hat noch Einfluss auf den Leiterplattenpreis?

Forderung: IPC Klasse 3

Oft wird die Forderung 25µm Kupfer in der Hülse mit der Forderung der Fertigung nach IPC Class 3 verwechselt:

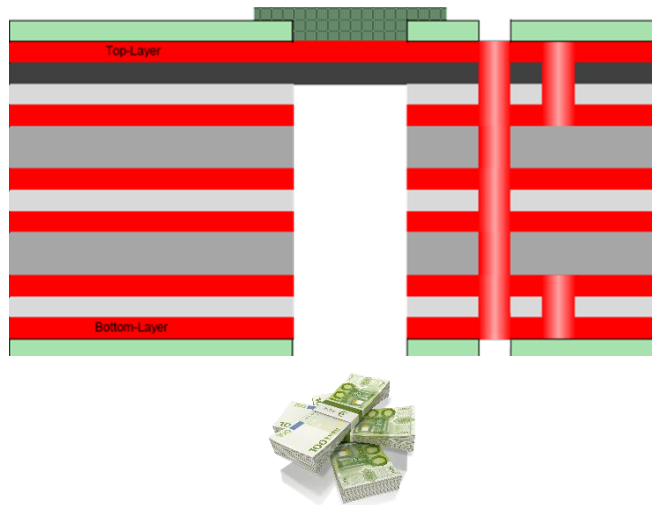
- 25µm Hülsenkupfer ist nur ein Teil der Forderung von IPC Class 3
- Strengere Prüfkriterien nach IPC Class 3 führen zu
 - einem geringerem Yield
 - Weniger Platz auf dem Produktionspanel durch mehr Coupons
 - höherem Prüfaufwand z.B. Auswertung mehrerer Coupons um die „inneren Werte“ zu überprüfen
 - Höherem Preis!



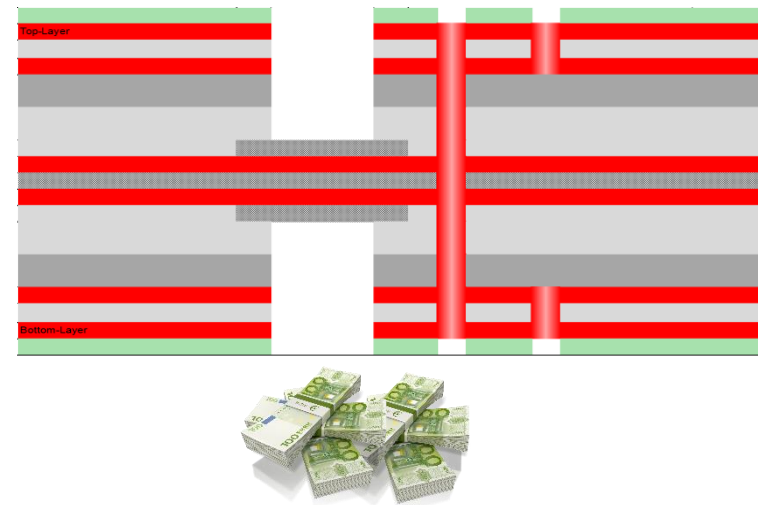
ERWEITERTE TECHNOLOGIEN

Wie sieht es mit Starrflex-Aufbauten aus?

Starrflex 1F-5Ri / HDI 1-4-1



Starrflex 2Ri-2F-2Ri / HDI 1-4-1



- Mechanischer Tiefenfräs-Aufwand einseitig vs. beidseitig
- Enorme Preisunterschiede im Flex-Material: Kupfer ein-/ beidseitig
- Siebgedruckter Flexlack günstiger als gefrästes und aufgepresstes Coverlay
- Für höhere Zuverlässigkeit bei xRi-2F-xRi: Partiell Coverlay nötig

AGENDA

Wie beeinflusst Ihr Leiterplattenlayout die Kosten in der Leiterplattenfertigung?

1. Leiterplattengröße und Nutzenauslegung
2. Kupferpreisentwicklung und Materialwahl
3. Lagenaufbauten
4. Mechanische Bearbeitung
5. Erweiterte Technologien
6. Weitere Tipps & Tricks
7. Zusammenfassung

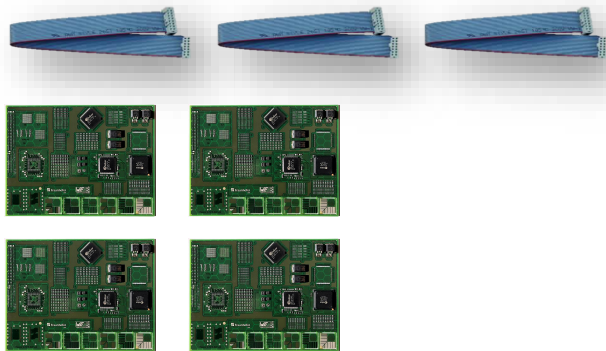
WEITERE TIPPS & TRICKS

Komplexität

Total Cost of Ownership / Systemkosten am Beispiel eines Systems mit 4 Leiterplatten

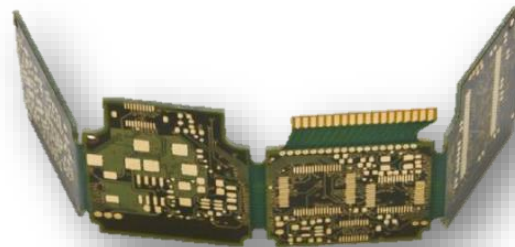
Starre PCBs mit Steckverbindungen

- 4 Layouts
- Handling von 7 Teilen
- Min. 4 Lötvorgänge
- 4 Testdurchläufe
- Logistik für 7 Teile



Starr-Flex PCB

- 1 Layout
- Handling von 1 Teil
- Min. 1 Lötvorgang
- 1 Testdurchlauf
- Logistik für 1 Teil



Profit

- Nur eine Entflechtungslogik bei den Layouts
- Keine ungleichen Stückzahlen der Teile in der Lagerhaltung
- Weniger Rüstzeiten bei der Bestückung
- Weniger Zeitaufwand im Test
- Logistik und Handling in der Komplexität vereinfacht

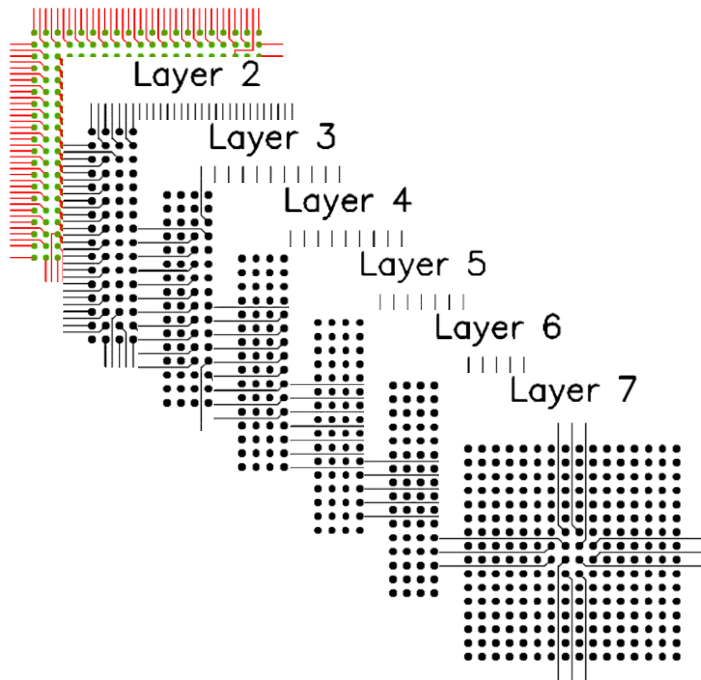
WEITERE TIPPS & TRICKS

Vorurteile abbauen!

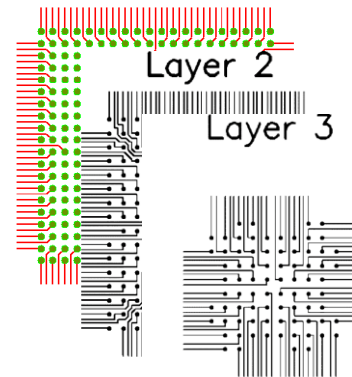
Eine HDI-Leiterplatte ist zu teuer IST das so? Faktencheck!

Fakt 1 – Entflechtung | Basis BGA mit Pitch 0,8mm / 400 Pins / 10 Reihen

- Plated Through Holes



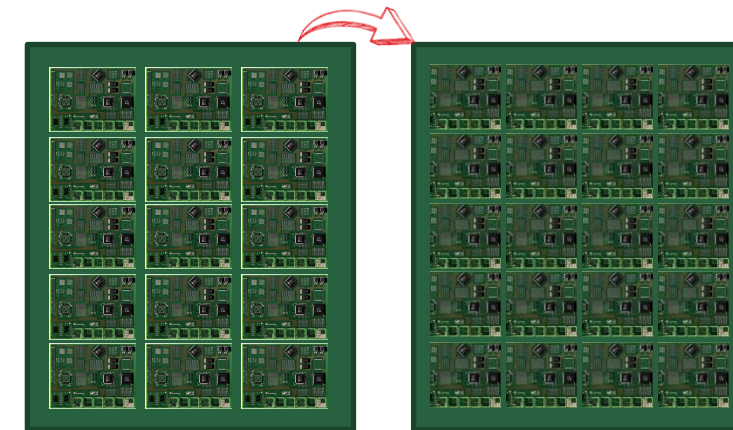
- HDI-Microvia



- Durch die Verwendung von Microvias kann die Anzahl der benötigten Fan-Out-Lagen signifikant reduziert werden

Fakt 2

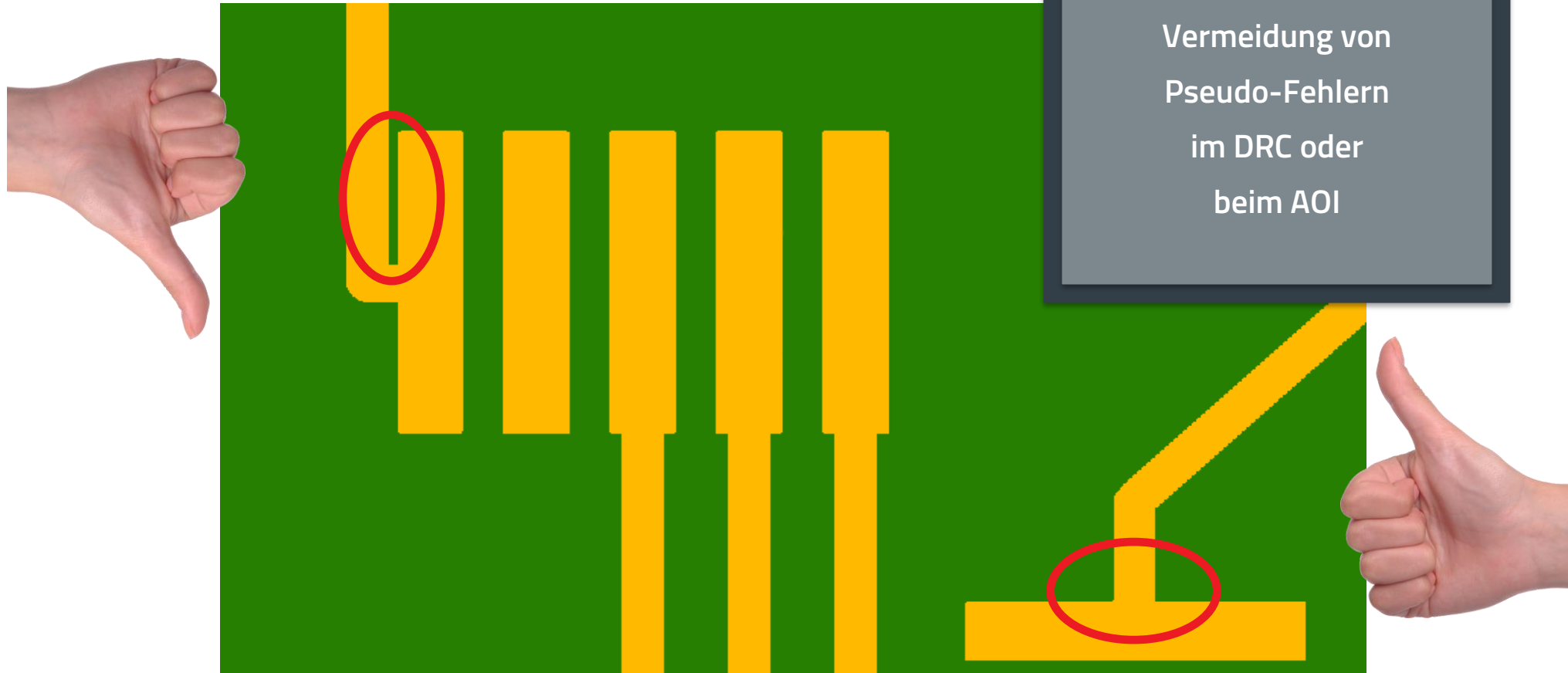
Durch Einsatz von Microvias kann zumeist die LP-Größe um 10-20% reduziert werden kann
⇒ Mehr LPs auf dem Produktionspanel



WEITERE TIPPS & TRICKS

Fehlervermeidung

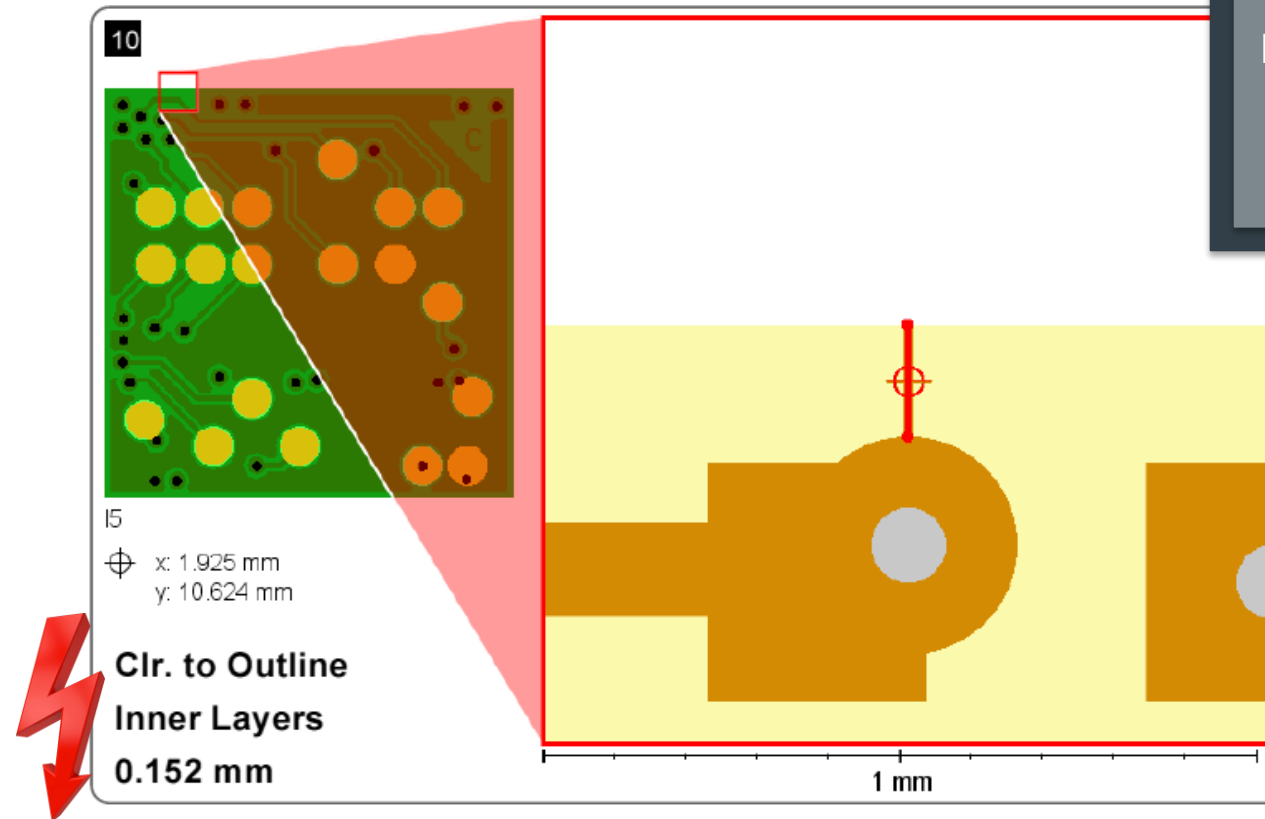
Padanschlüsse zu nahe am Pad



WEITERE TIPPS & TRICKS

Fehlervermeidung

Abstände von Flächen, Leitungen und Bohrungen inkl. Pads zum Leiterplattenrand



Design-Rules
beachten!

Nichtbeachtung führt oft zu
Nicht-Herstellbarkeit oder
zumindest hohen Kosten!

WEITERE TIPPS & TRICKS

Sonderprozesse

Sonderwunsch in der Verpackung

Fertigung

- DK-LP halbrund



- 198 LPs im Produktionspanel
- Bestellmenge: 2.600 LPs
⇒ 14 Produktionspanel

1. Verpackungseinheit

- 4 LPs übereinander



- Fixiert von Hand mit einem Klebestreifen

2. Verpackungseinheit

- 10 Pakete der 1. Verpackungseinheit



- Abmessungen Basiskarton genau spezifiziert

Resultat: 10 Stunden Verpackungsaufwand

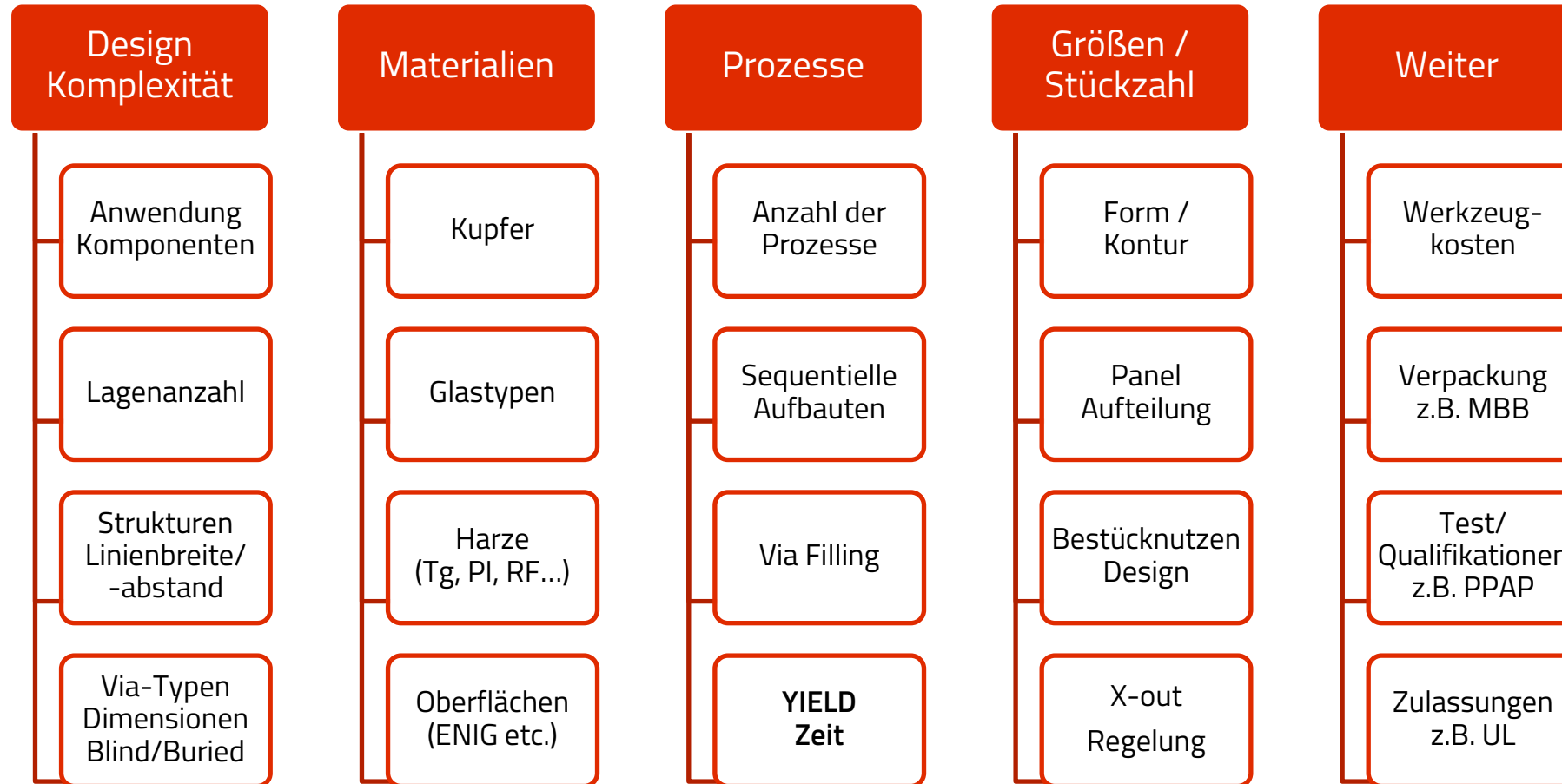
AGENDA

Wie beeinflusst Ihr Leiterplattenlayout die Kosten in der Leiterplattenfertigung?

1. Leiterplattengröße und Nutzenauslegung
2. Kupferpreisentwicklung und Materialwahl
3. Lagenaufbauten
4. Mechanische Bearbeitung
5. Erweiterte Technologien
6. Weitere Tipps & Tricks
7. Zusammenfassung

WIE BEEINFLUSST IHR LEITERPLATTENLAYOUT DIE KOSTEN IN DER LEITERPLATTENFERTIGUNG

- Dinge, die bei der Leiterplattenherstellung zu beachten sind:



VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

Welche Applikation haben Sie?
Wie kann WE Sie unterstützen?

Kontakt:

Würth Elektronik GmbH & Co. KG
Advanced Solutions Center
+49 7940 946-1234
asc@we-online.de