

Low Budget - High End

Der Weg zur kostengünstigen Leiterplatte

Jörg Surma

Kostenoptimierung war nie so wichtig wie heute

regulatorische Vorschriften, Qualitätsanforderungen

Hilfsstoffe: Aluminium, Holz, Chemie

Personalkosten Rohstoffe: Kupfer, Gold, Zinn

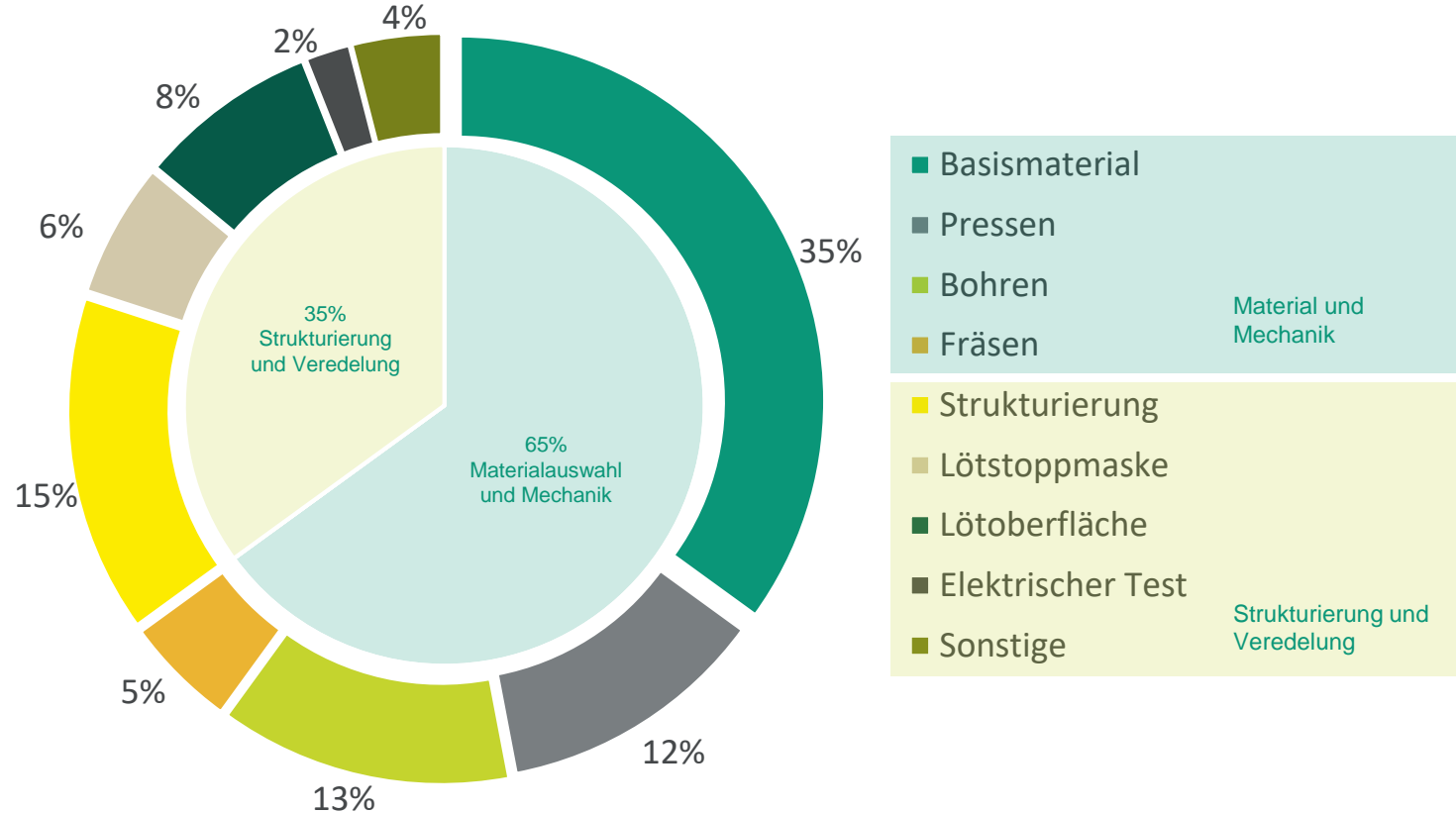
Basismaterial: Harze, Glas

Energie: Erdgas, Strom, Erdöl

Technologische Komplexität: BGA, HDI, SBU, High Speed

Geopolitik: Lieferketten, Zölle

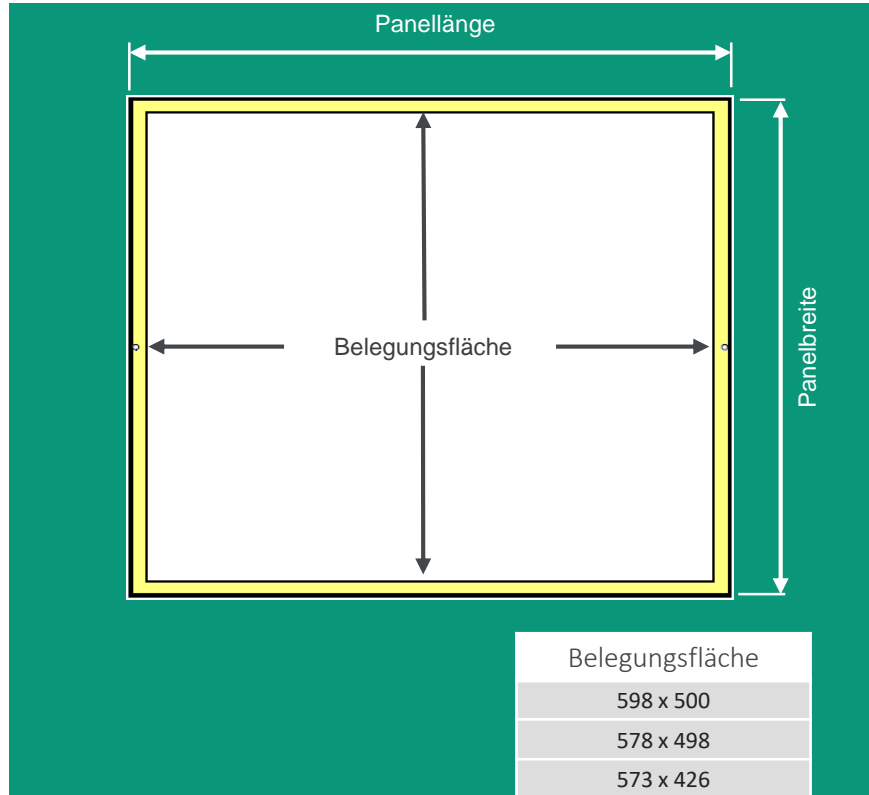
Herstellkostenverteilung



Agenda

- **Materialausnutzung**
- Optimierungen im Lagenaufbau
- Via-Verschlusstechnologien
- Bohr- und Fräsprozesse
- Lötstopmmaske und Oberfläche

Veredelter Schrott kostet Geld

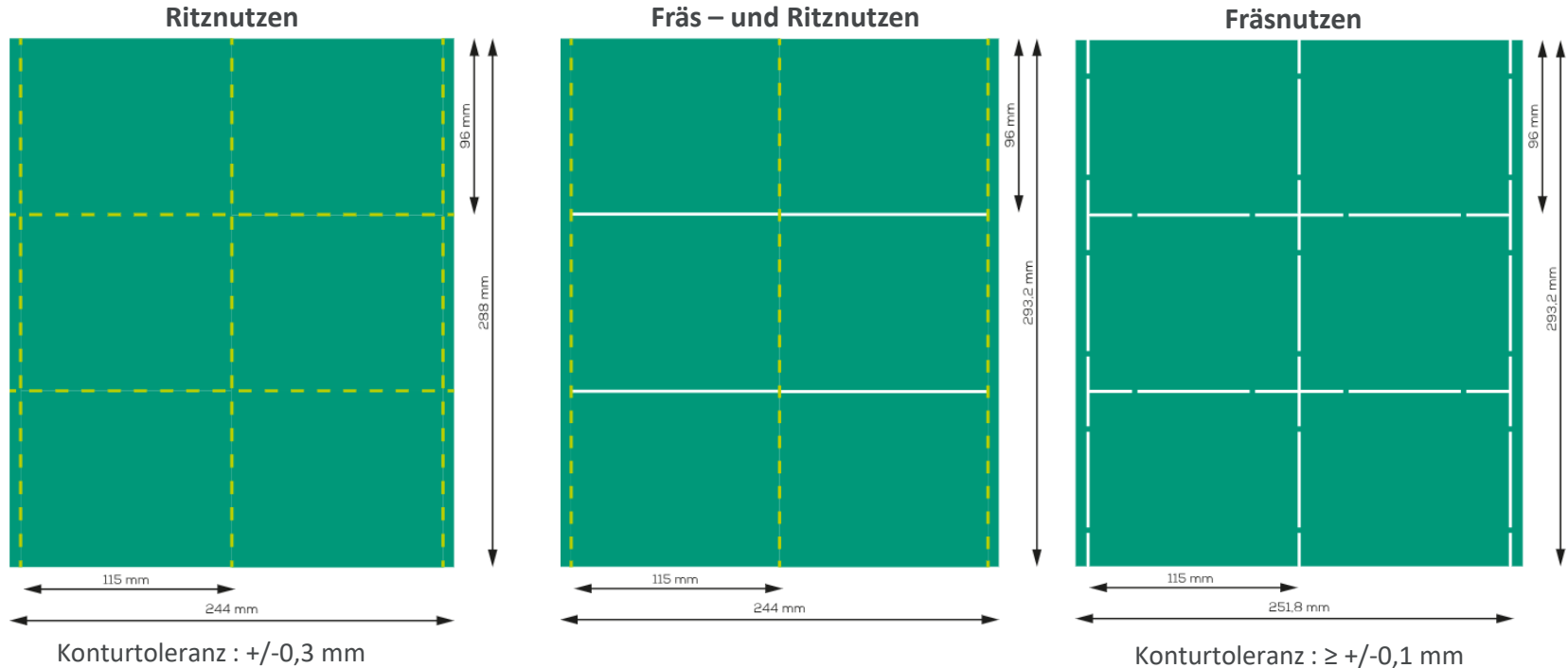


- 1 Kostenanteil Basismaterial beträgt bei ML ca. 35 % der Herstellkosten
- 2 Materialauslastung wirkt direkt auf alle Prozesskosten
- 3 maximale Materialauslastung zur Kostenminimierung anstreben

[Mehr Details dazu im Design Compass](#)

Beispiel Nutzen und Materialausnutzung

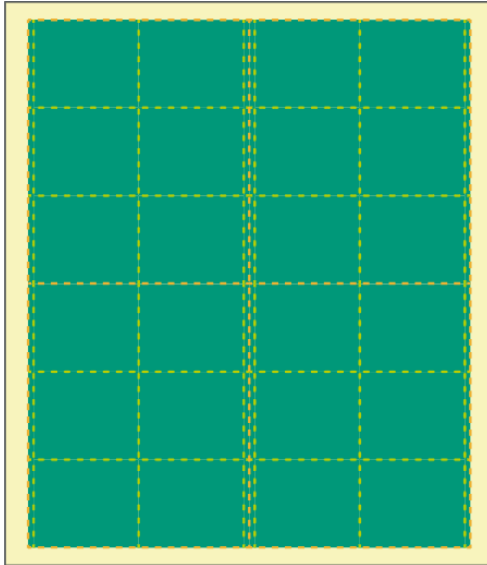
Es ist immer ratsam, sich schon zu Beginn des Leiterplattendesigns Gedanken über die minimal notwendige Leiterplattengröße bzw. minimal notwendige Größe des Mehrfachnutzens zu machen. Einzelne Millimeter von der Größe der Leiterplatte bzw. von der Größe des Mehrfachnutzens entscheiden manchmal über die optimale Materialausnutzung im Produktionsformat (**Design to Cost**).



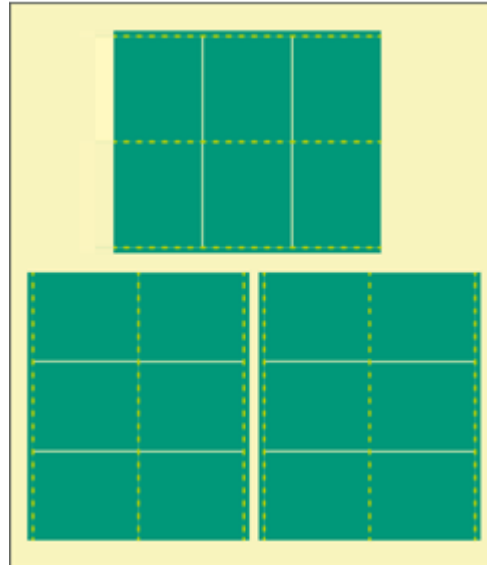
Beispiel Nutzen und Materialausnutzung

Materialausnutzung im Produktionsformat

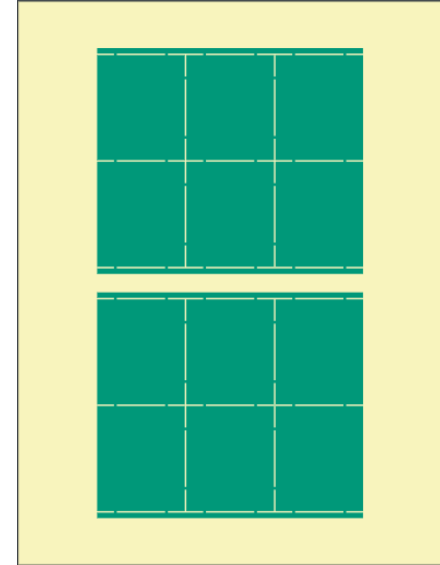
Ritznutzen (87%)



Fräs – und Ritznutzen (66%)



Fräsnutzen (51%)



Die Materialausnutzung im Produktionsformat ist ein sehr entscheidender Kostenfaktor (**Design to Cost**) und natürlich auch ein **Umweltaspekt!**

Weniger ist mehr. Aber auch mehr ist mehr.

1

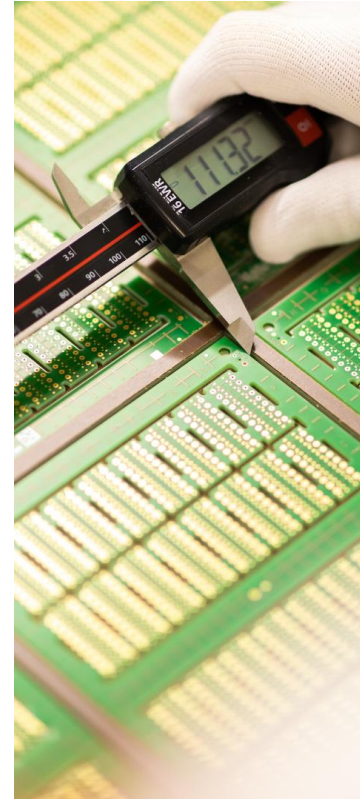
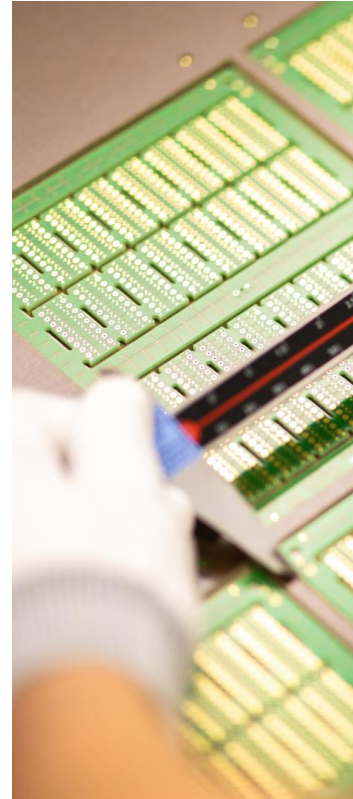
(Kontur)Toleranzen nur so eng wie unbedingt notwendig

2


Auf Einzelteilvergaben oder minimale Einschränkungen zur Nutzengestaltung beschränken (Konturtreue, Kantenqualität, Stabilität)

3

Freiheitsgrade bieten Spielraum für Optimierungen

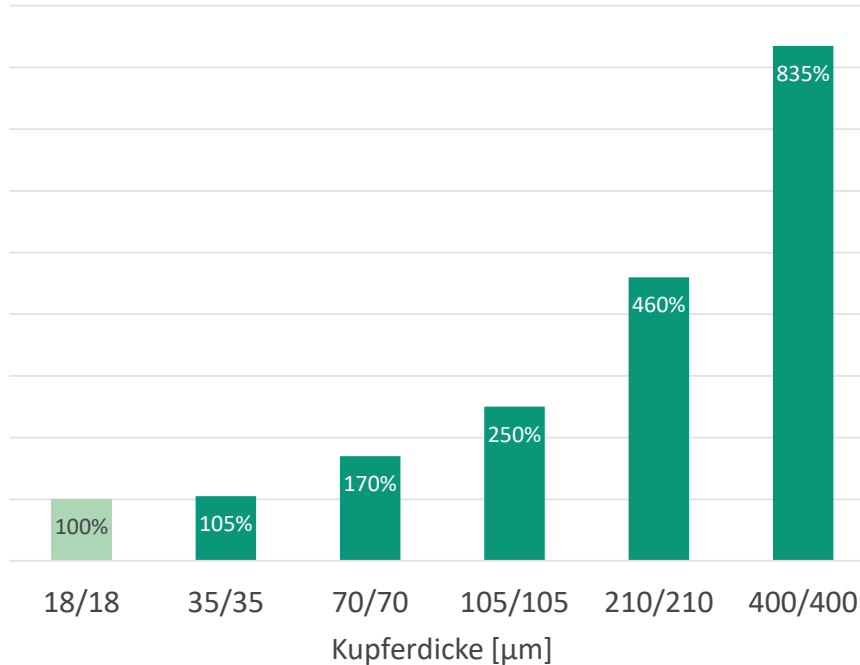


Agenda

- 
- Materialausnutzung
 - Optimierungen im Lagenaufbau**
 - Via-Verschlusstechnologien
 - Bohr- und Fräsprozesse
 - Lötstopmmaske und Oberfläche

Viel hilft viel. Kostet aber auch.

Materialkosten Innenlagenkupfer



1

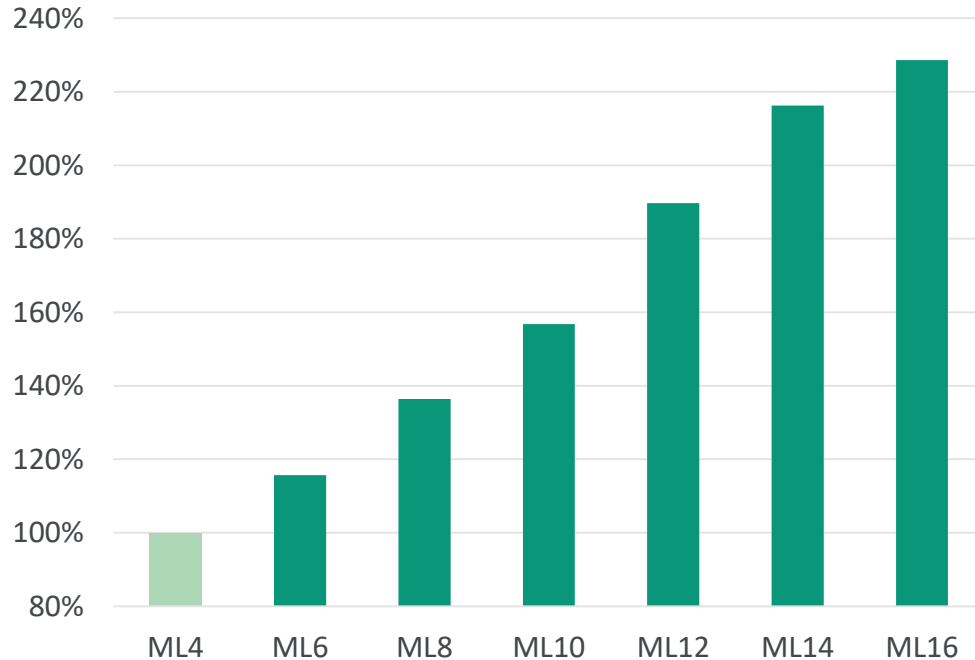
Kupferpreisentwicklung der letzten Jahre hat sich drastisch verschärft

2

Kupfer-Schichtdickenforderungen überprüfen: Was ist technisch wirklich notwendig?

- $\geq 35 \mu\text{m}$ für Versorgungslagen, Stromtragfähigkeit, Entwärmung
- 18/35 μm für Signallagen
 - weniger zu verfüllen
 - weniger Prepreg
 - dünnerer Aufbau möglich
 - bessere Abbildung von engsten Strukturbreiten und -abständen

Kostenvergleich Lagenanzahl



1

Kostensteigerung ca. 15% pro zusätzlichem Lagenpaar

2

zusätzliche Entflechtungslagen statt hochdichte Leiterführung mit Grenzdesignrules

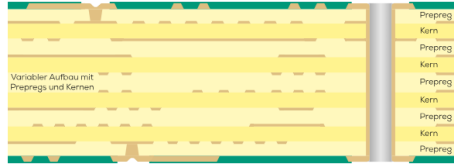
3

hochdichte Bauteile (BGA) erfordern HDI/SBU-Technologien

Typische HDI - Lagenaufbauten

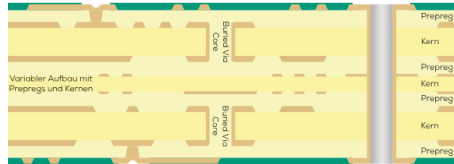
Microvia

Microvia-Bohrungen
in Kombination mit
Durchgangsbohrungen



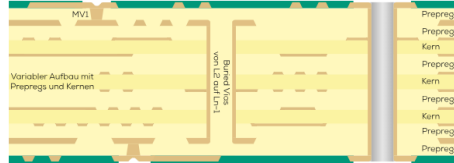
Microvia

Microvia-Bohrungen in
Kombination mit
Buried Via Cores und
Durchgangsbohrungen



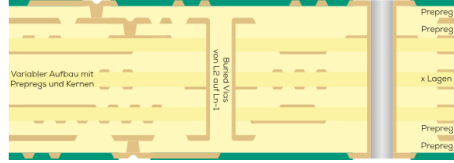
SBU 1-x-1

Microvia-Bohrungen in
Kombination mit
Buried Vias und
Durchgangsbohrungen



SBU 1-x-1

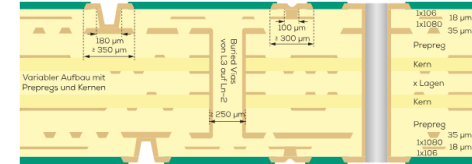
Zwei Microvia-Lagen in
Kombination mit
Buried Vias und
Durchgangsbohrungen



economic order €

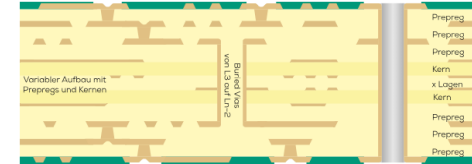
SBU 2-x-2

Microvia über 2 und 3-Lagen
Bohrungen in Kombination
mit Buried Vias und
Durchgangsbohrungen



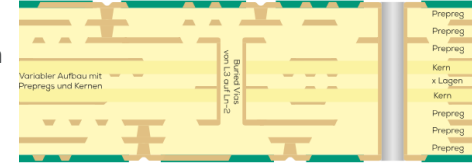
SBU 2-x-2

Staggered Microvia
Bohrungen in Kombination
mit Buried Vias und
Durchgangsbohrungen



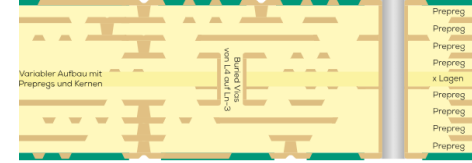
SBU 2-x-2

Stacked Microvia-Bohrungen
in Kombination mit
Buried Vias und
Durchgangsbohrungen



SBU 3-x-3

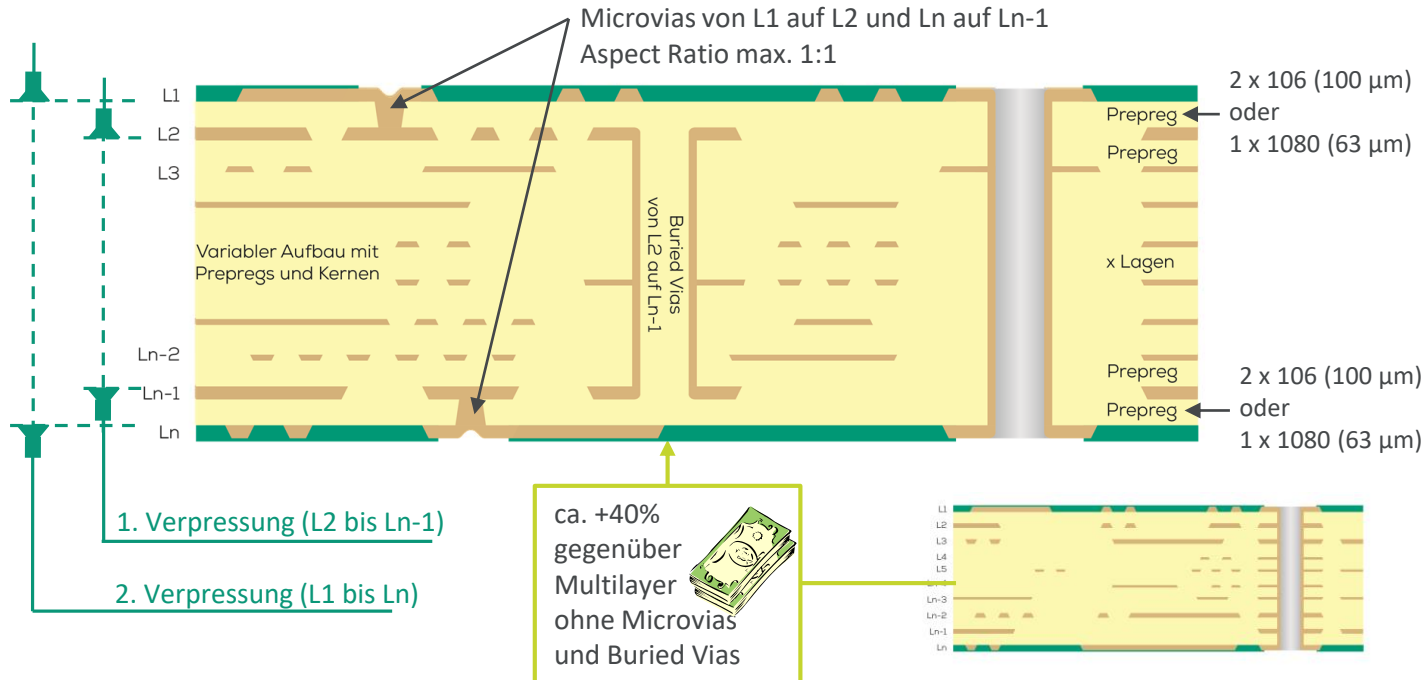
Staggered und/oder Stacked
Microvia-Bohrungen in
Kombination mit Buried Vias
und Durchgangsbohrungen



economic order €

SBU-Aufbau 1-x-1 - Prozessreihenfolge

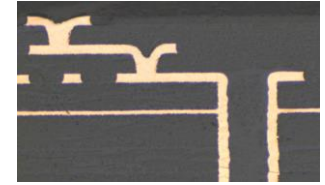
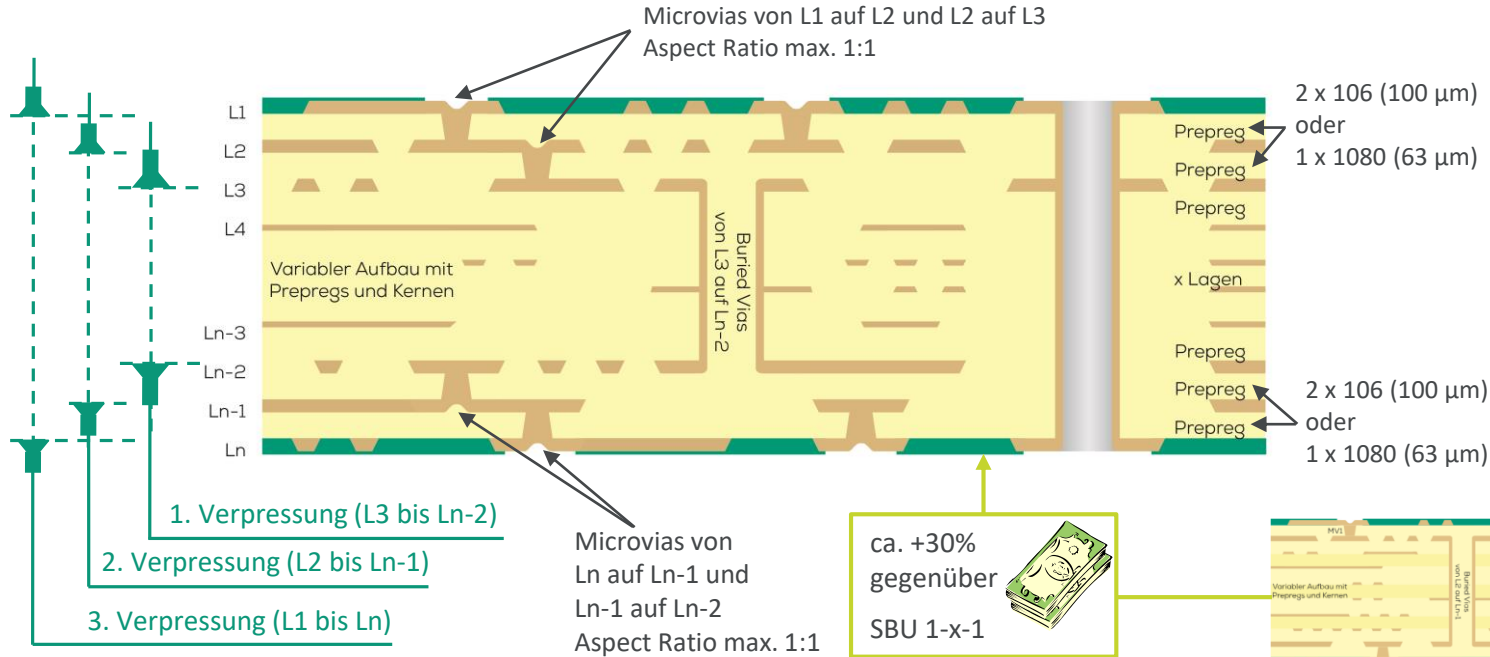
Microvias (gelasert) in Kombination mit Buried Vias (mechanisch gebohrt)



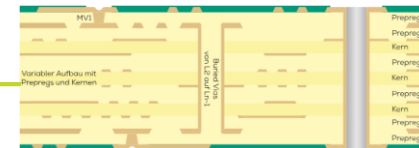
- > Innenlagen Basismaterial
- > Innenlagen strukturieren
- > Multicore schichten
- > Multicore verpressen
- > Multicore bohren
- > Multicore durchkontaktieren
- > Multicore strukturieren
- > SBU-ML schichten
- > SBU-ML verpressen
- > SBU-ML bohren
- > Microvias lasern
- > SBU-ML durchkontaktieren
- > Außenlagen strukturieren
- > Lötstopplack

SBU-Aufbau 2-x-2

Staggered Microvias (gelasert) in Kombination mit Buried Vias (mechanisch gebohrt)



Quelle: KSG GmbH



Design Compass – Kapitel zu HDI/SBU


Kostenoptimierung auf dem Silbertablett

Behalten Sie mit unserem Design Compass neben Konstruktionsregeln und Design-Rules mit den Design-to-Cost-Empfehlungen auch wirtschaftliche Aspekte jederzeit im Auge.

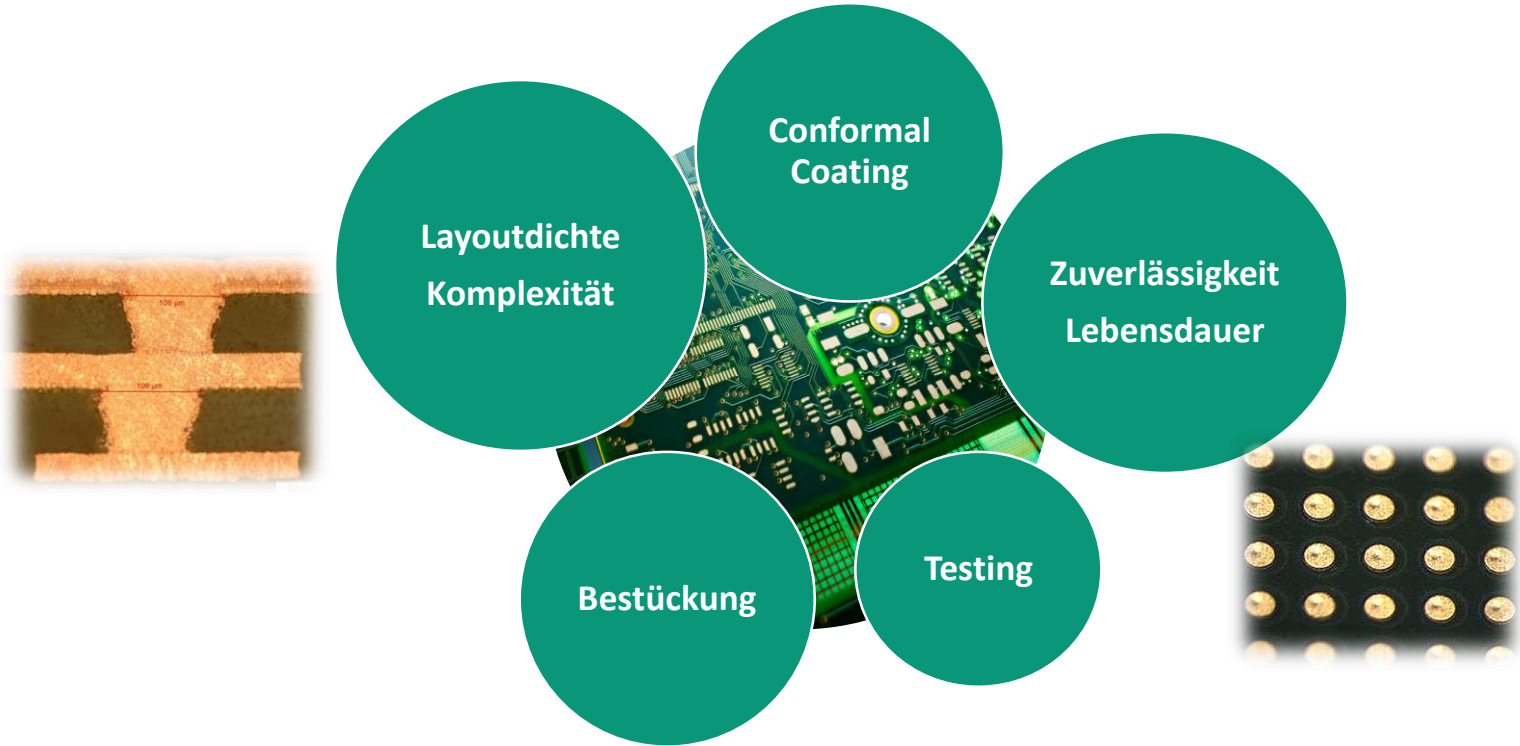
The screenshot displays the KSG Design Compass web application. The interface includes a navigation menu on the left with categories like 'Allgemeines', 'Anwendungen & Lösungen', and 'Leiterplattentechnologien'. The main content area is titled 'Lagenaufbau – Minimale Konstruktions- und Design Rules' and features a cross-sectional diagram of a PCB with various layers and components labeled. Below the diagram is a table with design rules.

Code	Beschreibung	Standard	Advanced	Kommentar/Hinweis
A1	Min. Leiterbahnbreite - Außenlage [µm]	80	75	Abhängig von der Kupferhöhe der jeweiligen Außenlage →
B1	Min. Kupferabstand - Außenlage [µm]	120	75	Abhängig von der Kupferhöhe der jeweiligen Außenlage →
A2	Min. Leiterbahnbreite - Innenlage [µm]	75	65	Abhängig von der Kupferhöhe der jeweiligen Innenlage →
B2	Min. Kupferabstand - Innenlage [µm]	80	70	Abhängig von der Kupferhöhe der jeweiligen Innenlage →
C0	DR-Loch - min. Enddurchmesser [µm]	150 oder 100	---	Differenz zwischen Enddurchmesser (EO) und Werkzeughdurchmesser (EZ) abhängig von der Oberflächenveredelung und von der Toleranz des Enddurchmessers (EO) →

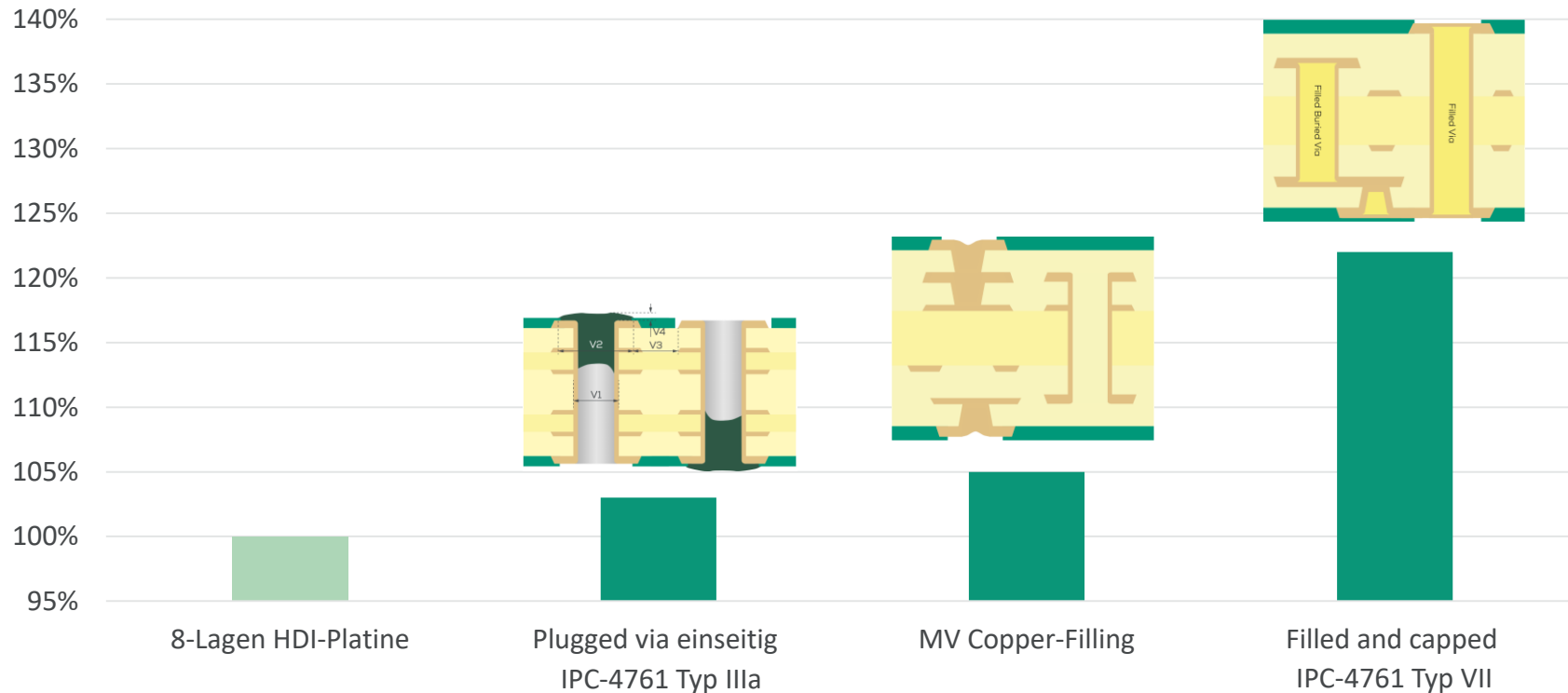
Agenda

- 
- Materialausnutzung
 - Optimierungen im Lagenaufbau
 - Via-Verschlusstechnologien**
 - Bohr- und Fräsprozesse
 - Lötstopmmaske und Oberfläche

Motivation für Via-Verschlusstechnologien



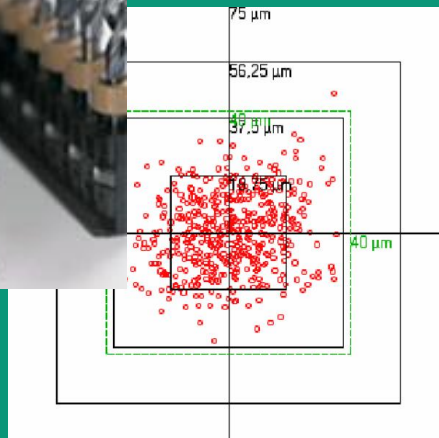
Via-Verschlusstechnologien



Agenda

- Materialausnutzung
- Optimierungen im Lagenaufbau
- Via-Verschlusstechnologien
- **Bohr- und Fräsprozesse**
- Lötstopmmaske und Oberfläche

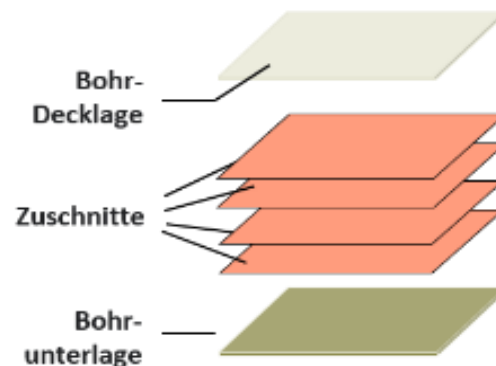
Das dickste Sandwich ist das Beste



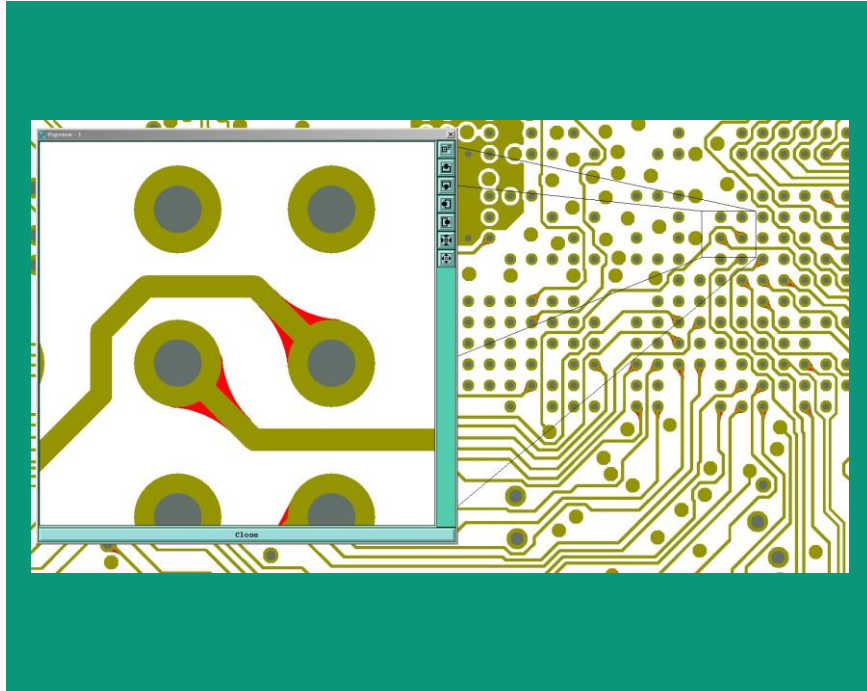
1

Bohrlochdurchmesser so groß wie möglich wählen

- höhere Spirallänge
- geringer Bohrerlauf (Auslenkung)
- hohe Paketierung



Das dickste Sandwich ist das Beste



1

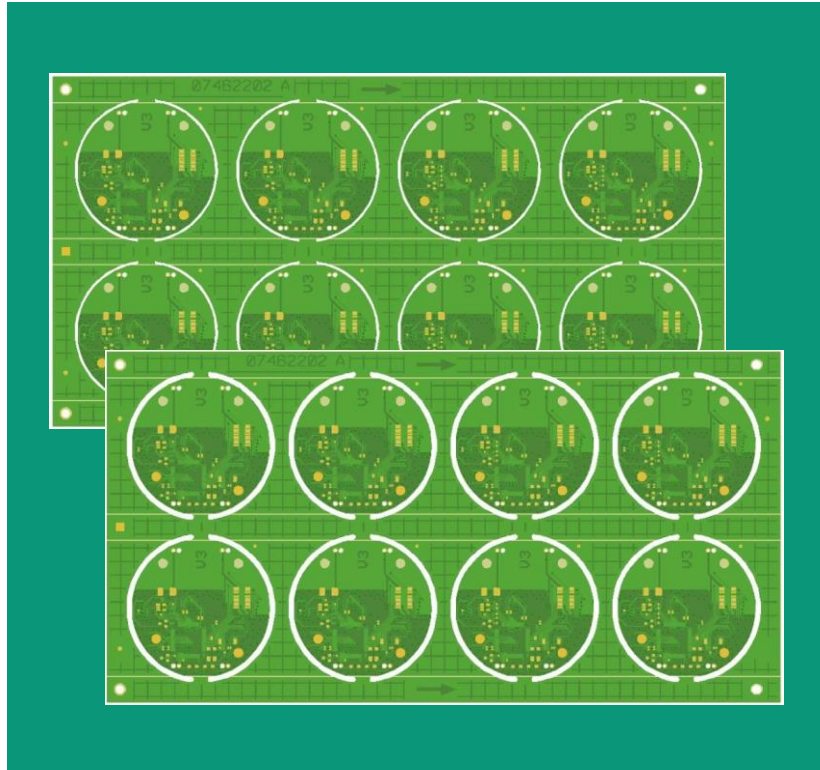
Bohrlochdurchmesser so groß wie möglich wählen

2

Restringe der Bohrungen maximieren und Teardrops setzen

- wenn Restringdimensionen verknappt sind
- wenn Restringforderungen eingehalten werden müssen (IPC Klasse 3)
- zur Prozesssicherheit und Ausbeuteverbesserung

Auf das Äußere kommt es an



1

Frässpuren für Standardwerkzeuge
2,0 mm oder 2,4 mm verwenden

- hohe Stabilität des Werkzeug, geringer Werkzeugverlauf
- hohe Standzeit und hohe Fräsengeschwindigkeit
- hohe Paketierung

Auf das Äußere kommt es an

Standard ohne Vorfräsen für Toleranzfeld $X \geq 0,400$ mm



Vorfräsen für Toleranzfeld $0,150 \text{ mm} < X < 0,400$ mm



Vorfräsen und Schlichten für Toleranzfeld
 $0,100 \text{ mm} < X \leq 0,150$ mm



1

Standardwerkzeuge 2,0 mm oder 2,4 mm verwenden

2

Konturtoleranzen so groß wie möglich dimensionieren

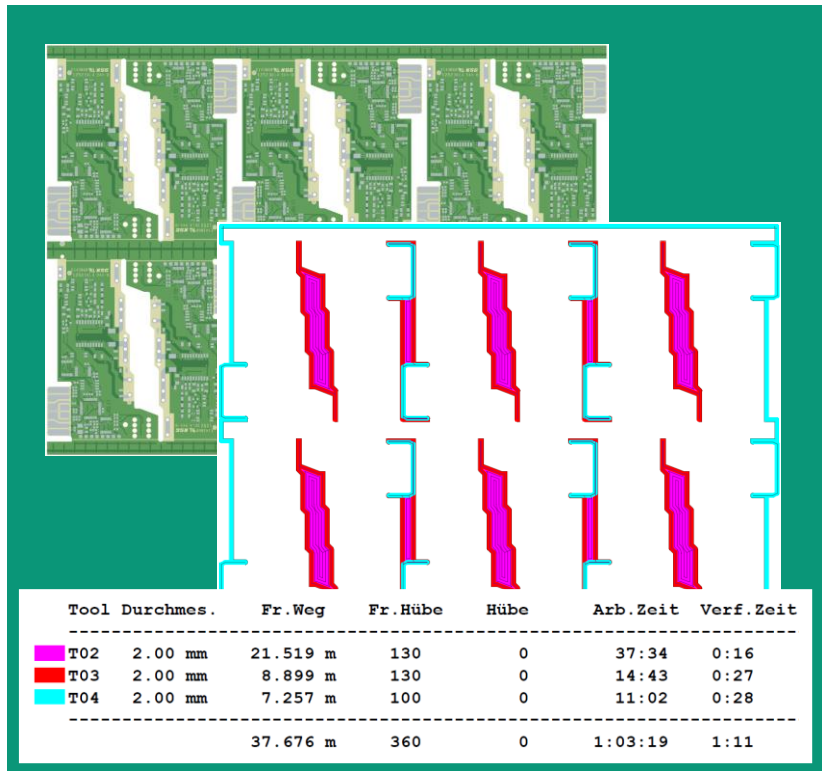
- keine Spezialwerkzeuge oder Mehrfachfräsungen

3

Lagetoleranzen der Kontur zu Bohr- und Leiterbild so groß wie möglich dimensionieren

- keine Sonderaufwendungen (Fräsen im Lieferteil oder Kamerafräsen)

Auf das Äußere kommt es an



1

Standardwerkzeuge 2,0 mm oder 2,4 mm verwenden

2

Konturtoleranzen so groß wie möglich dimensionieren


3

Lagetoleranzen der Kontur zu Bohr- und Leiterbild so groß wie möglich dimensionieren

4

Vermeidung zerspanender Freibereiche

Agenda

- 
- Materialausnutzung
 - Optimierungen im Lagenaufbau
 - Via-Verschlusstechnologien
 - Bohr- und Fräsprozesse
 - Lötstopmmaske und Oberfläche**

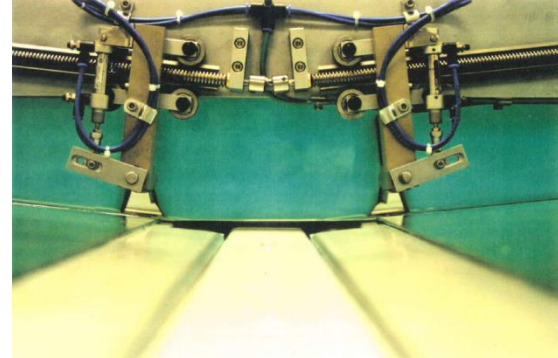
Grün ist die Farbe der Hoffnung

1

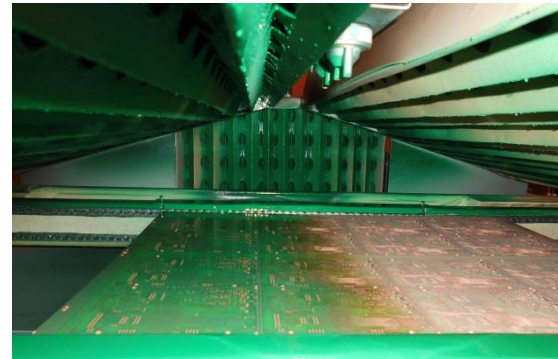
Einsatz Standardlack im Vorhang-
gießverfahren (oder Sprühen)

- DI optimiert
- hohe Belichtungsgeschwindigkeit
- hohes Auflösungsvermögen
- hoher Automatisierungsgrad

Vorhanggießverfahren



Sprühen



Grün ist die Farbe der Hoffnung

1

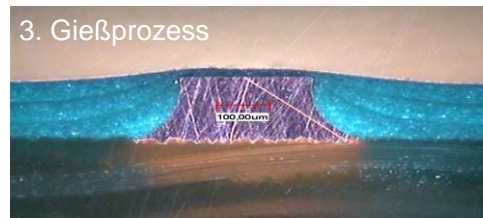
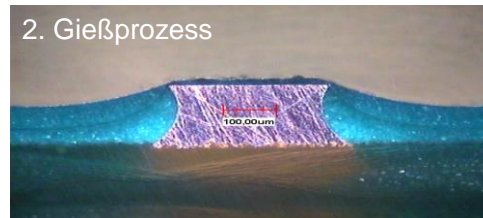
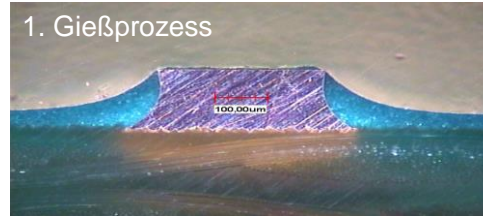
Einsatz Standardlack im Vorhang-
gießverfahren

2

Dünnes Außenlagenkupfer

3

Keine erhöhten
Lackdickenanforderungen



Grün ist die Farbe der Hoffnung

1

Einsatz Standardlack im Vorhang-
gießverfahren

2

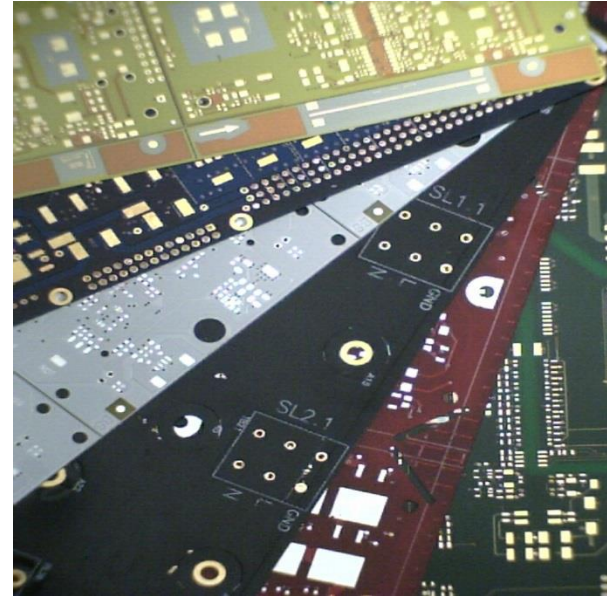
Dünnes Außenlagenkupfer

3

Keine erhöhten
Lackdickenanforderungen

4

Farbvarianten und Kombinationen nur
bei technischen Erfordernissen
(Reflektionsverhalten, Sichtplatine)



Die Wahl der richtigen Löttoberfläche

1

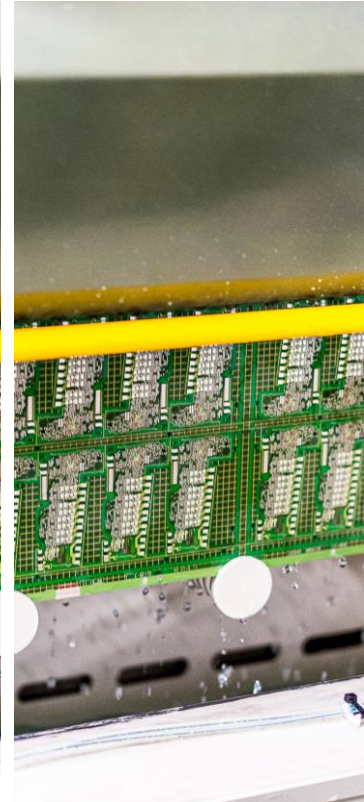
Schutzschicht zur Vermeidung von Kupferkorrosion bis zur vollständigen Bestückung

2

Einwandfreie Lötbarkeit innerhalb des garantierten Lagerzeitraums

3

Homogene Oberfläche zur Oberflächenbestückung

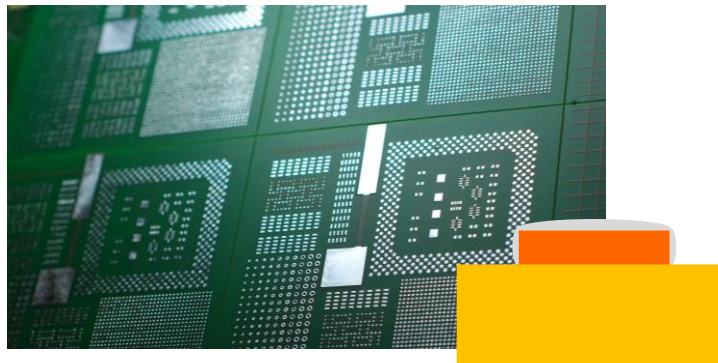


HAL

Heißluftverzinngung

[Hot-Air-Leveling]

- DER Klassiker
- Mit bleihaltigem oder bleifreiem Lot verfügbar



Details

Schichtdicke:

- 1-30 μm

Lagerfähigkeit:

- 12 Monate

Vorteile

- Bewährte Oberfläche
- Relativ günstig
- Lange Lagerfähigkeit
- Lotdepot auf Pads

Nachteile

- Stress für Material
- Uneben/schlechte Koplanarität
- Keine Fine Pitches < 0,25mm
- Cu Abtrag in DK's

Einsatz

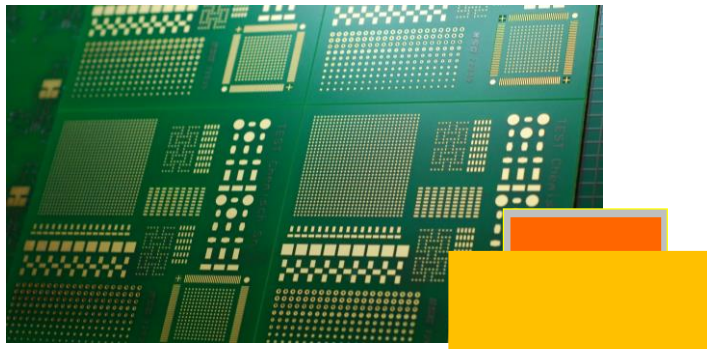
- Löten
- Einpresstechnik

ENIG

Chemisch Nickel-Gold

[Electroless-Nickel-Immersion-Gold]

- Häufigste Oberfläche in Europa
- Sehr universell einsetzbar



Details

Schichtdicke:

- Nickel: 3-6 μm
- Gold: 0,05-0,12 μm

Lagerfähigkeit:

- 12 Monate

Vorteile

- Eben/koplanar
- Lange Lagerfähigkeit
- Vielseitig einsetzbar

Nachteile

- Relativ teuer
- Kein Refresh möglich
- Ni für HF ungeeignet

Einsatz

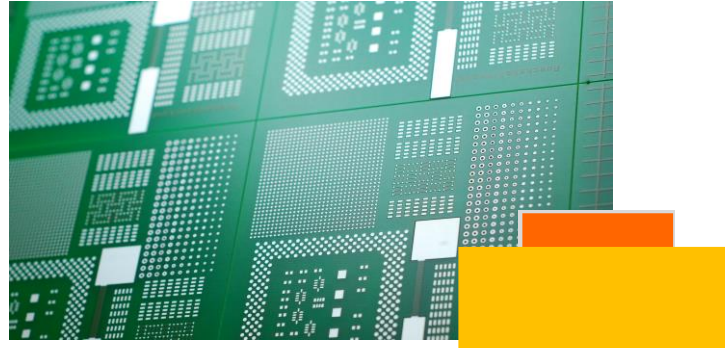
- Löten
- Al-Draht Bonden
- Leitkleben
- Einpresstechnik
- Fine Pitch
- BGA

Chem. Zinn

Chemisch Zinn

[Immersion Tin]

- Vielseitige Endoberfläche
- Geeignet für HF-Anwendungen
- Sensibel für Handling
- Eingeschränkte Anz. Temperaturschritte



Details

Schichtdicke:

- $\geq 1 \mu\text{m}$

Lagerfähigkeit:

- 9 Monate

Vorteile

- Eben/koplanar
- Refresh möglich

Nachteile

- Begrenzte Anzahl an Temperaturschritten
- Sensibel für Handling und Fingerabdrücke

Einsatz

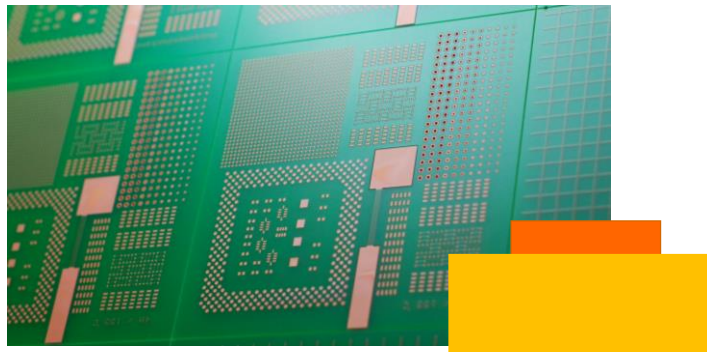
- Löten
- Einpresstechnik
- Fine Pitch
- BGA

OSP

Organischer Anlaufschutz

[Organic-Solderability-Preservative]

- Günstigste Endoberfläche
- Ideal für HF-Anwendungen
(keine metallische Zwischenschicht)



Details

Schichtdicke:

- 0,2-0,6 μm

Lagerfähigkeit:

- 6 Monate

Vorteile

- Günstig
- Eben/koplanar
- Erneuerbar
- Nickelfrei

Nachteile

- Reduz. Lagerfähigkeit
- Visuelle Inspektion
(transparent)
- Sensibel für Handling und
Fingerabdrücke
- Degradiert bei mehreren
Reflow-Zyklen

Einsatz

- Löten
- Einpresstechnik
- Fine Pitch
- BGA
- HF-Design

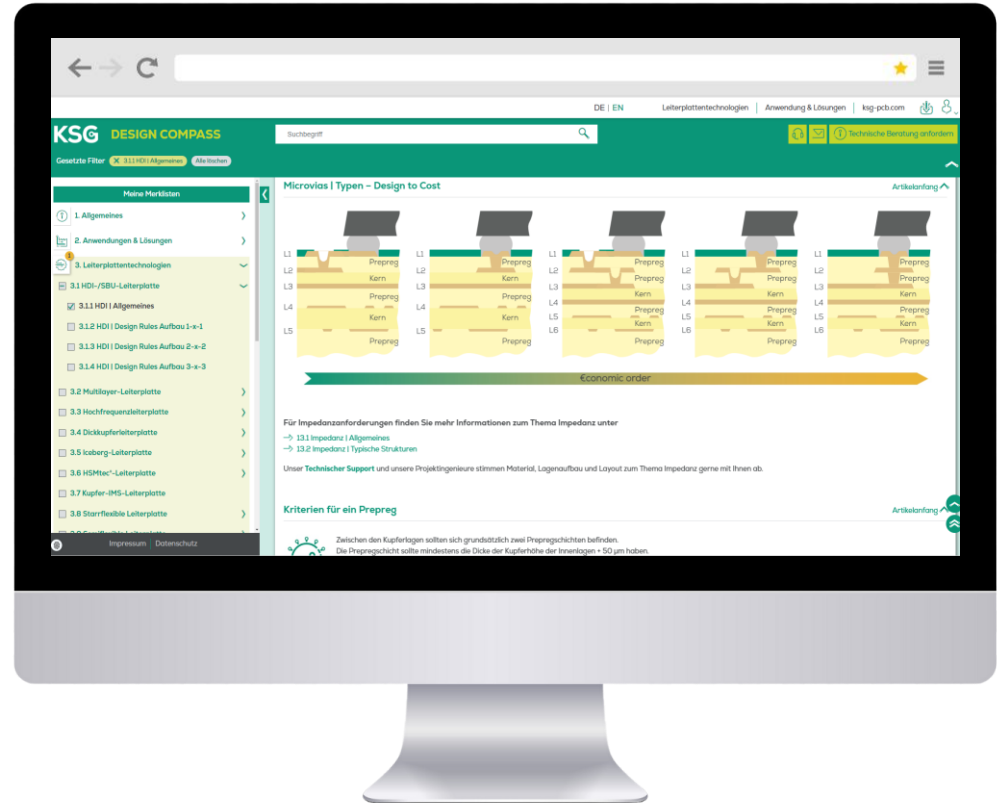
Die Wahl der richtigen Löttoberfläche

Oberfläche	HAL bleifrei/ verbleit	Chem. Ni/Au	Chem. Sn	OSP	Galv. Ni/Au
Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Löten • Einpresstechnik 	<ul style="list-style-type: none"> • Löten • Einpresstechnik • Fine Pitch • BGA • Al-Drahtbonden • Leitleben 	<ul style="list-style-type: none"> • Löten • Einpresstechnik • Fine Pitch • BGA 	<ul style="list-style-type: none"> • Löten • Einpresstechnik • Fine Pitch • BGA • HF-Design 	<ul style="list-style-type: none"> • Schleifkontakte • Steckkontakte
Verarbeitungsgarantie in Monaten	12	12	9	6	12
Schichtdicke [µm]	Oberfläche: 1 – 30 Bohrung: 1 - 50	Ni: 3 - 6 Au: 0,05 - 0,12	0,8 - 1,4	0,2 - 0,6	Ni: 3 - 8 Au: 0,8 - 3
Kosten	€€	€€€	€€	€	€€€€€

Weitere Details in unserem Digital Design Compass Kapitel 10 Löt- und Oberflächen

Design Compass

Unser Design Compass bietet an vielen Stellen **Design to Cost** Darstellungen/Erklärungen und unterstützt Sie somit für ein optimales und **kostengünstiges Ergebnis** Ihres Leiterplattendesigns.





Die KSG-Support-Line

+49 3721 266-555
ts@ksg-pcb.com

www.ksg-pcb.com/tech-support

Mit Sicherheit smarter together