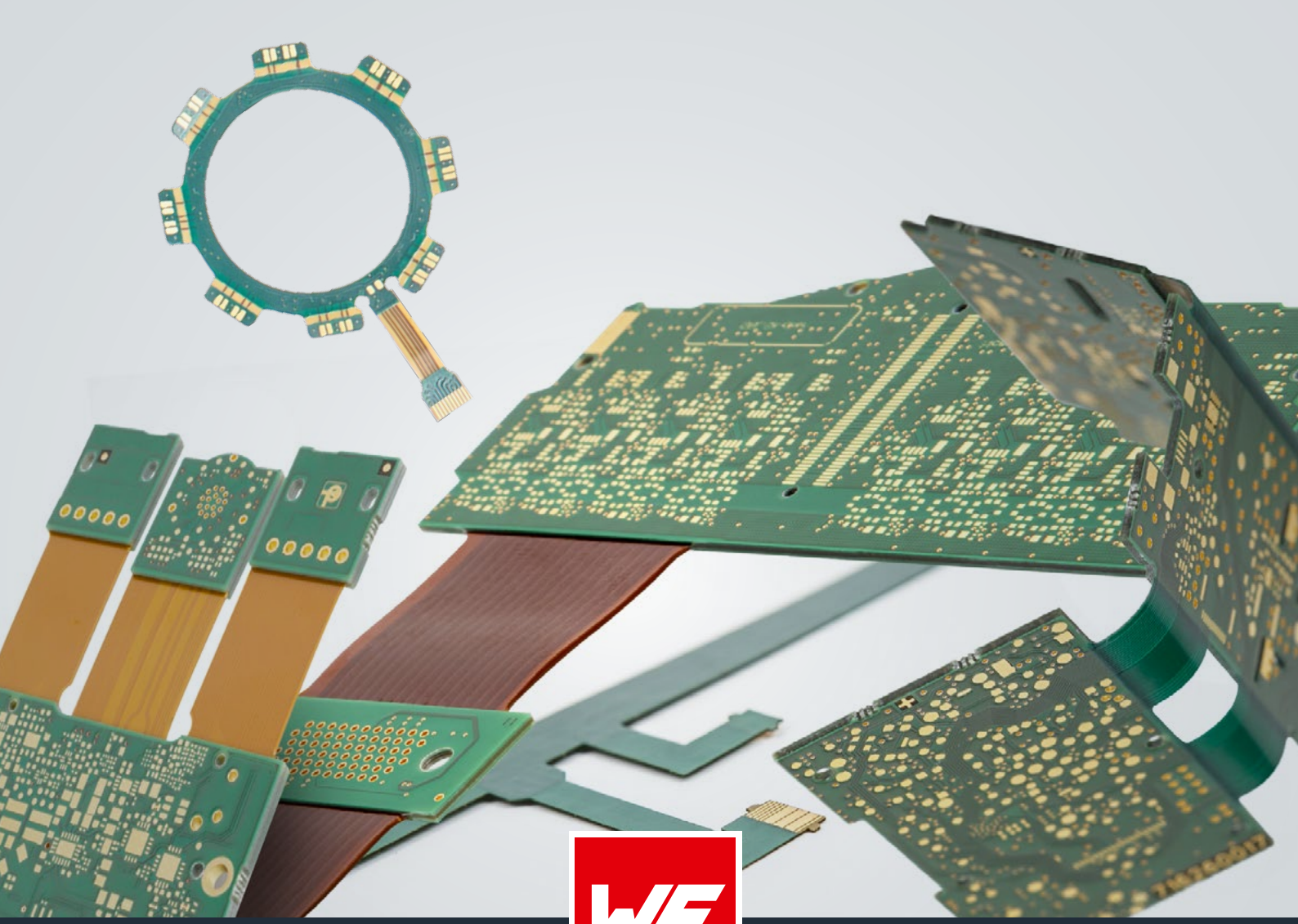


FLEX LÖSUNGEN
DESIGN GUIDE

DE

WÜRTH ELEKTRONIK MORE THAN YOU EXPECT

INHALT

Der Trend zur Miniaturisierung in der Elektronik ist ungebrochen. Eine effiziente Nutzung des immer kleiner werdenden Gehäusevolumens in allen drei Dimensionen mit einer mechatronischen Leiterplattenlösung erfreut sich zunehmender Beliebtheit. Gleichzeitig werden die Systemvorteile in Bezug auf Zuverlässigkeit, Signalintegrität und Systemkosten immer wichtiger.

Flexible Folien aus Polyimid mit einer typischen Dicke von 50 µm sind hochtemperaturbeständige Materialien und können mit Kupferkaschierung als Basismaterial für PURE.flex oder in Kombination mit starren Basismaterialien als STARR.flex-Leiterplatten mit allen gängigen Lötverfahren verarbeitet werden. Dünne FR4-Schichten sind ebenfalls biegbar und finden in SEMI.flex und BEND.flex Leiterplatten Verwendung.

Würth Elektronik hat in den letzten Jahrzehnten über die bereits realisierten Projekte und Aufträge verschiedenster Aufbauten und Anwendungen von **A**erospace **bis Z**ahnarztgerät ein umfangreiches Knowhow angesammelt und beliefert aktuell über 600 Kunden. Durch das angebotene breite Technologiespektrum kann für jede Anforderung eine in Bezug auf Leistungsfähigkeit und Kosten bestmögliche Auswahl getroffen werden.

Im Folgenden finden Sie Systemüberlegungen, welche die verschiedenen Varianten der Flex-Lösungen erklären und praktische Hinweise zum Design geben:

1 **Flex-Lösungen in der Systembetrachtung** 3

2 **Innovative Flex-Lösungen** 4

3 **Beispiele für Applikationen** 5

4 **Projekt-Checkliste für Systemanforderungen** 6

5 **Die Auswahl der richtigen Technologie** 7

6 **Materialien und Aufbauparameter – Standards** 10

7 **Die mechanische Konstruktion** 15

8 **Layout und Routing** 18

9 **Die Unterlagen für die Starrflex-Leiterplatte** 19

10 **Weiterverarbeitung** 19

11 **Kosten, Systemkosten** 20

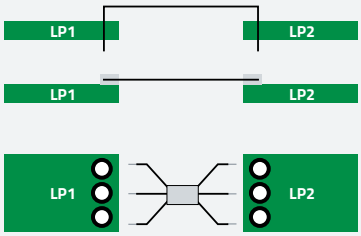
Grundsätzlich sind Standards zu beachten wie IPC-2223, IPC-6013, Basic Design Rules von Würth Elektronik sowie variantenspezifische Designregeln und unsere Trocknungsvorschriften. www.we-online.com/designrulesbasic

!

1 FLEX-LÖSUNGEN IN DER SYSTEMBETRACHTUNG

EIN SYSTEM KANN GRUNDSÄTZLICH UNTERSCHIEDLICH GEBILDET WERDEN:

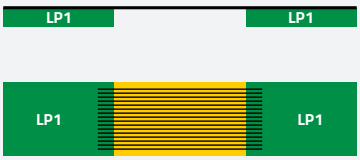
Inhomogenes System



Starre Leiterplatte + Kabelbaum/ Flex eingelötet oder gesteckt (lösbar)

- Nur wenige Verbindungen
- Nur für einfache Anwendungen
- Verdrahtungsfehler möglich
- Viele Einzelkomponenten
- Hoher Test- und Montage-aufwand

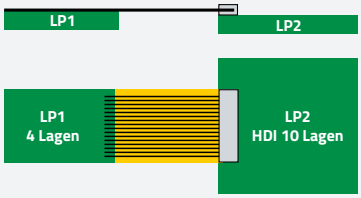
Homogenes System



Identischer Stackup in allen Starrbereichen und integrierte Flexlage(n) durchgehend

- Wesentlich höhere Verdrahtungs-dichte
- Spart wertvolle Fläche durch den Wegfall der Verbindungsstellen (Lötaugen oder Footprint der Stecker)
- Beste Verdrahtungszuverlässigkeit

Teilhomogenes System



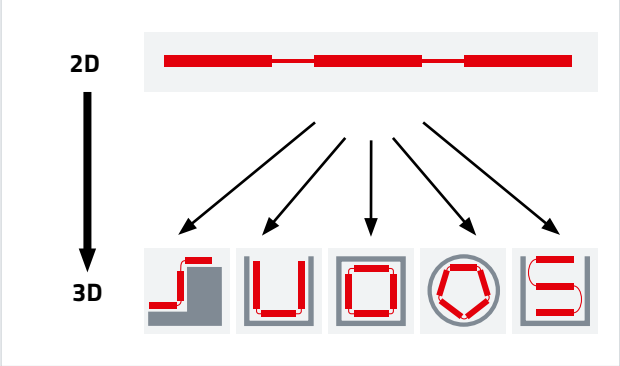
Teilsysteme technologisch und größenmäßig stark unter-schiedlich: z. B. STARR.flex/ Stecker-Kombination

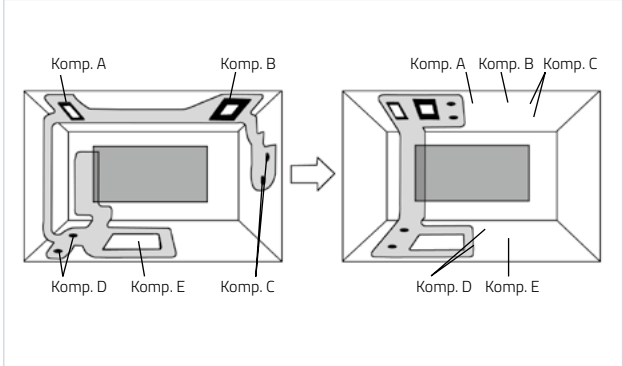
- Trennbar
- Für modulare Systeme geeignet

TIPP:
Der kleinere und einfachere Teil LP1 sollte mit der integrierten Verdrahtung versehen werden.

Flex-Lösungen sind mechatronische Bauteile. Neben der elektronischen Funktion müssen den mechanischen Randbedingungen große Beachtung geschenkt werden.

Weil die Entwurfsphase über die spätere Kostenstruktur entscheidet, muss eine Betrachtung aller elektrischen und mechanischen Schnittstellen bereits in der Konzeptphase erfolgen.

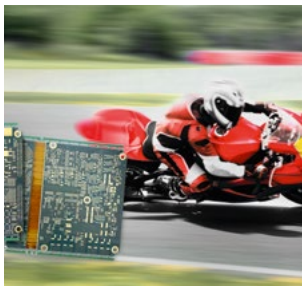




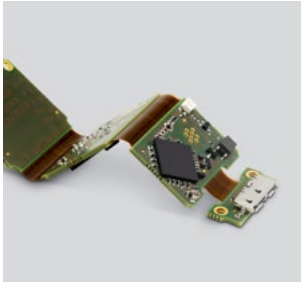
Darüber hinaus ist eine genaue Auswahl der optimalen Bauelemente und Substrattechnologie notwendig, um die geforderten Einsatzbedingungen zuverlässig erfüllen zu können. Unter die Produktentwicklung fällt auch, eine genaue Vorstellung von der Bestückung, dem Lötprozess, dem Test und der Gerätemontage zu haben.

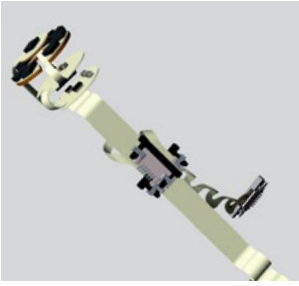
2 INNOVATIVE FLEX-LÖSUNGEN

Zuverlässigkeit

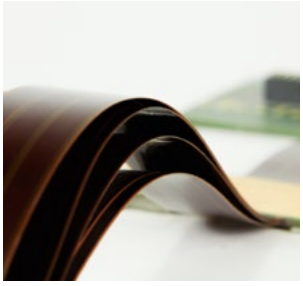


Signalintegrität





Miniaturisierung



Dynamische Bewegungen

VORTEILE BEIM EINSATZ DER HOMOGENEN FLEX-LÖSUNGEN

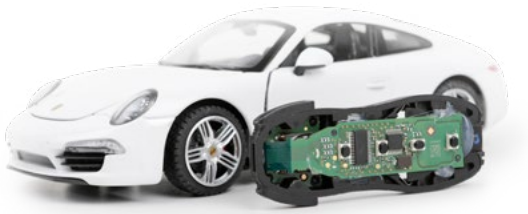
Miniaturisierung
- Zusätzliche Ebenen für Bauteile
- Möglichkeit des Faltens
- Einsparung der Fläche für Steckerfootprints
- Gewichtsreduktion
- Integration von Schnittstellen
- Ultradünne Aufbauten

Signalintegrität
- Wegfall der Impedanzsprünge an Steckern / Kabeln / Lötstellen
- Referenzlagen sind möglich
- Referenzlagen mit Raster vorteilhaft, Berechnung ist möglich

Systemkkosten Reduktion bei verbesserter Performance
- Einfache Montage
- Kleinere Gehäuse
- Einsparung von Kabel und Stecker
- Vereinfachte Testbarkeit
- Verringerte Komplexität und Aufwendungen für Bestückung und Logistik

Zuverlässigkeit
- Weniger Kontakte im Gesamtsystem
- Verdrahtungsfehler sind ausgeschlossen
- Weniger Masse (Gewicht)
- Schock- und vibrationssicher
- Einfachere Testbarkeit
- Einfache Montage

Dynamische Bewegungen
- Flexibilität und Stabilität sind gegenläufige Eigenschaften
- Dynamische Flexe sind idealerweise nur 1-lagig im Biegebereich
- Spezielle Kupferqualitäten sind teilweise verfügbar
- Projektspezifischer Stackup



Idee Konzept → Spezifikation → Entwicklung Mechanik → Entwicklung Software → Entwicklung Elektronik → PCB-Design

Projekte mit Flex-Lösungen:
Interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Entwicklung unabdingbar!

3 BEISPIELE FÜR APPLIKATIONEN

Starrflexible Leiterplatte in einer Kamera mit hochauflösenden Sensoren, USB3-Schnittstelle und einer Datenübertragungsrate von 420 MByte pro Sekunde.

- STARR.flex 3Ri-2F-3Ri

Dynamisches Leiterplatten-System mit Einsatz in der Steuerung einer Patientencouch für medizintechnische Strahlentherapie.

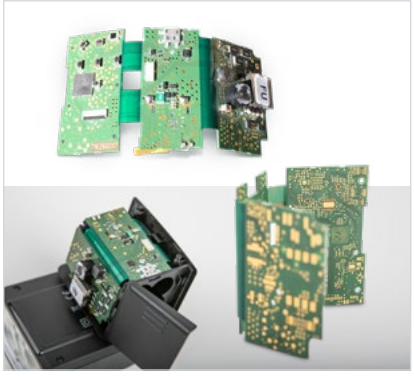
- STARR.flex 1Ri-2F+2F+2F+2F-1Ri

Sensoranwendung mit maximaler Miniaturisierung für anspruchsvollste Umgebung (oben) und Hightech-Kabelbaum (unten)

- SLIM.flex 4F (oben) und SLIM.flex 6F (unten)

Herzstück eines Pneumatik-Ventils für digitalisierte Pneumatik. Robuste und kostengünstige Alternative zu STARR.flex.

- BEND.flex 2Ri-4Ri + HDI 2-2-2



Semiflexible Leiterplatte um die Batteriebox eines kompakten und leistungsstarken Systemblitzgerätes.

- SEMI.flex 1Ri-3Ri

Sensorelektronik für Medizintechnik in flexibler Leiterplattentechnik mit lokaler Versteifung (Stiffener).

- PURE.flex 2F-Ri

!

Ihre Herausforderungen treiben uns an
Wir unterstützen Sie bereits in der frühen Entwicklungsphase Ihrer Produkte und entwickeln gemeinsam mit Ihnen in Projekten maßgeschneiderte Lösungen.
Kontaktieren Sie uns per Mail (flex@we-online.com) oder telefonisch unter 07940 946-flex (3539).

4 PROJEKT-CHECKLISTE FÜR SYSTEMANFORDERUNGEN

a) Technische Anforderungen an das Endprodukt:
Zielmarkt, Schlüsselfunktionen, ggf. Alleinstellungsmerkmal, Lebensdauer, Größe, optische Erscheinung

b) Kommerzielle Anforderungen:
Stückzahlen, Kostenziele, Zeitplan Prototypen, Vorserie, Serienfreigabe, Ramp-up, Second Source, ggf. Auditplanung

c) Gesetzliche Anforderungen:
Zulassungen, geregelter Markt Medizintechnik, BAFA-Relevanz, UL: Check der UL Guidelines für die Applikation: Mindestanforderung an die Leiterplatte prüfen - keine Überspezifikation!

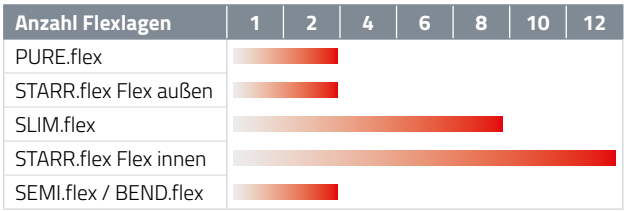
d) Zuverlässigkeitsanforderungen:
Z.B. Einteilung nach IPC Klasse 1/2/3, Ausfall-Risikoanalyse, Produkthaftung, Qualitätsmanagementvereinbarung, branchenspezifische Anforderungen z.B. APQP (Advanced Product Quality Planning) oder PPAP (Production Parts Approval Process), Traceability

e) Produkt Einsatzbedingungen:
Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Temperaturwechsel, Entwärmung, Feuchte, Schock und Vibration, Flammwidrigkeit, Bestückung/Löten/Reparatur, Testprozeduren für Umwelt- und Zuverlässigkeitstests

f) Gehäusegröße, -material und -form:
Analyse sämtlicher mechanischer und elektrischer Schnittstellen, Display, Schalter, Stecker, Schnittstellen zu anderen Geräten oder Modulen. Aufbau eines 3D-Modells (Papier+Schere / mCAD+eCAD) mit dem Ziel, ein Flächenoptimum für die 2D-Abwicklung des Schaltungsträgers zu finden.

g) Mechanische Anforderungen Leiterplatte:
Statische oder dynamische Anwendung, Leiterplattendicke, Stabilität, Aspect-Verhältnis Bohrdurchmesser/LP-Dicke, Biegeradien, Verhältnis Biegeradius/Flexdicke, Biegeform, Anzahl Biegezyklen, Biegefrequenz

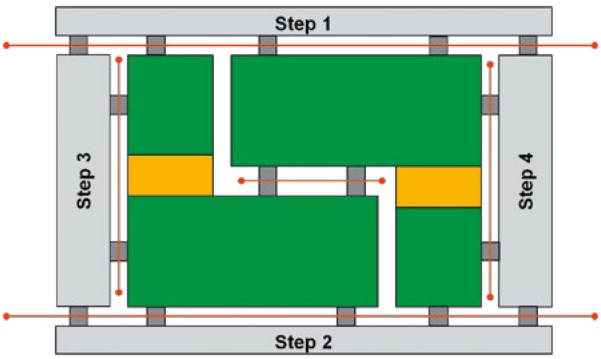
h) Elektrische Anforderungen Leiterplatte:
Leistung, Spannungsfestigkeit, Stromstärke, Isolation und Schirmung, EMV, Anzahl der Signale über den Flexbereich, Anzahl der Flexlagen, Signalintegrität, Impedanz Forderungen, Kriechstromfestigkeit

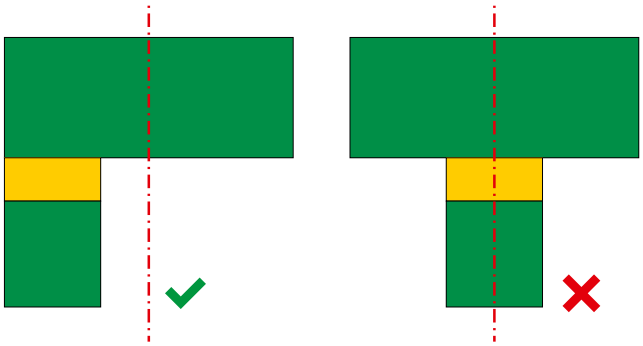


i) Art und Platzierung der Bauteile, Aufbau- und Verbindungstechnik:
Viatechnik-bestimmende Bauteile wie BGA, Stackup, PTH, Mikrovia, Buried Via, Anylayer via, Filling, Nacktchiptechnik, Lötoberfläche, Liefernutzen, Positionsdruck, Einpresstechnik, eingebettete Komponenten

j) Prüfung und Verpackung:
Elektrischer und mechanischer Test der Leiterplatte, Dokumentation Produktprüfung (ausführlicher Erstmusterprüfbericht bei komplexem Stack-Up empfohlen, Prüfkriterien spezifizieren), Verpackung

k) Weiterverarbeitung der Leiterplatte:
Design-for-Drying Möglichkeiten der Trocknung vor dem Löten, Logistik, Trockenlagerung, Nutzentrennung, Handling, Biegewerkzeug, Gehäusemontage, Einbautoleranzen und Befestigungsmöglichkeiten



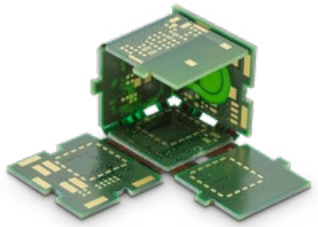


„L"-Form besser als „T"!
Würth Elektronik bietet gerne den optimalen Nutzen an (best price!)

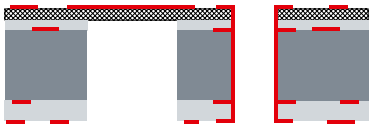
5 DIE AUSWAHL DER RICHTIGEN TECHNOLOGIE

MÖGLICHE VARIANTEN:

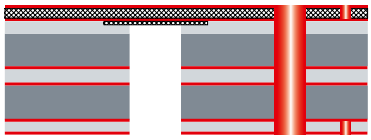
STARR.flex außen



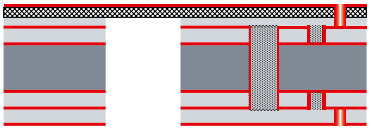
1F-3Ri



2F-4Ri



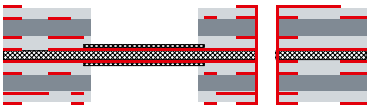
1F-5Ri + 2-2(4b)-2



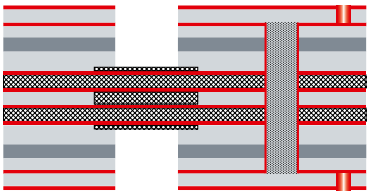
- Bauteile auf stabile Starrteile bestücken
- Flexibler Bereich 1 bis 12 lagig, verklebt/unverklebt (mit airgap)
- Flexible Lagen außen oder symmetrisch innen aus Polyimid
- Starre Bereiche: mit Standard-Lötstopplack
- Flexbereich: hochflexibler Flexlack oder Deckfolie (Polyimid Coverlay)

STARR.flex innen

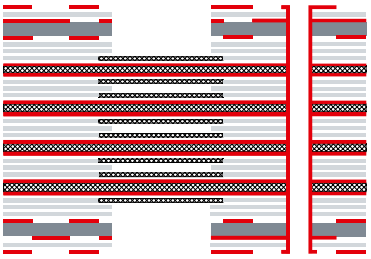
3Ri-2F-3Ri



2Ri-4F-2Ri + HDI 1-6b-1



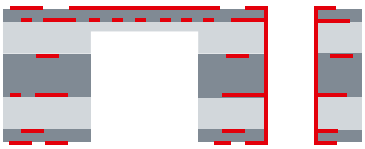
3Ri-2F+2F+2F+2F-3Ri



SEMI.flex / BEND.flex

SEMI.flex 1Ri-3Ri

SEMI.flex 2Ri-4Ri



- FR-4.0-Leiterplatte mit Biegebereich durch Tiefenfräsprozess, in eine Richtung biegbar
- Kostengünstig

BEND.flex

- FR-4.1-Leiterplatte mit Biegebereich, Herstellung wie STARR.flex ohne Polyimid-Folie, in beide Richtungen biegbar

Hinweise

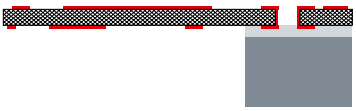
- Oft preisgünstiger als eine Stecker-Kabel-Stecker-Lösung
- Deutlich besser und günstiger als geschirmte Kabel und Stecker

MÖGLICHE VARIANTEN:

PURE.flex

2F (PURE.flex)

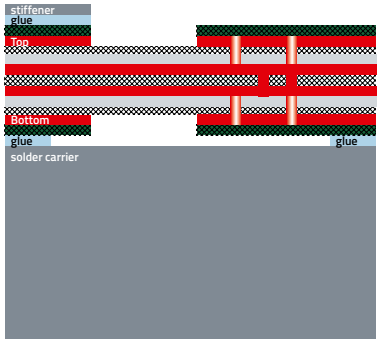
2FRi (PURE.flex mit Stiffener)



- Sehr dünne Flexfolie Polyimid
- Bis zu zwei Kupferlagen
- Partiell durch „Stiffener" verstärkt
- Fotosensitiver Lötstopplack oder Deckfolie (Polyimid Coverlay)
- Lieferung einzeln oder im Nutzen

SLIM.flex

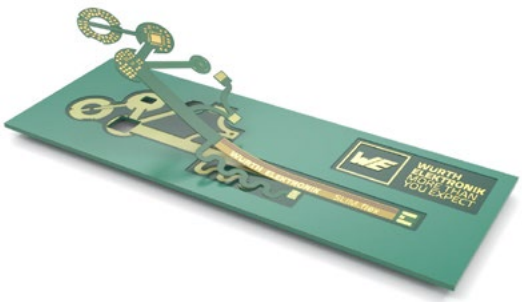
SLIM.flex 4F-Ri in Anylayer Microviatechnik



- Anylayer HDI-Flex-Technologie
- Sehr dünn
- Höchst belastbar, robust
- Flexible und zuverlässig
- Impedanz-definierter Aufbau möglich
- Optional mit Lötträger und Stiffener

Anwendungen
- Vision Technologie
- Medizintechnik
- Sensorik
- High-Tech Kabelbaum

Lötträger für dünne Leiterplatten / Substrate
Für das Bestücken von dünnen Substraten mit Standardprozessen, beispielsweise in SLIM.flex- und PURE.flex-Technologie, gibt es eine einfache Option mit einem Lötträger in unterschiedlichen Ausführungen.
Für das einfache Austrennen und Trennen vom Lötträger wird die Kontur lasergeschnitten und mit Microstegen gehalten. Sehen Sie hierzu ein **Video** unseres Handmusters WE.scope sowie die Ausführungen auf Seite 17.



INDIKATOREN FÜR DEN BEVORZUGTEN EINSATZ EINZELNER VARIANTEN:

Variante	Indikatoren für	Bemerkungen
PURE.flex / SLIM.flex xF	Sehr kleine, dichte Schaltungen	Microvias und Kontur durch Laser möglich
	Sehr begrenzter Bauraum	Flexfolie 50 µm dick
	Einsatz im Vakuum	Praktisch keine Ausgasung
	Hohe Einsatztemperaturen	PI bis 200°C einsetzbar (ohne Lötstoppmaske)
	Hochfrequenzanwendungen	Gute Dicketoleranz, Cu Treatment flach, kleiner Verlustfaktor
	Vias im Flexbereich	ACHTUNG: aufwändig, (siehe Tabelle ff)
PURE.flex / SLIM.flex mit Stiffener xF-Ri	Stabilität für Bestückung und Einsatz	Bestückbereiche mech. verstärken / Lötträger Entwärmungsproblem / Metall-Heatsink geklebt
SEMI.flex	Flex-to-install mit großen Biegeradien	Preiswerte Lösung, Miniaturisierung
	Große Leiterplatte mit gewinkeltem Stecker	Nur Biegbarkeit notwendig
	Flexmaterial nicht erlaubt	Nur starre Basismaterialien
BEND.flex	Biegerichtung beliebig	Unbearbeitete Glasmatten können auf Zug und Druck belastet werden
STARR.flex 1F-xRi	Großer Flächenanteil Flex	Lasergeschnittene Nutzen sehr stabil
	1:1 Verdrahtung über Flexbereich	Günstiger im Vergleich zu xRi-2F-xRi
	Kleine Biegeradien	Flexbereich dünn, hochflexibler Flexlack oder Deckfolie
	Kurze Trockenzeiten	Flexlage außenliegend
STARR.flex 2F-xRi	Hochfrequente Verbindung Bauteil-zu-Stecker über Flexbereich mit Bezugslage	Keine Vias zum Umsteigen nötig
	Hochdynamisches Dauerbiegen	Im Flexbereich nur Layout auf Lage 2 - keine Metallisierung des Flexbereichs
STARR.flex xRi-1F-xRi	Hochdynamisches Dauerbiegen	Kupfer in neutraler Phase ideal, keine Metallisierung des Flexbereichs
STARR.flex xRi-2F-xRi	Bezugslage im Flexbereich wegen Signalintegrität	Polyimid auch mit 75 oder 100 µm für Impedanzkontrolle möglich
	Hohe Zuverlässigkeitsanforderungen	Robuste Technik, mechanische Stabilität
STARR.flex xRi-4F-xRi	Koaxiale Impedanzstrukturen im Flexbereich	Air gap xRi-2F+2F-xRi ist hier nicht geeignet

INDIKATOREN GEGEN DEN EINSATZ EINZELNER VARIANTEN:

Variante	Indikator gegen	Bemerkungen
PURE.flex / SLIM.flex	Bedrahtete Bauteile oder Stecker	Geringe mechanische Stabilität
PURE.flex mit Stiffener	Viele einzelne Verstärkungen	Besser Starrflex 1F-xRi verwenden
SEMI.flex	Biegung mit gefräster Fläche außen, S-förmiger Biegeverlauf in einer Fläche	Glasmatte nicht auf Zug belasten
	Befestigung an mehrteiligem Gehäuse	Montagetoleranzen wirken auf semiflexiblen Bereich
STARR.flex 1F-xRi	-	-
STARR.flex xRi-2F+2F-xRi	Länge des Flexbereichs kürzer als 50 mm	Durch das Aufbuckeln beim Biegen wird dieses bei zu kurzen Flexbereichen erschwert bis unmöglich.

! **Regeln für Leiterstrukturen, Viagrößen und Lötstoppmaske entnehmen Sie den BASIC Design Rules von Würth Elektronik.**
www.we-online.com/designrulesbasic

! **Eine detailliertere Analyse der Anforderungen aus der Projekt-Checkliste (Kapitel 4) sollte in einem Projektgespräch mit unseren Spezialisten erfolgen.**

6 MATERIALIEN UND AUFBAUPARAMETER – STANDARDS

IPC-KLASSE 2, USE A (FLEX-TO-INSTALL)

Flexmaterial	Polyimidkern 50 µm Standard, bis 70 µm Kupfer, kleberlos, Deckfolie 25 µm partiell oder Flexlack
Starrmaterial	FR-4.1 Tg150 °C gefüllt, halogenfrei: IPC-4101C / 128 (92,94,127)
Kupferdicken	Innenlagen 18(Standard)/35/70 µm // Außenlagen 12/18/35 µm + galvanischer Aufbau (bei 1F-xRi Flex auf Außenlage)
Leiterplattendicke	je nach Lagenanzahl: PURE.flex / SLIM.flex > 100 µm, STARR.flex / SEMI.flex ≥ 0,8 mm
Lötoberfläche	Chemisch Ni/Au und wahlweise nickelfreie chemische Oberfläche

Weitergehende Anforderungen z.B. bezüglich Materialien, Aufbau, Anwendungsfall Use B usw. auf Anfrage!

STANDARD STACKUPS FLEX-LÖSUNGEN

Standards erleichtern unser Leben, sichern die Qualität von Produkten und Dienstleistungen und senken die Kosten. Deshalb bieten wir für viele Technologien marktübliche und kostenoptimierte Standard Stackups an.
Sie können diese Standards als Basis für Ihre Lösungen verwenden und nach Ihren Anforderungen modifizieren.

- PURE.flex (**www.we-online.com/pureflex-stackups-de**)
- STARR.flex (**www.we-online.com/starrflex-stackups**)
- SLIM.flex (**www.we-online.com/slimflex-stackups-de**)

Natürlich fertigen wir auch nach Ihren individuellen, projektspezifischen Stackups, nachdem wir diese auf technische Machbarkeit geprüft haben. Sprechen Sie uns an!

KOMBINATION MIT ANDEREN TECHNOLOGIEN

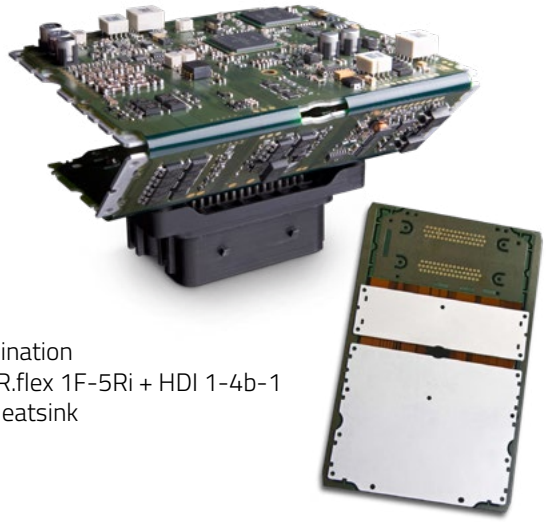
Es ist möglich, Flex-Lösungen mit anderen Technologien zu kombinieren, beispielsweise mit
- High Density Interconnect MICROVIA.hdi
- DEVICE.embedding
- Printed Polymer
- Heatsink

Eine Anpassung der einzelnen Design Rules ist dazu in der Regel notwendig.

LÖTOBERFLÄCHEN

Zur Sicherstellung der Lötbarkeit werden freiliegende Kupferflächen mit einer Lötoberfläche versehen.
Bitte beachten Sie bei der Auswahl unter anderem die Eignung hinsichtlich

- Trocknungsprozessen: Alterung durch Temperaturbelastung
- Biegungen: Nickelhaltige Oberflächen wie z.B. ENIG sind nicht für Biegungen geeignet.



Kombination
STARR.flex 1F-5Ri + HDI 1-4b-1
und Heatsink

MINIATURISIERUNG HOCH ZWEI: VIELFÄLTIGE KOMBINATIONEN AUS STARR.FLEX UND HDI

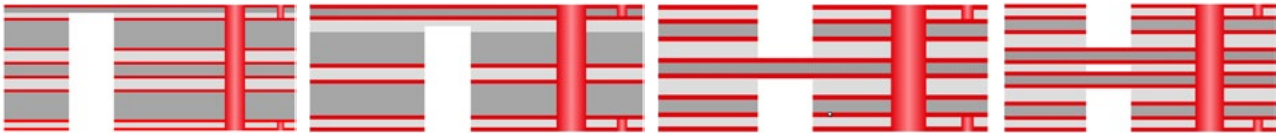
Wenig Platz im Gehäuse und Mikro-BGA-Bauteile auf der Schaltung: Miniaturisierung hoch Zwei?

WIR HABEN DIE LÖSUNG:

Mit Kombinationen aus STARR.flex und Elementen aus High Density Interconnect entschärfen Sie auch enge Platzverhältnisse.

Microvias, gefüllte Bohrungen, lokal feinste Kupferstrukturen und damit eine clevere Entflechtung von BGA-Footprints sparen viel Platz. Mit der STARR.flex-Technologie können zudem Einbauflächen für Stecker und Kabelbäume eingespart werden und die Schaltung platzsparend in das Gehäuse eingefaltet werden.

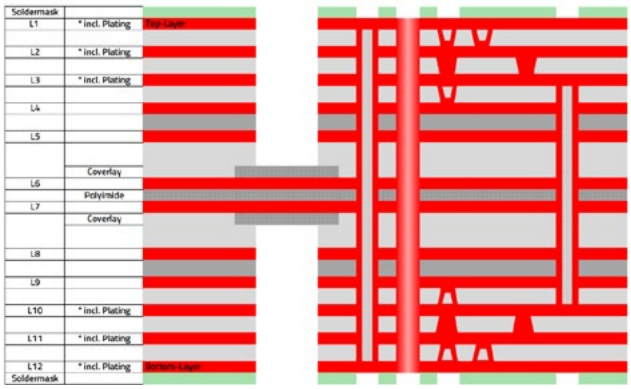
- Die HDI Design Rules müssen auf die Stackups und Prozesse der STARR.flex Technologie angepasst werden und sind nicht 1:1 übertragbar. Das Aspektverhältnis zwischen Lochtiefe und Lochdurchmesser muss beachtet werden.
  Hier geht´s zum **HDI Design Guide.**
- Standard STARR.flex Stackups mit HDI 1-x-1: Alle höherlagigen Lagenaufbauten sind für Microvias auf den Außenlagen geeignet.



von links: 1F-xRi / 2F-xRi / xRi – 2F – xRi / xRi – 4F – xRi

- Für die Verwendung von mehrfachen Microvia-Lagen und buried vias muss der Stackup immer angepasst werden. Hier machen wir Ihnen gerne einen Vorschlag.
- Nach der Auswahl der Via-Strategie muss der Stackup entsprechend angepasst werden.
- **WICHTIG:** Außerdem ist folgendes zu berücksichtigen: Die minimal möglichen Kupferstrukturen im PCB-Design sind abhängig von der Kupferschichtdicke.
  - Die Anforderungen für die Mindestkupferschichtdicken basieren unter anderem auf der Spezifikation der IPC-Klasse.
  - Filling- und Plating-Prozesse erzeugen zusätzlichen Kupferaufbau und limitieren somit den Einsatz feinster Strukturen.
  - Die Kombination unterschiedlicher Via-Typen kann zu mehrfachen Plating-Prozessen führen und definiert bzw. limitiert somit die kleinsten möglichen Strukturen im PCB-Design.

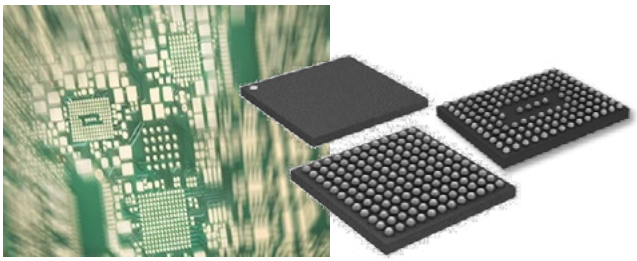
BEISPIEL



- Lagen 1 und 12 (Top und Bottom): PTH (IPC class 2) + PTH Filled&Capped (Typ VII) + Microvia
- Lagen 2 und 11: Microvia mit copperfilling
- Lagen 3 und 10: Microvia + Buried Via Filled&Capped (IPC-4761 Typ VII) (IPC class 2)
- Lagen 4 bis 9: Innenlagenkupfer ohne Plating

BEISPIEL AUS DER PRAXIS

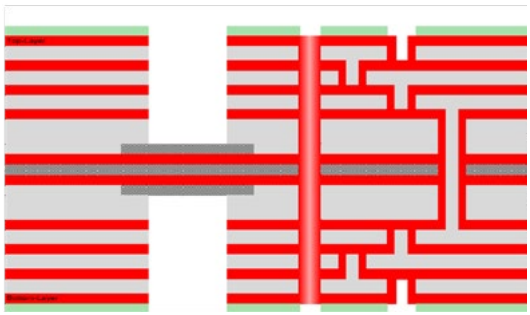
Die Zusammenarbeit des Leiterplattendesigners mit den Spezialist:innen unseres Technischen Projektmanagements führte durch kleine Anpassungen der Designregeln zu einem zuverlässigen und gut herstellbaren Produkt. So konnten beispielsweise stacked Microvias mit copperfilling vermieden werden.



UFBGA 169 P 0,5 mm W-CSP138 P 0,4 mm

Technologie: HDI-STARR.flex mit BGA-Bauteil Pitch 0,5 mm

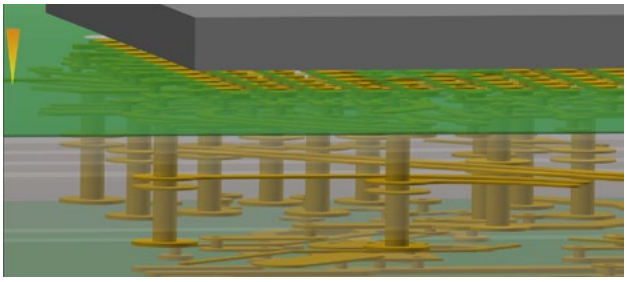
- STARR.flex 4Ri-2F-4Ri + HDI 3+4b+3
- Spezielle Designregeln lokal im µBGA-Bereich
  - Microvia Pad kleiner: 250 µm
  - µBGA-Pad kleiner: 240 µm
  - Lötstopplackfreistellungen 50 µm, teilweise 40 µm
  - grundsätzlich Microvia-in-Pad
  - partiell Leiterbreite / -abstand: 70 µm / 90 µm asymmetrisch (Lagen 2/3/8/9 mit Plating)



oben: Stackup STARR.flex 4Ri-2F-4Ri + HDI 3+4b+3
unten: räumliche Via-Struktur

Bei allen Via-Kombinationen ist eine individuelle Abstimmung über den Stackup und die Strukturen mit den FLEXperten erforderlich. Kontaktieren Sie uns bitte so früh wie möglich! flex@we-online.com

!



STARR.FLEX MIT IMPEDANZDEFINIERTEN STACKUPS, IMPEDANZMESSUNG BEI STARR.FLEX

Die Varianten innerhalb der STARR.flex-Technologien ermöglichen in der Designphase die Auswahl unterschiedlicher Impedanzmodelle. Durch Abstimmung und Anpassung der Stackups und der Designparameter lassen sich alle üblichen Schnittstellen-Spezifikationen simulieren und messen.

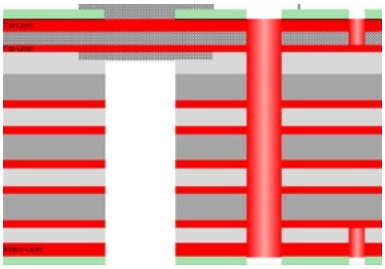
GRUNDSÄTZLICHE VORTEILE VON STARR.FLEX BEZÜGLICH SIGNALINTEGRITÄT

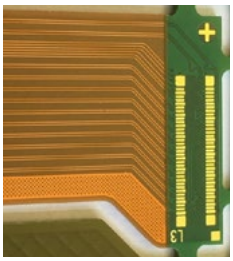
- Reproduzierbares Impedanzverhalten zwischen starren Bereichen, Wegfall der Impedanzsprünge an Steckern, Kabeln und Lötstellen sowie der Schwankungen durch Fertigungstoleranzen
- Flexible Bereiche als Kabelbaum mit Referenz bzw. Schirmung, auch koplanar ist möglich
- Höhere Flexibilität im Vergleich mit Kabeln, durch Kupferaufrasterungen gestaltbar.

VARIANTENSPEZIFISCHE VORTEILE DER STARR.FLEX VARIANTE 2F-XRI

Dieser Aufbau verfügt über einige spezifische Vorteile:

- 1:1 Übertragung der Signale über den Flexbereich ohne Lagenwechsel, dadurch keine Imdpedanzsprünge und Reflexionen
- Kontaktierung der Referenzlage über Microvias ohne großen Mehraufwand möglich
- Signalführung optional auch auf Innenlage / Lage 2 ohne Plating-Toleranzen möglich.





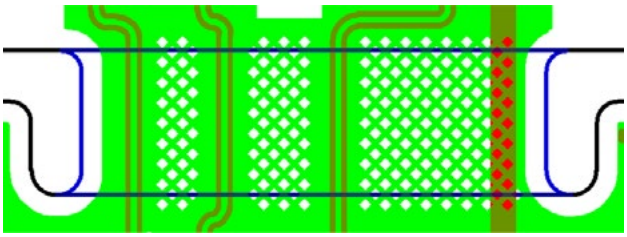
links: Stackup STARR.flex 2F-6Ri – HDI 1-6-1
rechts: Leiterplatte

STACKUP UND KUPFERDESIGN: HATCH

Eine kreuzförmige Aufrasterung der Referenzlagen führt zu

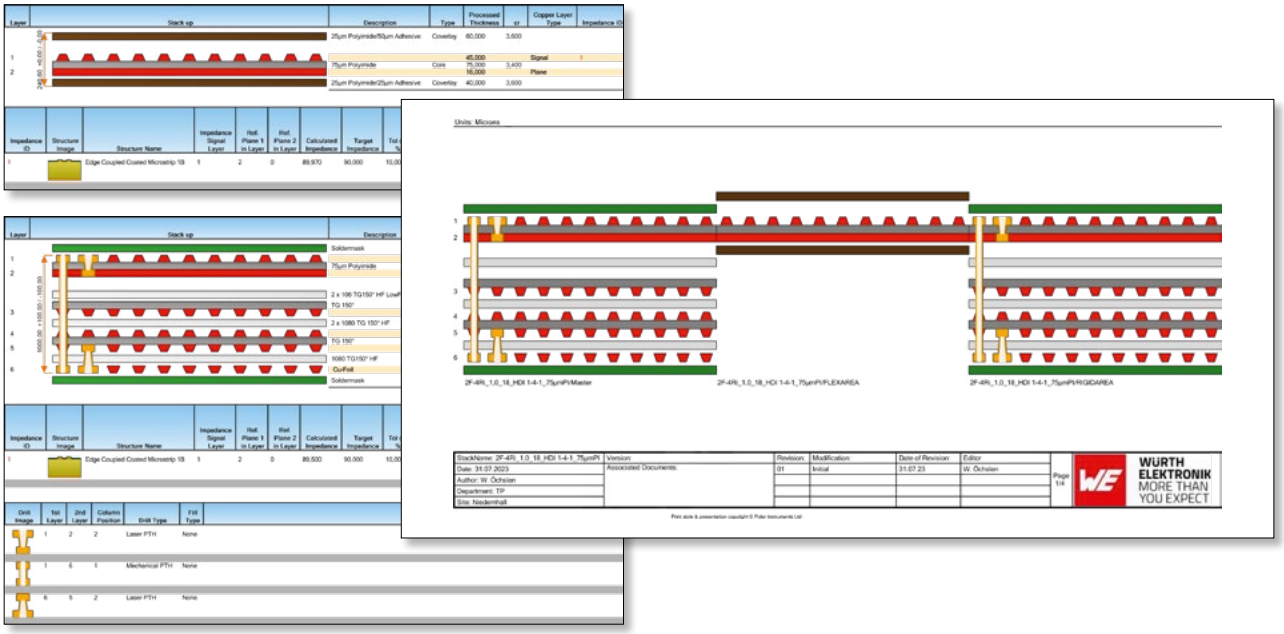
- Verbesserung der Biegbarkeit
- Verbesserung der Trocknungsmöglichkeiten vor dem Löten
- Erhöhung der Impedanz, es können dünnere, kostengünstigere Polyimidfolien eingesetzt werden.

Eine Aufrasterung sollte immer in unkritischen Bereichen und bis zu 5 bis 6 GHz eingesetzt werden. Als Kompromiss kann für einen ungestörten Rückpfad unter kritischen Signalen lokal nicht aufgerastertes Kupfer eingesetzt werden.



IMPEDANZ-BERECHNUNG

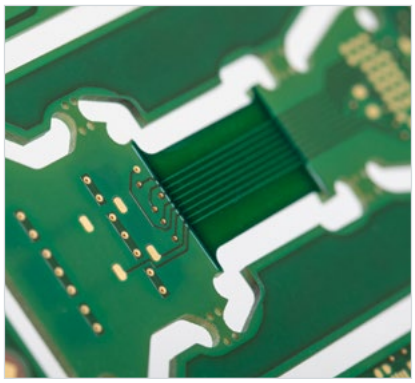
Mit den Spezifikationen der Impedanzwerte und den relevanten Signal- bzw. Referenzlagen können wir für Sie einen Stackup fertigungsgerecht modifizieren sowie die notwendigen Design-Parameter ermitteln.
Als Ergebnis erhalten Sie die Berechnung und Dokumentation, wie nachfolgend am Beispiel eines Stackups STARR.flex 2F-4Ri + HDI 1-4-1 gezeigt.



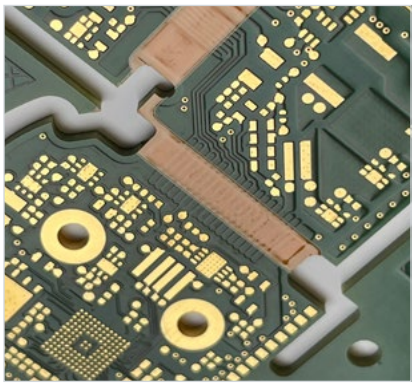
VERGLEICH FLEXLACK VERSUS COVERLAY

Starrflexible Leiterplatten unterscheiden sie sich neben ihrem applikationsspezifischen Design oft im Aufbau und in der Beschichtung der Flexbereiche. Während die starren Bereiche wie bei starren Leiterplatten mit einem standardmäßig grünen Lötstopplack bedeckt werden, kommen für die flexiblen Bereiche zwei unterschiedliche Beschichtungen zum Einsatz:

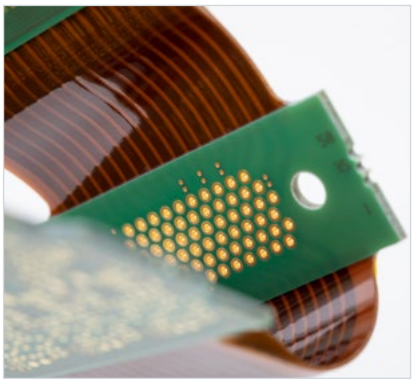
BEISPIELE



Flex außenliegend: links Flexlack



Mitte Coverlay



Rechts. Flex innenliegend mit Coverlay

FLEXIBLER LÖTSTOPPLACK ODER KURZ FLEXLACK

Flexlack ist Lack, also ein Gemisch aus Bindemittel, Lösemittel und Pigmenten. Im Unterschied zu Lötstopplack für starre Leiterplatten bleibt Flexlack nach dem Vernetzen flexibel, im Idealfall knickfest. Aufgetragen wird Flexlack mittels Inkjet oder Siebdruck.

COVERLAY ODER AUF DEUTSCH DECKFOLIE

Coverlay ist eine Verbundfolie aus Polyimidfolie und Kleberschicht. Polyimid-Foliendicke Standard 25µm, Kleberdicke passend zur Kupferschichtdicke. Weitere Polyimid-Foliendicken optional. Schneiden oder lasern, manuelle Registration und anheften, verpressen in der Vakuumpresse.

WANN KANN ICH ZWISCHEN FLEXLACK UND COVERLAY WÄHLEN?

Die Wahl ist nur möglich bei den Varianten mit außenliegenden Flexlagen 1F-xRi und 2F-xRi - und auch da nur für die Außenlage. Beim Stackup 2F-xRi wird die Kupferlage 2 immer mit Coverlay geschützt, ebenso grundsätzlich alle Kupferlagen bei innenliegenden Flexlagen.
Bei PURE.flex kann ebenso zwischen Flexlack und Coverlay gewählt werden.

!

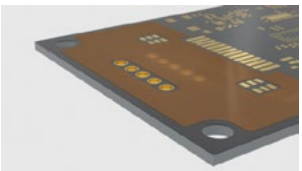
Sie suchen eine spezielle Lösung?
Sprechen Sie mit unseren FLEXperten!

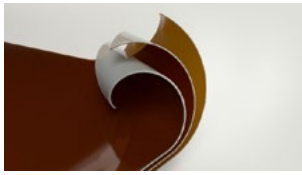
VERGLEICH AUSGEWÄHLTER EIGENSCHAFTEN

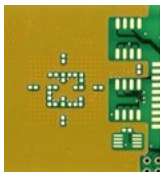
	Flexlack	Coverlay
Farbe	Grün	Amber / braun
Zusammensetzung	Gemisch aus Bindemittel, Lösemittel und Pigmenten	Verbundfolie aus Polyimidfolie und Kleberschicht
Registration	Automatisch, optisch	Mechanisch
Auftrag	Flüssig per Inkjet oder Siebdruck	Manuelles Verlegen, Vakuumverpressen
Strukturierung	Partieller Auftrag, Fotoprozess	Schneiden, lasern
Design	Sehr variabel, kleine einzelne Bereiche möglich	Kleine einzelne Bereich müssen in der PCB und/oder im Liefernutzen verbunden werden
Dynamische Biegeanwendung	Nein	Ja
Anwendbar auf Innenlagen	Nein	Ja
Anwendbar auf Außenlagen	Ja	Ja
Maximale Kupferdicke	Bis 70 µm	Bis 70 µm
Minimaler Abstand Vias und Pads zum Starr-Flex-Übergang	Kleiner, siehe Design Rules Parameter „G“	Größer, siehe Design Rules Parameter „G“
Einsatz im Vakuum	Bedingt	Sehr gut
Mechanische Robustheit	Lack mit Bleistifthärte ≥ 3H	Widerstandsfähige Folie
Durchschlagsfestigkeit	Ca. 150 V bei 5 µm Dicke	Ca. 3500 V/mil (1 mil = 25,4 µm)
Tenting von Microvias	Bedingt	Ja
UL Listung	Ja	Ja
Aufwand und Kosten	Geringer Aufwand, günstig	Hoher Aufwand, teurer

COVERLAY ALS ISOLATIONSFOLIE

Coverlayfolie kann als Schutz- und Isolationsfolie eingesetzt werden, sowohl auf den starren Bereichen einer STARR.flex-Leiterplatte als auch auf starren BASIC oder HDI-Leiterplatten.

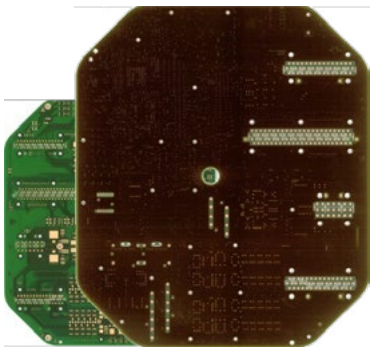


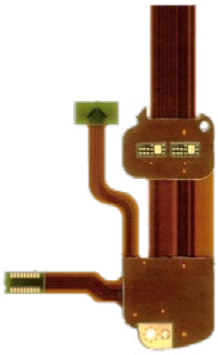




EIGENSCHAFTEN VON COVERLAY / DECKFOLIE

- Polyimiddicke typisch 25 µm, Kleberdicke 25 µm oder 50 µm
- Flammwidrig mit Rating V-0
- Thermische Leitfähigkeit 0,2 W m-1 K -1
- Durchschlagsfestigkeit ≥ 4 kV/mil
- Geringe Ausgasung





EINSATZBEREICHE

- Elektrische Isolation
- Thermische Leitfähigkeit
- Mechanischer Schutz
- Enge Platzverhältnisse
- Sicheres Überspannen von Bohrungen

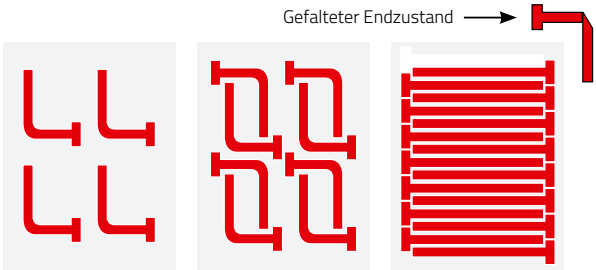
ANWENDUNGEN

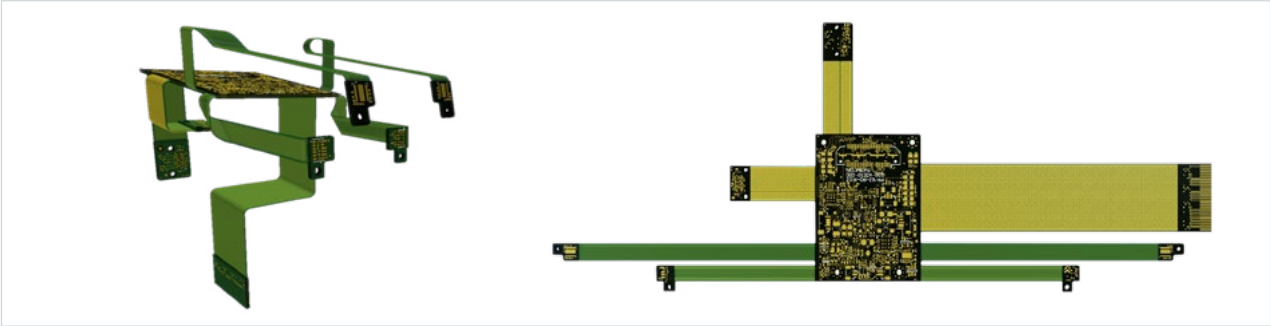
- Motorsteuergeräte
- Busbars
- Hochstrom
- Sensorik

Finden Sie hier unsere Design Rules:
www.we-online.com/designrulesisolationsfolie

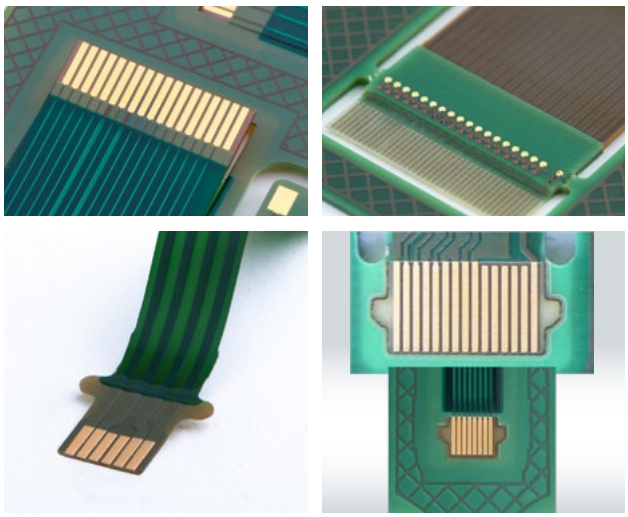
7 DIE MECHANISCHE KONSTRUKTION

- Kunststoffgerechtes Design: Immer große Konturradien an Innen- und Ausenradien in den Flexbereichen vorsehen
- Optional Registrationsbohrungen für das Verkleben von Verstärkungen oder Heatsinks vorsehen
- Flexausleger flächensparend anordnen, ggf. mehrere Ausleger kombinieren, Falttechnik einsetzen

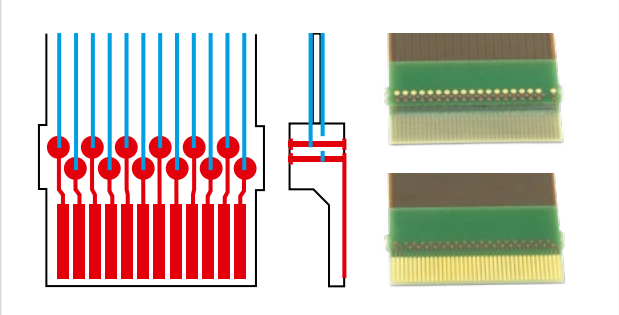




- STARR.flex:
  Bauteile und Stecker immer auf starren Bereichen
- Kontakte für ZIF-Stecker:
  - Standard Dicke 0,3 mm ± 0,05 mm, durch Tiefenfräsprozess hergestellt
  - Handlingshilfen und Rasthaken möglich
  - Erhöhte Anforderung: Toleranz +/- 0,03 mm mit Polyimid-Stiffener nach Absprache möglich (Mehrkosten!)
  - Kontur mit Laser geschnitten, Mikrostege ermöglichen das Austrennen ohne Schneidwerkzeuge



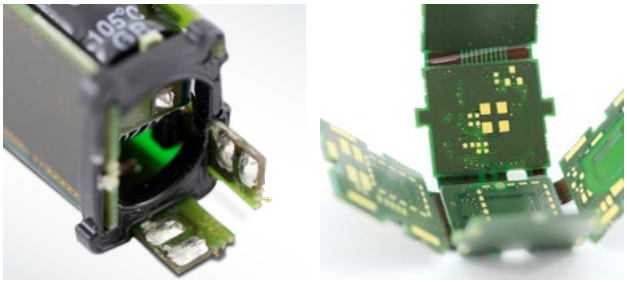
- Bei STARR.flex mit Flex innenliegend wird vor dem ZIF-Bereich ein Wechsel über Vias auf die Außenlage empfohlen



- Biegeradien in Abhängigkeit der Flexdicke konstruieren

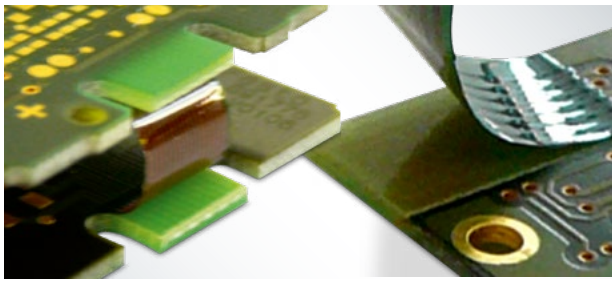
Biegeradius [mm]	1	2	3	4	5	6	7	
Flexbereich 1-lagig	Dicke x 10							IPC-2223: Use A
Flexbereich 2-lagig		Dicke x 10						Flex-to-install
Flexbereich 4-lagig				Dicke x 20				
SEMI.flex								
BEND.flex								

- STARR.flex: „Nut- und Federkonstruktionen" oder Kunststoff-Halterahmen einsetzen

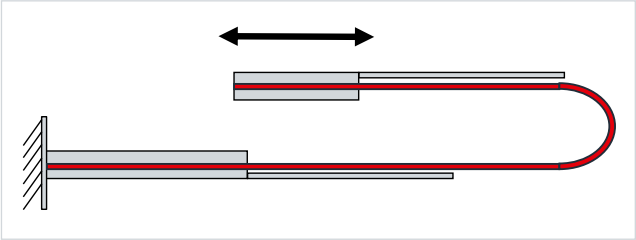


„FLEX LIFT-OFF“ – TECHNIK

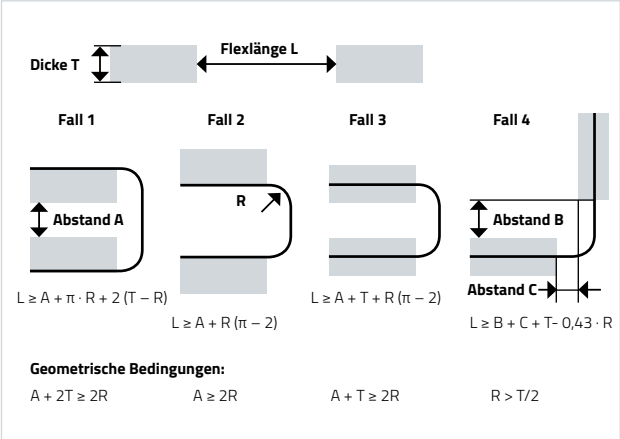
Achtung: KEIN Kupferlayout unter dem Flex und KEINE Vias erlaubt!



- Lift-off-Technik mit Anliege- und Abrollfläche ideal für Dauerbiegebelastungen



KALKULATION DER FLEXLÄNGE

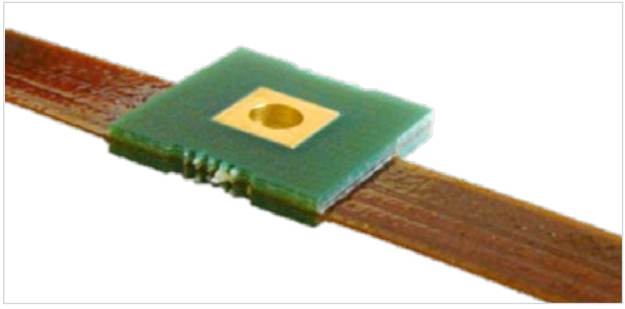


- Bei kurzen Flexbereichen lassen sich vier verklebte Flexlagen besser biegen als 2+2 Flexlagen mit Airgap

Air gap Designs müssen eine ausreichende Länge des Flexbereiches aufweisen, wir empfehlen mindestens 50 mm.

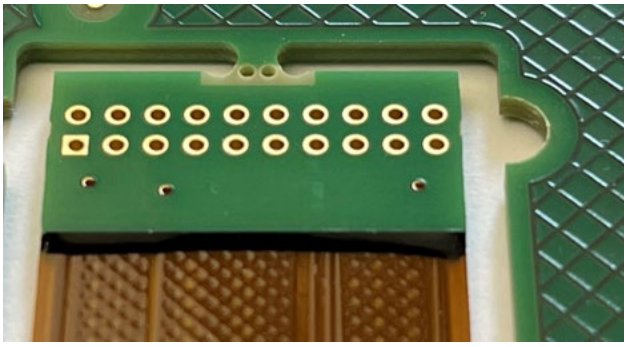
BEFESTIGUNGEN

- Verwenden Sie zur Befestigungen von flexiblen Bereichen bei STARR.flex kleine, integrierte Starrbereiche
  - mit metallisierten oder nicht-metallisierten Bohrungen zur Befestigung am Gehäuse
  - als Biegehilfe und zur Befestigung von gebogenen/ gefalteten Flexbereichen.



OPTION KLEBERKEHLEN

zur Spannungsentlastung nach IPC-2223 5.2.9

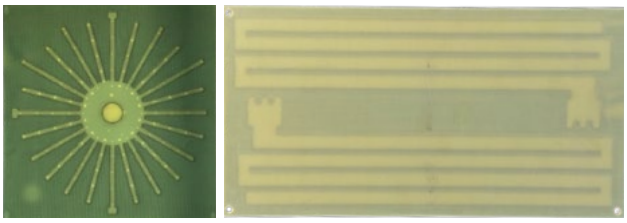


LÖTTRÄGER

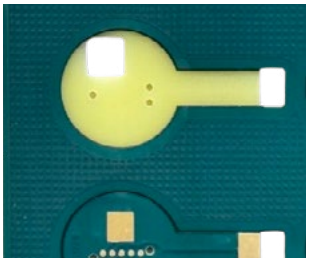
Für das Bestücken von dünnen Substraten mit Standardprozessen, beispielsweise in SLIM.flex- und PURE.flex-Technologie, gibt es eine einfache Option mit einem Lötträger in unterschiedlichen Ausführungen. Würth Elektronik kann Ihre Leiterplatte mit einem geklebten Lötträger aus FR-4.0 liefern, so dass die Bestückung auf normalen Automaten möglich ist. Die mögliche Dicke des Lötträgers finden Sie in den entsprechenden **Design Rules**.

- Es kann nur der Liefernutzenrand mit dem Lötträger verklebt sein, so dass die Leiterplatte nach dem Austrennen aus dem Rahmen wieder voll flexibel ist.
- Alternativ können auch einzelne Bereiche mit dem vorgefrästen Lötträger verklebt werden und als Stiffener auf der Baugruppe verbleiben. Die Dicke kann durch Tiefenfräsen reduziert werden.
- Öffnungen im Lötträger ermöglichen die Bestückung auch auf der Bottom Seite in einer Kavität.

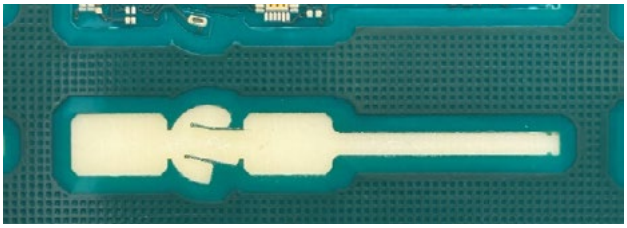
BEISPIELE



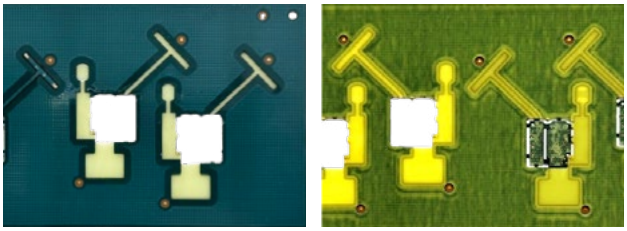
Ansicht von Lötträgerseite: Einfacher Lötträger für flexible Leiterplatten, einseitig bestückt



Lötträger für PCB mit ZIF-Kontakt



Ansicht von PCB-Seite: Lötträger mit ausgetrennter PURE.flex PCB



Lötträger für PCB mit dickenreduziertem Stiffener.
links: Vorderseite, rechts: Rückseite / Lötträger

BESTÜCKUNG BEIDSEITIG MIT LÖTTRÄGER

Für die Bestückung mit Bauteilen auf der Lötträgerseite (Bottom) gibt es die Option, diesen mit Öffnungen zu versehen.

Lötträger mit Öffnungen für Bestückung auf Bottom:
SLIM.flex Handmuster WE.scope

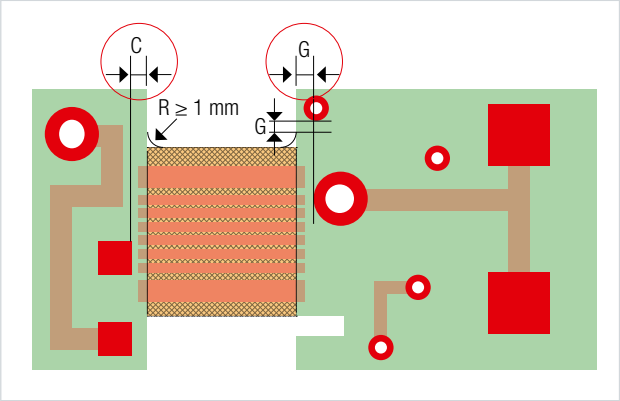
Für die Bestückung müssen einige Besonderheiten beachtet werden. Der Lotpastenauftrag muss in die Kavität appliziert werden, dabei muss die Dicke des Lötträgers beachtet werden. Folgende Möglichkeiten kommen in Betracht:

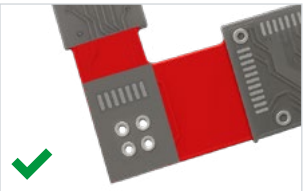
- Dispensen mit kleiner Nozzle
- Jetprinten
- 3D Stufenschablone

8 LAYOUT UND ROUTING

BESONDERHEITEN UND EMPFEHLUNGEN BEI STARRFLEX-LEITERPLATTEN

- Extra mechanische Lage zur Beschreibung der Flex- und Starrbereiche im EDA-Tool verwenden





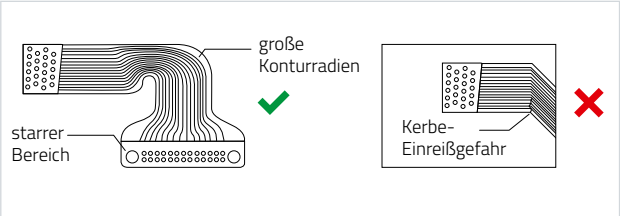
- Keine Vias und keine Pads im Biegebereich
- Vias und Pads grundsätzlich auf starre Bereiche legen. Dafür können im Flexbereich, außerhalb der Biegebereiche, auch kleine starre Bereiche eingebaut werden.
- Teardrops verwenden
- NFP (Non Functional Pads) / non-used Pads auf den flexiblen Lagen nicht entfernen
- Kupferflächen auf allen Lagen müssen gerastert bzw. mit Öffnungen versehen werden, um eine Trocknung zu ermöglichen. Weitere Informationen dazu finden Sie unter **www.we-online.com/trocknungsvorschrift**
- Impedanz-Design:
  - Eine Anpassung der Layoutparameter im Flexbereich an die veränderten dielektrischen Werte ist notwendig
  - Auf eine Aufrasterung der Referenzlage direkt über oder unter differentiellen Übertragungsleitungen kann verzichtet werden, jedoch nicht in der gesamten Referenzlage
  - Weitere Hinweise und Erklärungen siehe Kapitel 6: STARR.flex mit impedanzdefinierten Stackups, Impedanzmessung bei STARR.flex
- Flexible und Starrflexible Leiterplatten müssen vor dem Bestücken getrocknet werden.
  Weitere Informationen dazu finden Sie unter **www.we-online.com/trocknungsprozesse**

DESIGN RULES

Unsere Design Rules umfassen alle wichtigen Kenngrößen, die Sie benötigen, um Ihr Projekt erfolgreich zu machen. Grundlegend gelten die Regeln für Leiterbreiten, -abstände, Via- und Padgrößen sowie für die Lötstoppmaske, die Sie in unseren BASIC Design Rules (**www.we-online.com/designrulesbasic**) finden.

Darauf aufbauend gelten die sektionalen Design Rules für
- PURE.flex (**www.we-online.com/designrulespureflex**)
- SEMI.flex (**www.we-online.com/designrulessemiflex**)
- STARR.flex (**www.we-online.com/designrulesstarrflex**)
- SLIM.flex (**www.we-online.com/designrulesslimflex**)

LAYOUT / ROUTING IM BIEGEBEREICH



- Leiterführung parallel und senkrecht zur Biegelinie
- Rechtwinklige Leiterführung am Starrflex Übergang
- Keine Durchkontaktierungen im Biegebereich bei Flex-Leiterplatten
- Keine Änderung der Breite oder Richtung von Leitern im Biegebereich
- Runde Leiterführungen und große Konturradien verwenden
- Leiter gleichmäßig verteilen , kupferfreie Bereiche auffüllen
- Versetzte Leiter auf TOP/Bottom bei beidseitiger Führung (Verhinderung „I-Beam"-Effekt)
- Vollflächige Kupfer-Referenzlagen immer mit Kupferöffnungen versehen zur Verbesserung der Flexibilität und Trockenbarkeit sowohl im Flex wie im Starrbereich

Abstände von Bohrungen und SMD-Pads zum Starrflex-Übergang beachten, siehe Design Rules Würth Elektronik

!

!

Bei IPC-2223 „Use B" (Dauerbiegebelastung) und„Use D" (UL Listung) Anwendungen unbedingt Rücksprache mit unseren Spezialisten halten!

9 DIE UNTERLAGEN FÜR DIE STARRFLEX-LEITERPLATTE

- Alle zutreffenden Punkte aus der Projekt-Checkliste (Kapitel 4) beifügen. Hierbei bitte grundsätzlich darauf achten, dass keine Überspezifikation mit übertriebenen Sicherheitsreserven formuliert werden. Vorsicht vor dem Kopieren von Spezifikationen aus anderen Projekten, dies führt meist zu überhöhten Kosten. Bezüglich UL reicht fast immer eine Spezifikation UL94 V-1.
- Definieren, was führend ist: Zeichnung oder Daten. Die elektronischen Daten (Gerber/ODB++, CAD Daten) enthalten bereits alle geometrischen Abmessungen.
- Keine Überspezifikation: eine gute Zeichnung zeigt die flache Abwicklung der Schaltung (2D), eine 3D Ansicht der Einbausituation und nur kritische Dimensionen. Jedes überflüssige Maß auf der Zeichnung muss mit den elektronischen Daten verglichen werden und führt bei Diskrepanzen unweigerlich zu Klärungen, Verzögerungen und zusätzlichem Aufwand.
- Materialien möglichst allgemein spezifizieren, z. B. nach IPC Spezifikationsblättern. Keine Materialbezeichnungen von Lieferant X mit Material Y vorschreiben.
- Kleberschichten sollten grundsätzlich nicht bemaßt werden, sondern nur die Gesamtdicke, Kupferdicken und notwendige Dielektrikumsdicken (z. B. wegen Impedanz- oder Isolationsforderungen).
- Allgemeine Vorgaben zur Erstellung eines optimalen Liefernutzens und mögliche Positionen für Stege. Im Flexbereich bietet der Laserschnitt eine bevorzugte Alternative. Ein in der Anfrage vorgegebener Liefernutzen kann dann durch einen günstigeren ersetzt werden und führt durch eine bessere Auslastung zu einem günstigeren Preis.

10 WEITERVERARBEITUNG

TROCKNEN:

Grundsatzlich weisen Leiterplatten direkt nach der Herstellung durch die Herstellprozesse und Umgebungsbedingungen bereits einen gewissen Feuchtegehalt auf. Sie sind also ohne besondere Behandlung nie frei von Feuchtigkeit, die in die dielektrischen Materialien eindiffundiert ist. Über die Lagerungszeit kann der Feuchtegehalt bei ungünstigen Lagerbedingungen weiter ansteigen. Um eine Beschädigung bei den Lötprozessen zu vermeiden, kann es erforderlich sein, die Leiterplatten unmittelbar vor der Bestückung in einem geeigneten Ofen zu trocknen oder für eine längere Zeit in einer trockenen Atmosphäre zu lagern (Trockenlagerschrank).
Für flexible und starrflexible Leiterplatten ist dieses Trocknen vor dem Löten obligatorisch!

Die notwendigen Trocknungsparameter sind abhängig vom Leiterplattendesign (Kupferflächen), dem Trocknungsequipment und der Anordnung der Leiterplatten darin, dem Leiterplattenmaterial, dem Lötprozess und den Lötparametern, letzteres gegebenenfalls auch mehrfach und kombiniert aus Reflow-, Wellen- und partieller Löttechnik. Diese Trocknungsparameter müssen beim Leiterplattenbestücker ermittelt und verifiziert werden. Besonderer Wert ist dabei auch auf die Logistik und insbesondere Liegezeiten zu legen, da die getrockneten Leiterplatten aus der Umgebung wieder Feuchte aufnehmen. Eine Verpackung der Leiterplatten in einer Feuchtigkeitssperrverpackung (Moisture Barrier Bag, MBB) ist für die Lieferkette und Lagerung nicht ausreichend.

HINWEISE ZUR LIEFERNUTZENTRENNUNG:

Bitte vermeiden Sie das Einbringen von Spannungen beim Trennprozess durch das Verwenden von geeigneten Trennprozessen, damit empfindliche Bauteile und auch die Leiterplatte nicht beschädigt werden. Bei flexiblen und starrflexiblen Leiterplatten muss das Flexmaterial an den Stegen vor dem Brechen durchtrennt sein, um eine Delamination in der Leiterplatte zu vermeiden. Sollbruchbohrungen alleine sind hierfür nicht ausreichend! Bitte fragen Sie diese Optionen an, wir erstellen Ihnen dazu gerne ein Angebot mit einem Liefernutzenvorschlag.

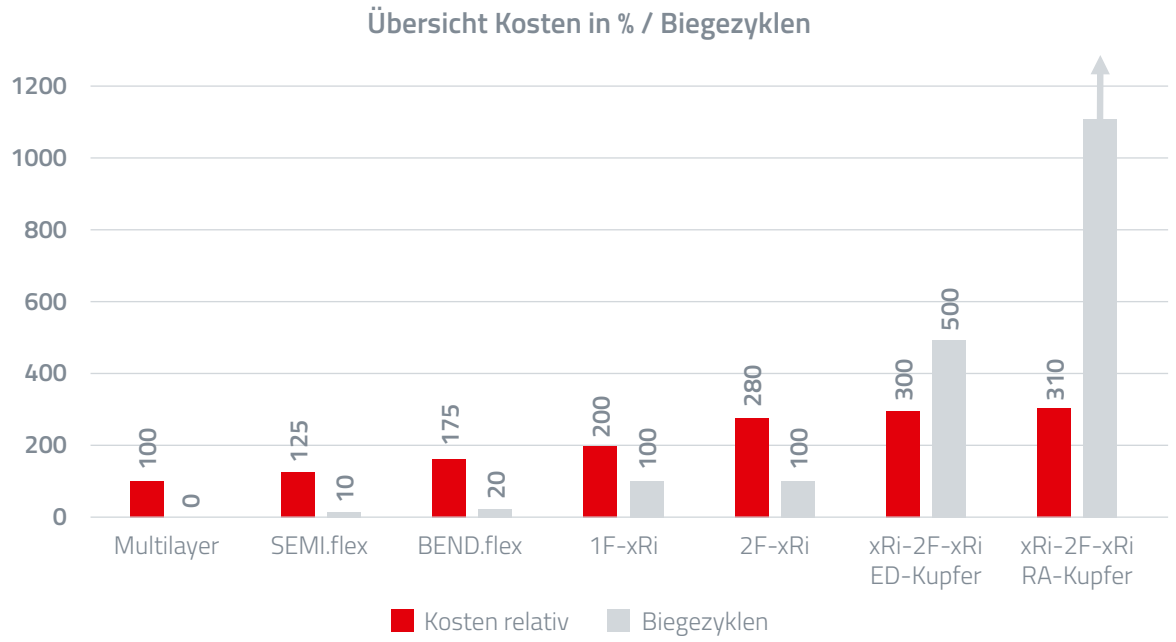
Unter keinen Umständen sollten Sie Seitenschneider für das Abknipsen von Stegen verwenden!

! **Weitere Informationen zum Thema „Trocknen" finden Sie unter**
www.we-online.com/trocknungsvorschrift
www.we-online.com/trocknungsprozesse

11 KOSTEN, SYSTEMKOSTEN

Die Betrachtung der Kosten sollte primär nach der Entscheidung für die zuverlässige elektrophysikalische Funktion der Leiterplatte stattfinden. Design und Kosten stehen dabei in einem direkten Zusammenhang. Dabei muss unbedingt zwischen den Leiterplattenkosten und den Systemkosten unterschieden werden. Für ein Produkt sind einzig die Systemkosten relevant, für Leiterplatteneinkäufer dagegen (nur) die Leiterplattenkosten. So ist ein möglicher Interessenkonflikt bereits im System angelegt, wenn nicht vor Beginn einer Entwicklung die Performance- und die Kostenziele definiert werden.

FLEXIBILITÄT UND KOSTEN IM VERHÄLTNIS – EINE ABSCHÄTZUNG



Zu den Systemkosten zählen neben den Leiterplattenkosten auch Kosten für Bauteile und Bestückung, Einbau, Test und Inbetriebnahmen sowie die Qualitätskosten. Für das Gesamtsystem kann es günstig sein, eine höherwertige Leiterplattentechnologie einzusetzen und dadurch eine höhere Miniaturisierung, Performance und Zuverlässigkeit bei gleichen oder gar geringeren Systemkosten zu erreichen. Dies kann beispielsweise häufig bei der Anwendung von STARR.flex festgestellt werden.

Im Folgenden finden Sie eine Aufzählung von Einflussfaktoren auf die Leiterplattenkosten.

- **Leiterplattengröße und Nutzenauslegung**
  Hier kann die frühe Abstimmung mit dem Leiterplattenhersteller über die optimale Auslastung des Fertigungszuschnitts immense Einsparungen bringen.
  Eine bessere Auslastung kann auch über eine geänderte Verschachtelung, einen schmäleren Abstand oder / und Nutzenrand oder eine alternative Konturbearbeitung erzielt werden.
- **Materialauswahl und Lagenaufbau**
  Wann immer möglich sollte die Verwendung von Standardaufbauten angestrebt werden. Dadurch können Fehler im Aufbau und die Verwendung von exotischen Materialien oder Materialdicken vermieden werden. Standardmaterialien liegen auf Lager und die Leiterplatte kann in der Regel schneller geliefert werden. Zulassungen dürfen hierbei nicht vergessen werden. Beispielsweise kann es vorkommen, dass für vom Standard abweichende Konstruktionen keine UL-Listung vorliegt und deshalb keine UL-Kennzeichnung möglich ist.
- **Strukturen**
  Je feiner die Strukturen, desto geringer wird die Ausbeute in der Produktion. Damit steigen die Kosten. Auch hier sollte der (wirtschaftliche) Standard benutzt werden, solange es möglich ist.
- **Mechanische Bearbeitung**
  Kleine Bohrer sind teurer und kürzer. Sie können damit weniger Platten im Stapel bohren und verschleißen schneller. Laserbohren ist bei einer großen Anzahl von Vias günstiger. Aufwändige Fräskonturen mit kleinem Durchmesser können die Leiterplattenkosten erheblich erhöhen.

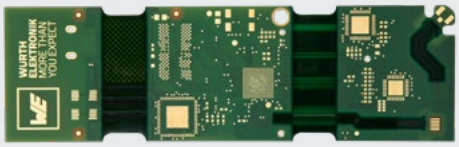
FORDERN SIE IHR HANDMUSTER AN

- **Mehrfachverpressungen** sind teuer, weil dabei praktisch die gesamte Produktion mehrfach durchlaufen werden muss. Es lohnt sich, Via-Strategien und Lagenaufbau mit dem Leiterplattenhersteller frühzeitig zu besprechen.
- **Weitere Kostentreiber** sind Kantenmetallisierung, Viafilling und dicke Goldschichten.
- **Umgang mit Ausschussteilen:**
  Bei Mehrfach-Liefernutzen sollte ein gewisser Anteil an Schlechtteilen erlaubt sein. Eine zu strenge Liefervorschrift kann die Wirtschaftlichkeit und die Lieferfähigkeit gefährden, ganz zu schweigen von der unnötigen Belastung der Umwelt durch Ressourcenverschwendung.

Leiterplattenkosten und der Designeinfluss auf dieselben lassen sich nicht allgemeingültig darstellen. Es hilft jedoch, die Trends zu kennen. Eine Möglichkeit zur Klärung dieser Trends oder auch zum Vergleich von Designvarianten ist die Anfrage von Vergleichsangeboten bei Ihrem bevorzugten Leiterplattenhersteller. Wir machen das gerne, wenn wir auch regelmäßig Aufträge von Ihnen bekommen.

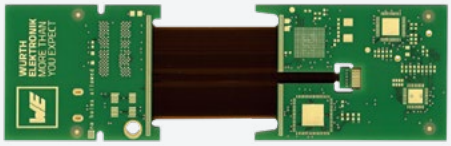
Und zum Schluss nochmals ein guter Rat: Sprechen Sie frühzeitig und regelmäßig mit Ihrem Leiterplattenhersteller und profitieren Sie von seiner Erfahrung. In Europa ist das noch möglich.

!



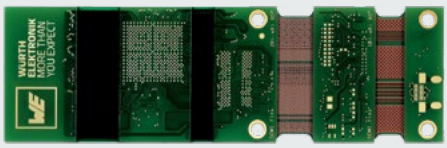
STARR.flex
Handmuster
WE.flexone

Weitere Informationen und Ihr kostenloses Muster erhalten Sie hier:



STARR.flex
Handmuster
WE.flextwo

Weitere Informationen und Ihr kostenloses Muster erhalten Sie hier:



BEND.flex & SEMI.flex
Handmuster
WE.bend

Weitere Informationen und Ihr kostenloses Muster erhalten Sie hier:

SLIM.flex
Handmuster
WE.scope

Weitere Informationen und Ihr kostenloses Muster erhalten Sie hier:

Hotline zu unseren „FLEXperten“:
Phone +49 7940 946-FLEX (3539)
flex@we-online.com
www.we-online.com/flex

Würth Elektronik GmbH & Co. KG
Circuit Board Technology
Salzstr. 21 · 74676 Niedernhall · Deutschland

Version 06.2025 / 504720 DE