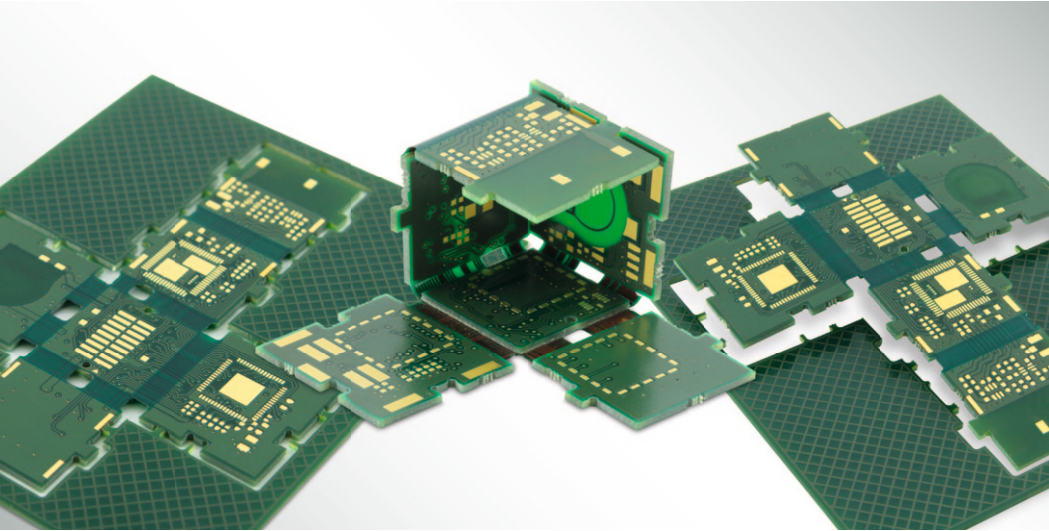




Starrflex Design Guide

Teil 1



Der Trend zur Miniaturisierung in der Elektronik ist ungebrochen. Eine effiziente Nutzung des immer kleiner werdenden Gehäusevolumens in allen drei Dimensionen mit einer integralen Leiterplattenlösung erfreut sich zunehmender Beliebtheit.

Flexible Folien aus Polyimid und LCP (Liquid Cristal Polymer) mit einer typischen Dicke von 50 µm sind hochtemperaturbeständige Materialien und können mit Kupferkaschierung als Basismaterial für reine Flexleiterplatten oder in Kombination mit starren Basismaterialien als Starrflex-Leiterplatten mit allen gängigen Lötverfahren verarbeitet werden. Dünne FR4-Schichten in FR4 Semiflex Leiterplatten sind ebenfalls biegsam.

Würth Elektronik hat in den letzten Jahren über die bereits realisierten Projekte und Aufträge verschiedenster Aufbauten und Anwendungen von **Aerospace bis Zahnarztgerät** ein umfangreiches Knowhow angesammelt und beliefert aktuell über 500 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 Starrflex-Leiterplatten erklären und praktische Hinweise zum Design geben:

- 1. Starrflex-Leiterplatten in der Systembetrachtung**
- 2. Projekt-Checkliste für Systemanforderungen**
- 3. Die Auswahl der richtigen Technologie**
- 4. Materialien und Aufbauparameter**
- 5. Die mechanische Konstruktion**
- 6. Layout und Routing**
- 7. Unterlagen für die Leiterplattenherstellung**

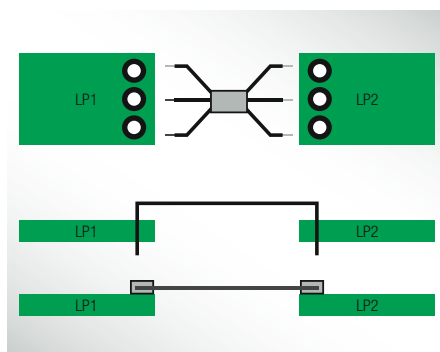


Grundsätzlich sind Standards zu beachten wie IPC-2223, IPC-6013, Basic Design Guide von Würth Elektronik sowie variantenspezifische Designregeln und Trocknungsempfehlungen.

1. Starrflex-Leiterplatten in der Systembetrachtung

Ein System kann grundsätzlich unterschiedlich gebildet werden:

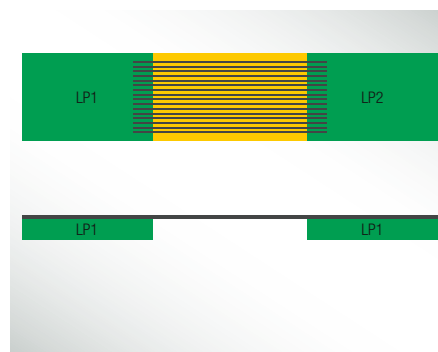
Inhomogenes System



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

- Wenige Verbindungen
- Unkritische Anwendungen
- Verdrahtungsfehler möglich

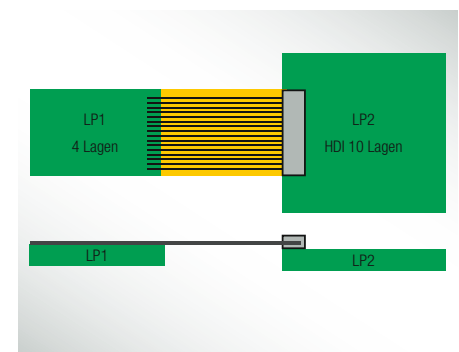
Homogenes System



Leiterplatten Lagenaufbau identisch in allen Starrbereichen und integrierte Flexlage(n) durchgehend

- Wesentlich höhere Verdrahtungsdichte
- Spart wertvolle Fläche durch den Wegfall der Verbindungsstellen (Lötlagen oder Footprint der Stecker)
- Beste Verdrahtungszuverlässigkeit

Teilhomogenes System

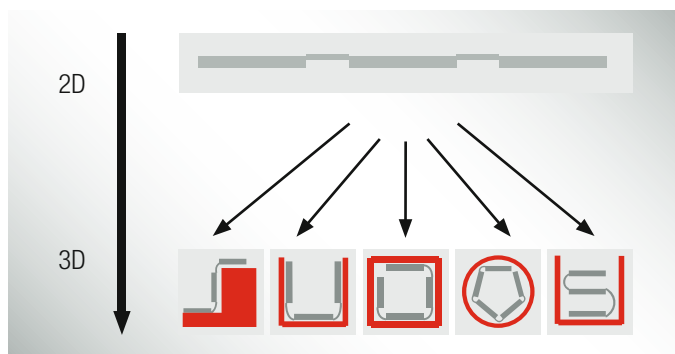


Teilsysteme technologisch und größenmäßig stark unterschiedlich: z. B. Starrflex/Stecker-Kombination

- Trennbar

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

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

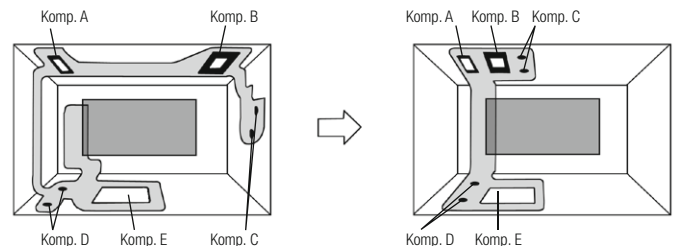


- Bestückung, Löten und Testen im flachen Zustand im Mehrfach-Nutzen
- Trennen, Formen und Einbauen

Vorteile:

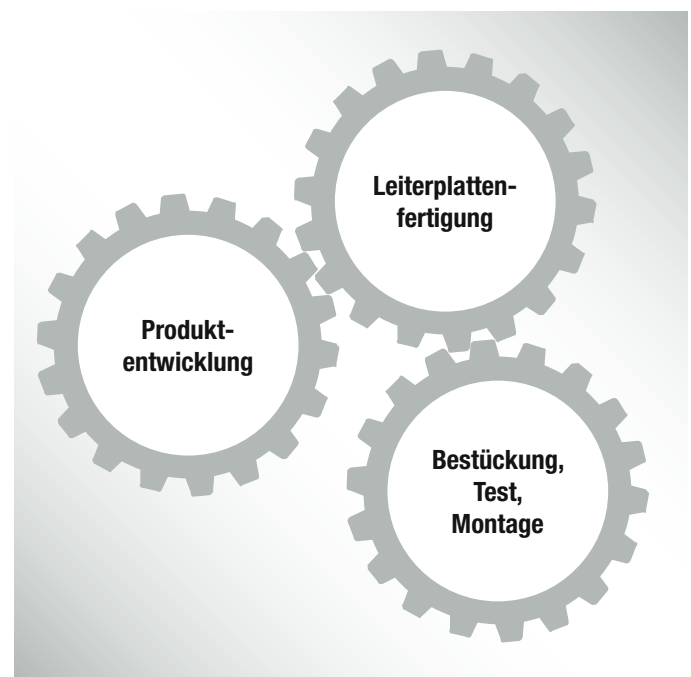
- Deutlich geringerer Platzbedarf durch dreidimensionale Verdrahtung
- Wegfall zusätzlicher Bauteile wie Stecker und Verbindungskabel
- Verbesserte Signalübertragung durch den Entfall von Leiterquerschnittsänderungen (Stecker, Kabel, Lötanschlüsse)
- Gewichtsreduzierung
- Gewinn von wertvoller Bestück- und Verdrahtungsfläche
- Verringerung des logistischen Aufwands
- Lösung schwieriger Kontaktierungen möglich, Vereinfachung der Montage
- Wesentlich bessere Zuverlässigkeit des Gesamtsystems (eine homogene Einheit ist deutlich zuverlässiger als eine mit Steckern und Kabel verbundene Baugruppe)
- Kombination mit HDI-Techniken (Microvia, Buried Via, Feinstleiter) in vielen Fällen möglich
- Kombination mit Heatsink-Technik möglich

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.

Beteiligung aller Stationen der Wertschöpfungskette



Flex-/ Starrflexprojekte: Interdisziplinäre Zusammenarbeit bei der Entwicklung unabdingbar!

2. Projekt-Checkliste für Systemanforderungen

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

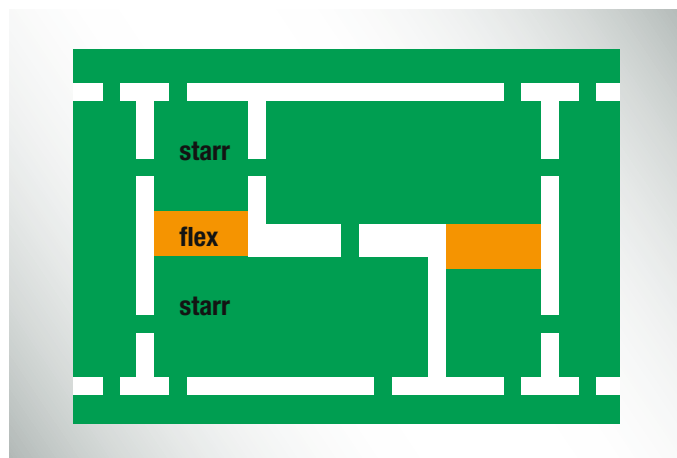
b) Kommerzielle Anforderungen: Stückzahlen, Kostenziele, Zeitplan Prototypen, Vorserie, Serienfreigabe, Ramp-up, Second Source, ggf. Auditplanung

c) Gesetzliche Anforderungen: Zulassungen, geregelter Markt Medizintechnik, BAFA-Relevanz

d) Zuverlässigkeitsanforderungen: IPC Klasse 1/2/3, Ausfall-Risikoanalyse, Produkthaftung, Qualitätsmanagementvereinbarung, APQP, PPAP, 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

Anzahl Flexlagen	1	2	4	6	8	10	12
Flex/TWINflex							
Starrflex Flex außen							
Starrflex Flex innen							
FR4 Semiflex							

Flexkerne nicht verklebt

i) Art und Platzierung der Bauteile, Aufbau- und Verbindungstechnik: Viatechnik-bestimmende Bauteile wie BGA, Stackup, Nackchiptechnik, Lötfläche, Lieferrutzen, 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

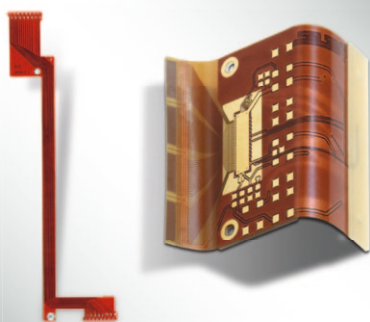
k) Weiterverarbeitung der Leiterplatte: Möglichkeiten der Trocknung vor dem Löten, Logistik, Trockenlagerung, Nutzentrennung, Handling, Biegewerkzeug, Gehäusemontage, Einbautoleranzen und Befestigungsmöglichkeiten

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

3. Die Auswahl der richtigen Technologie

Mögliche Varianten:

Flex / TWINflex®



2F (Flex)



2F-Ri (TWINflex)



4F mit Microvias 1-2/2-3/3-4



Zum Vergleich:

1F-Ri (TWINflex)



1F-ORi (Starrflex)

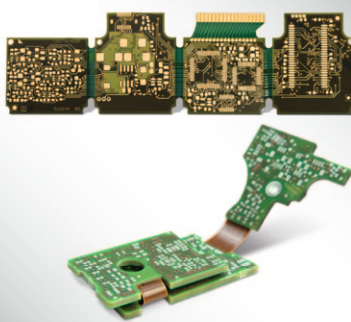


- Sehr dünne Flexfolie PI /LCP
- 1 bis 6 Kupferlagen
- Partiiell durch „Stiffener“ verstärkt
- Fotosensitive Lötstopffolie oder Deckfolie (Polyimid Coverlay)
- Lieferung einzeln oder im Nutzen

HINWEIS:

Aufbau Starrflex 1F-ORi kann günstiger sein als ein TWINflex 1F-Ri

Starrflex



1F-5Ri



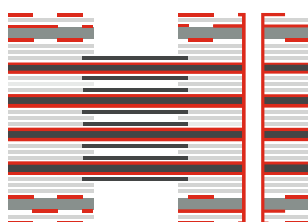
2F-2Ri



3Ri-2F-3Ri

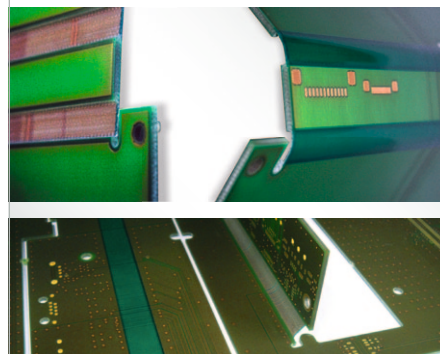


3Ri-8F-3Ri



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

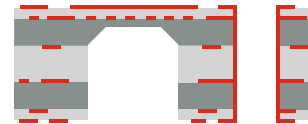
FR4 Semiflex



ML4 Semiflex 1-lagig



ML6 Semiflex 2-lagig



- Starre FR4 LP mit Tiefenfräsprozess
- Kostengünstig
- Klar definierte Einbausituation und großer Biegeradius
- Biegebereich: 1 oder 2 Kupferlagen, Flexlack oder Deckfolie (Polyimid Coverlay)

HINWEIS:

Oft preisgünstiger als eine Stecker-Kabel-Stecker-Lösung

Indikatoren für den bevorzugten Einsatz einzelner Varianten:

Variante	Indikatoren für	Bemerkungen
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 und LCP bis über 200°C einsetzbar
	Hochfrequenzanwendungen	Gute Dickentoleranz, Cu Treatment flach
	Vias im Flexbereich	Jedoch NICHT im Biegebereich erlaubt!
TWINflex xF-Ri	Entwärmungsproblem	Metall-Verstärkung (Heatsink)
FR4 Semiflex	Flex-to-install mit großen Biegeradien	Preiswerte Lösung
	Große Leiterplatte mit gewinkeltem Stecker	Nur Biegebarkeit notwendig
	Flexmaterial nicht erlaubt	Nur starre Basismaterialien
Starrflex 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
	Kurze Trockenzeiten	Flexlage außenliegend
Starrflex 2F-xRi	Hochfrequente Verbindung Bauteil-zu-Stecker über Flexbereich mit Bezugslage	Keine Vias zum Umsteigen nötig ACHTUNG: aufwändig, (siehe Tabelle ff)
Starrflex xRi-1F-xRi	Hochdynamisches Dauerbiegen	Kupfer in neutraler Phase ideal
	Hohe Zuverlässigkeitsanforderungen	-
Starrflex xRi-2F-xRi	Bezugslage wegen Signalintegrität	Polyimid mit 50/75/100 µm möglich
	Hohe Zuverlässigkeitsanforderungen	Robuste Technik, mechanische Stabilität

Indikatoren gegen den Einsatz einzelner Varianten:

Variante	Indikator gegen	Bemerkungen
Flex xF	Bedrahtete Bauteile oder Stecker	Keine Hülse, geringe mechanische Stabilität
TWINflex xF-Ri	Viele einzelne Verstärkungen	Besser Starrflex 1F-xRi verwenden
FR4 Semiflex	S-förmiger Biegeverlauf in einer Fläche	Glasmatte nicht auf Zug belasten
	Befestigung an mehrteiligem Gehäuse	Montagetoleranzen wirken auf Semiflex Bereich
Starrflex 1F-xRi	-	-
Starrflex 2F-xRi	Große Leiterplatten	Aufbau neigt zu Wölbung Verwindung, begrenzte Fläche
	Große Stückzahlen	begrenzte Fläche und schnell kostenintensiv
Starrflex xRi-2F-xRi	-	-



Regeln für Leiterstrukturen, Viagrößen und Lötstopmmaske entnehmen Sie dem Basic Design Guide von Würth Elektronik.



Eine detailliertere Analyse der Anforderungen aus der Checkliste sollte in einem Projektgespräch mit unseren Spezialisten erfolgen.

4. Materialien und Aufbauparameter

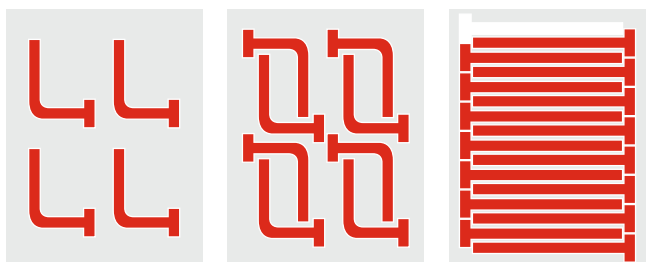
IPC-Klasse 2, Use A (Flex-to-install)

Flexmaterial	Polyimidkern 50 µm, Deckfolie 25 µm
Starmaterial	FR4 IPC-4101C/21 oder Hoch-TG FR4 gefüllt, halogenfrei: IPC-4101C / 128 (92,94,127)
Kupferdicken	Innenlagen 18/35/70 µm // Außenlagen 18/35 µm + galvanischer Aufbau (bei 1F-xRi Flex auf Außenlage)
Leiterplattendicke	je nach Lagenanzahl: flex > 100 µm, starrflex/FR4 Semiflex ≥ 0,8 mm
Lötoberfläche	chem. Ni/Au

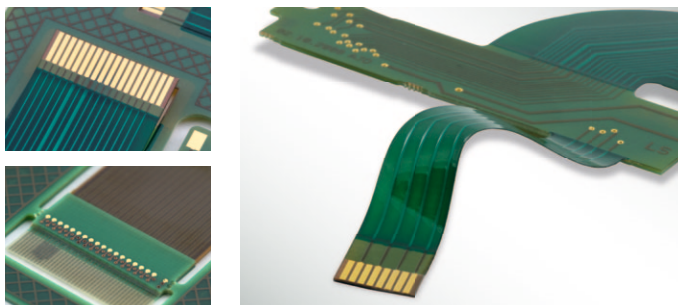
5. Die mechanische Konstruktion

- Immer große Konturradien (Innen- und Außenradien) in den Flexbereichen vorsehen (kunststoffgerechtes Design)
- Ggf. Registrationsbohrungen für das Verkleben von Verstärkungen oder Heatsinks vorsehen
- Flexausleger flächensparend anordnen, ggf. mehrere Ausleger kombinieren, Faltechnik einsetzen

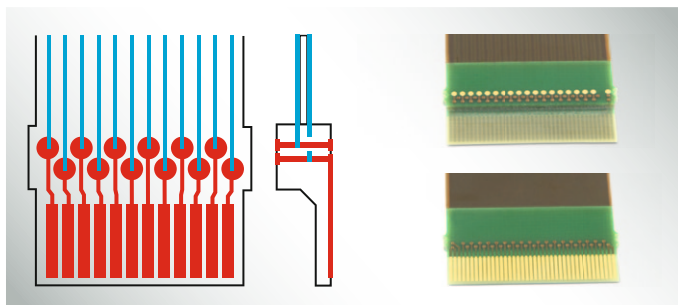
Gefalteter Endzustand →



- Starrflex: Bauteile und Stecker immer auf starren Bereichen
- Kontakte für ZIF-Stecker: Standard Dicke 0,3 mm ± 0,05 mm, Handlingshilfen/präzise Laserkontur möglich



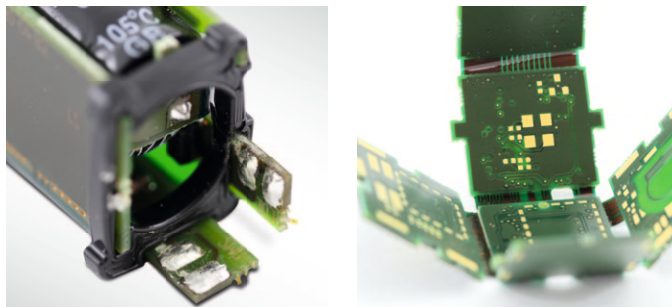
- Bei Starrflex mit Flex innenliegend wird Wechsel über Vias auf die Außenlage empfohlen



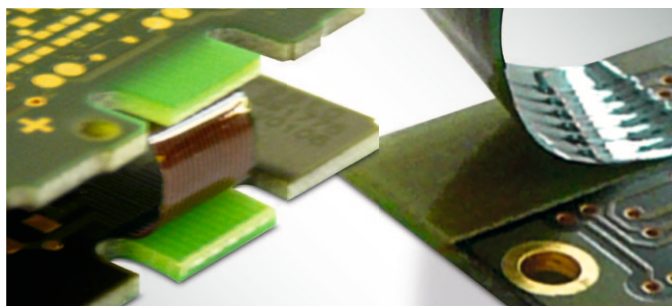
- Biegeradien in Abhängigkeit der Flexdicke konstruieren

Biegeradius [mm]	1	2	3	4	5	6	IPC-2223: Use A Flex-to-Install Dicke x 10
Flexbereich 1-lagig							
Flexbereich 2-lagig							
Flexbereich 4-lagig							
FR4 Semiflex							

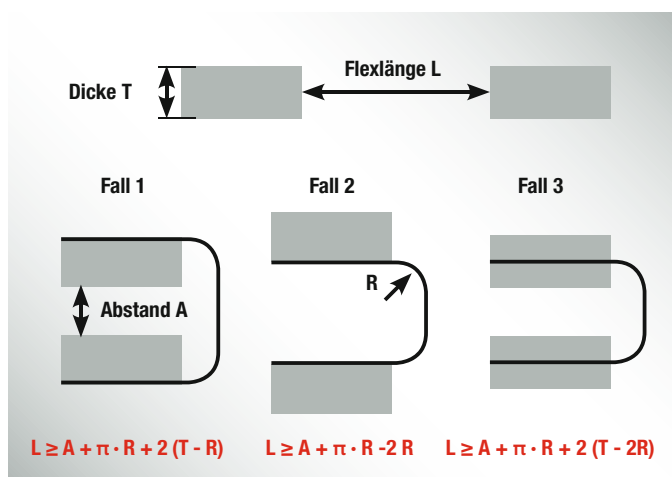
- Starrflex: „Nut- und Federkonstruktionen“ oder Kunststoff-Halterahmen einsetzen



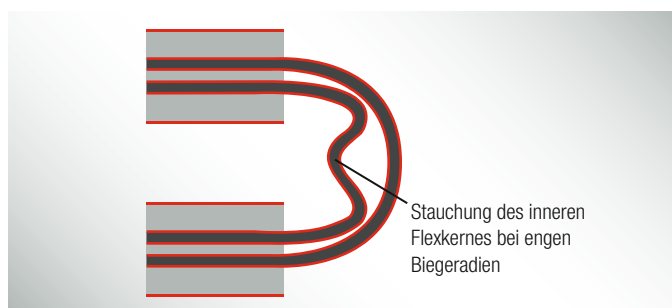
- „Flex Lift-off“ – Technik



- Kalkulation der Flexlänge



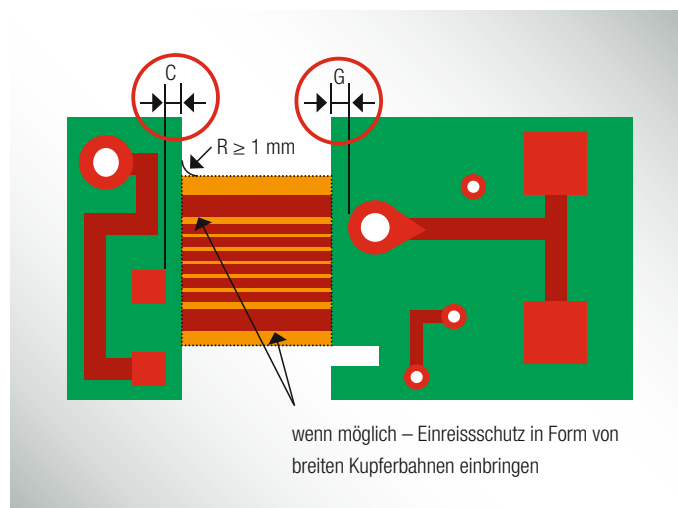
- Bei kurzen Flexbereichen lassen sich vier verklebte Flexlagen besser biegen als 2+2 Flexlagen mit Airgap



6. Layout & Routing

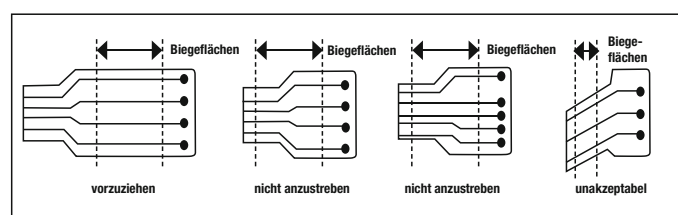
Besonderheiten und Empfehlungen bei Starrflex-Leiterplatten

- Extra Lage zur Beschreibung der Flex- und Starrbereiche verwenden



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

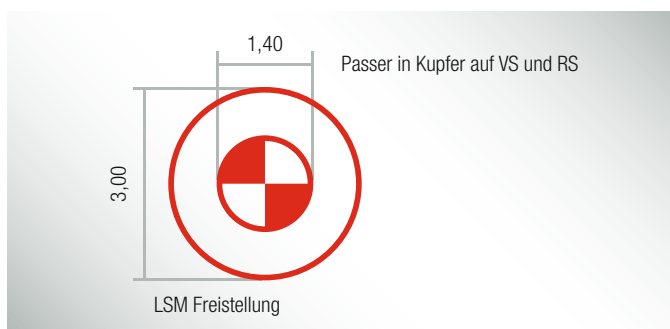
Layout / Routing im Biegebereich



(Quelle IPC-2223)

- Leiterführung parallel und senkrecht zur Biegelinie
- Keine Durchkontaktierungen im Biegebereich bei Flex-Leiterplatten
- Keine Änderung der Breite oder Richtung von Leitern im Biegebereich
- Leiter gleichmäßig verteilen
- Wenn möglich breite Leiter außen nahe der Flexkontur als Weiterreißschutz vorsehen
- Versetzte Leiter auf TOP/Bottom bei beidseitiger Führung
- Vollflächige Kupfer-Referenzlagen immer mit Kupferöffnungen versehen zur Verbesserung der Flexibilität und Trockenbarkeit

- Für Laser geschnittene Konturen Fiducials einbringen:



Bei IPC-2223 „Use B“ (Dauerbiegebelastung) Anwendungen unbedingt Rücksprache mit unseren Spezialisten halten!

7. Die Unterlagen für die Starrflex-Leiterplatte

- Alle zutreffenden Punkte aus der Checkliste beifügen.
- 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 Verzögerungen und zusätzlichem Aufwand.
- Materialien möglichst allgemein spezifizieren, z. B. nach IPC Spezifikationsblätter. 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 Lieferrnutzens und mögliche Positionen für Stege (besonders auch im Flexbereich / Alternative Laserschnitt). Ein in der Anfrage vorgegebener Lieferrnutzen kann dann durch einen günstigeren ersetzt werden und führt durch eine bessere Auslastung zu einem günstigeren Preis.

Würth Elektronik GmbH & Co. KG
Circuit Board Technology

Salzstr. 21 · 74676 Niedernhall · Germany
 Tel: +49 7940 946-0
 Fax: +49 7940 946-550000
 flex-rigid@we-online.de