

Mindestabstände auf Leiterplatten:

Die folgende Tabelle gibt nur ungefähre Richtwerte an, die Angaben erfolgen natürlich ohne Gewähr! Die unten aufgeführten Werte gelten für "normale" mitteleuropäische Umweltbedingungen, und vor Wettereinflüssen geschützt. Bei verschärften Bedingungen, Feuchtigkeit, chemisch verunreinigte Luft, große Höhen, hohe Temperaturen, ionisierende Strahlung, gelten entsprechend andere Werte. Verringern Sie nicht die Mindestabstände durch Beschriftungen, etc!

Spannung zwischen den Leiterbahnen	Mindestabstand ohne Lötstopplack	Mindestabstand ohne Lötstopplack	Mindestabstand mit Lötstopplack	Mindestabstand mit Lötstopplack
in V	in mm	in mil	in mm	in mil
0...30	0,64	25	0,25	10
31...50	0,64	25	0,38	15
51...100	0,64	25	0,50	20
101...150	1,27	50	0,50	20
151...300	1,27	50	0,76	30
301...500	2,54	100	1,52	60
>500	0,005 mm/V	0,2 mil/V	0,003 mm/V	0,12 mil/V

Zu beachten ist weiterhin, dass die Lötstellen der Bauteile sowie die Bauteile gegebenenfalls nach der Montage der Flachbaugruppen lackiert werden können, um die Situation zu entschärfen.

Planen Sie für Fertigungstoleranzen und Umgebungseinflüsse Sicherheiten ein!

Um hohe Spannungen auf kleinstem Raum unterzubringen, kann ein Basismaterial mit erhöhter Kriechstromfestigkeit (KC-Material) eingesetzt werden. Weiterhin besteht z.B. die Möglichkeit, dicht nebeneinanderliegende Leiterbahnen und Anschluss pads durch Ausfräsungen zu trennen und die komplette bestückte Platine anschließend mit einem entsprechenden Gießharz einzuschließen.

Wichtig: Durch im Betriebszustand entstehende Ablagerungen auf der Platine aus der Luft können sich die Isolationswerte und die Spannungsfestigkeit erheblich gegenüber dem Neugerät verschlechtern!

Durchschlagfestigkeit von Basismaterial

Die Durchschlagfestigkeit von Basismaterial dürfte in den seltensten Fällen eine Rolle spielen. Sie beträgt bei FR-4 ca. 40 KV/mm. Auch dieser Wert sollte im Interesse der Sicherheit nicht ausgereizt werden. Meistens jedoch dürfte die Durchschlagfestigkeit in Anbetracht der Möglichkeit eines Überschlages über die Oberfläche keine Rolle spielen

Strombelastbarkeit von Leiterbahnbreiten

Auch die nun folgende Tabelle enthält nur ungefähre Richtwerte. In die Strombelastbarkeit von Leiterbahnen geht eine große Anzahl von Faktoren ein. Die exakte Berechnung für den jeweiligen Fall ist eine sehr aufwendige Wärmehaushaltsrechnung, bei der sich viele Faktoren nur schwer bestimmen lassen. Die Angaben erfolgen ohne Gewähr! Die unten aufgeführten Werte gelten für "normale" mitteleuropäische Umweltbedingungen. Bei höheren Temperaturen gelten reduzierte zulässige Stromstärken. Denken Sie an die Wärmeabfuhr von der Leiterplatte! Nachfolgende Werte gelten für ca. 30 Grad Celsius. Beachten Sie die Strombelastbarkeit von "Durchsteigern", schalten Sie eventuell mehrere parallel! Planen Sie Fertigungstoleranzen und Umgebungseinflüsse als Sicherheiten ein! Die Fertigungstoleranzen galvanischer Metallabscheidungs-Prozesse sind erheblich!

Leiterbahnbreite (mm)	Strombelastbarkeit bei 17,5 µm in (A)	Strombelastbarkeit bei 35 µm in (A)	Strombelastbarkeit bei 70 µm in (A)	Strombelastbarkeit bei 105 µm in (A)
0,1	0,25	0,5	0,75	1
0,2	0,5	1	1,5	2,2
0,5	1,2	2	3,2	5
1	2	4	6,2	9
1,5	3	5	8,1	11
2	3,3	6	10	12
4	6	10	16	22
6	8,3	14	22	26
10	12	21	nicht sinnvoll	nicht sinnvoll

Wenn Ihnen die Strombelastbarkeit nicht ausreicht, legen Sie auf einer durchkontaktierten Leiterplatte auf beiden Ebenen Leiterbahnen übereinander.

Strombelastbarkeit von Durchkontaktierungen

Nicht aus dem Auge verlieren sollte man die Strombelastbarkeit von Durchsteigern. Bohrungen in denen bedrahtete Bauteile eingelötet sind, werden ja durch die Anschlussdrähte der Bauteile elektrisch verstärkt, spielen also in diesem Zusammenhang keine Rolle. Besonders beachtet werden müssen jedoch die Durchsteiger, bei denen die elektrische Leitfähigkeit im wesentlichen durch die galvanisch eingebrachte Hülse zustande kommt. Auch hierbei ist von erheblichen Fertigungstoleranzen beim galvanischen Aufbau der Hülse, abhängig unter anderem vom Layout, auszugehen. Die der Hülse der Bohrung entsprechende Leiterbahnbreite kann bei einer Hülsenstärke von 16 µm geschätzt werden. Zu beachten ist dabei, dass der um den Durchsteiger verbleibende Restring groß genug sein muss, dass der gesamte Querschnitt des Durchsteigers wirksam ist.

Bohrungsdurchmesser (mm)	zulässiger Strom (A)
0,2	1
0,3	2
0,4	2,5
0,5	3,0
0,6	3,5
0,7	4
0,8	5

im Zweifelsfall sollten jedoch lieber mehrere Durchsteiger nebeneinander gesetzt werden!

Hochfrequenzeigenschaften von Basismaterialien

Basismaterialien beeinflussen in erheblichem Maße die elektrischen Eigenschaften von Hochfrequenz-Leiterplatten. Neben dem Standard-FR-4-Material, das als Universalmaterial für Hochfrequenzen nicht in jedem Falle geeignet ist, existieren verschiedene Materialien mit verbesserten HF-Eigenschaften, die zum Teil Kompromisse bei anderen Parametern erfordern.

Hochwertigere Alternativen zum Standard-FR-4 sind spezielle FR-4-Materialien, FR-5, Polyimidmaterialien, Teflon-Materialien, Materialien mit speziellen Füllstoffen, keramische Materialien.

Im Nachhinein sehen Sie eine Tabelle mit einigen elektrischen Eckdaten typischer Basismaterialien. Die Eckdaten sind Richtwerte und variieren bei verschiedenen Fabrikaten:

Material	Spez. Durchgangswiderstand	Dielektrizitätsz. Epsilon R bei 1Mhz	Dielektrischer Verlustfaktor tan Delta bei 1 Mhz	Grenz- temp. (Grad Celsius)	Oberfl.- widerstand (Ohm)	Kriechstrom- festigkeit Stufe
FR-2 *	2 x 10 hoch 10 Ohm cm	5	0,05	105	2 x 10 hoch 8	200
FR-3 *	3 x 10 hoch 10 Ohm cm	4,9	0,041	110	5 x 10 hoch 9	300
CEM-1 *	1 x 10 hoch 12 Ohm cm	4,7	0,031	130	3 x 10 hoch 10	300
FR-4 *	8 x 10 hoch 12 Ohm cm	4,7	0,019	130	7 x 10 hoch 10	200
FR-4 KC *	9 x 10 hoch 11 Ohm cm	4,7	0,019	130	6 x 10 hoch 11	>= 400
FR-5 *	7 x 10 hoch 14 Ohm cm	4,6	0,016	160	5 x 10 hoch 12	300
RO-4003 **		3,38	0,0022			
RO-3003 **		3,0	0,0013			
RT/duorid 5880 **		2,2	0,0009			

* Materialien der Firma Isola wurden zugrunde gelegt. Detaillierte Informationen über die Rahmenbedingungen sowie weitere Daten entnehmen Sie bitte den entsprechenden Internetseiten der Fa Isola.

** Weitere Informationen zu diesen und weiteren teilweise sehr teuren HF-Spezialmaterialien entnehmen Sie bitte den Informationsseiten der Fa. Mauritz GmbH, die diese Materialien in Deutschland vertreibt.

Weitere Verweise:

- [Informationsseiten des Basismaterialherstellers ISOLA \(einer unserer Lieferanten\)](#)
- [Informationsseiten zu Rogers-Basismaterialien \(spezielle HF-Materialien\)](#)
- [Literaturquellen zur Strombelastbarkeit im FED-Wiki](#)