



IPC-2152 DE



Ihr Fachverband für Design,
Leiterplatten- und Elektronikfertigung e. V.

FED e. V. - Ihr Fachverband
für Design, Leiterplatten-
und Elektronikfertigung
Alte Jakobstraße 85/86
10179 Berlin
<http://www.fed.de>

Designrichtlinie für die Bestimmung der Stromtragfähigkeit von Leiterplatten

Entwickelt durch die Current Carrying Capacity Task Group (1-10b)
des Printed Board Design Committee (1-10) des IPC

Die Anwender dieser Richtlinie sind aufgefordert, an der Entwicklung
künftiger Versionen mitzuarbeiten.

Kontakt:

IPC
3000 Lakeside Drive, Suite 309S
Bannockburn, Illinois
60015-1249
Tel 847 615.7100
Fax 847 615.7105

Inhaltsverzeichnis

1 ANWENDUNGSBEREICH	1	A.3 AUSWAHL EINES GEEIGNETEN DIAGRAMMS	18
1.1 Zweck	1	A.3.1 Temperaturerhöhung des Leiters	19
1.2 Maßangaben	1	A.3.2 Verwendung der Diagramme	19
1.3 Interpretation	1	A.3.2.1 Diagramm-Grundlagen: Bekannte Stromstärke	19
1.4 Definition der Fachbegriffe	1	A.3.3 Parallele Leiter	22
1.4.1 Umgebung	1	A.3.3.1 Geätzte Spulen	27
1.4.2 Basismaterial	1	A.3.4 Verbindungslöcher	27
1.4.3 Schaltungslage	1	A.3.4.1 Anbindung eines Leiters an eine (metallisierte) Lage mittels eines Verbindungslochs	27
1.4.4 Leiterbild	1	A.3.4.2 Microvia	27
1.4.5 Leiterabstand	1	A.4 ERGÄNZENDE MATERIALEIGENSCHAFTEN ...	28
1.4.6 Leiterdicke	1	A.4.1 Flexible Leiterplatten	28
1.4.7 Leiterbreite	1	A.4.2 Leiterplattendicke	28
1.4.8 Konvektion	1	A.4.3 Kupfergewicht	28
1.4.9 Kupfergewicht	2	A.4.4 Leiterplattenmaterial	29
1.4.10 Stromtragfähigkeit	2	A.4.5 Umgebungen	30
1.4.11 Wärmeableitungsebene	2	A.4.6 Kupferlagen	30
1.4.12 Thermische Leitfähigkeit	2	A.4.6.1 Einzellage	30
1.4.13 Thermischer Widerstand	2	A.4.6.2 Leiterabstand von der Kupferlage	31
2 ANWENDBARE DOKUMENTE	2	A.5 WEITERE THEMEN	32
2.1 IPC	2	A.5.1 Wärmeabgabe eines Leiters	32
3 EINFÜHRUNG IN DIE DIMENSIONIERUNG VON LEITERN	2	A.5.2 Verlustleistung im Leiter	32
4 KONSTRUKTIONSRICHTLINIEN FÜR DIE DIMENSIONIERUNG VON LEITERN	3	A.5.2.1 Elektrischer Widerstand des Leiters	33
5 DIAGRAMME FÜR DIE DIMENSIONIERUNG VON LEITERN	3	A.5.3 Unregelmäßige Formen und „Schweizer-Käse“-Effekt	33
5.1 Diagramme für die Dimensionierung von Leitern bei ruhender Umgebungsluft	6	A.5.3.1 Spannungsabfall-Analyse	33
5.1.1 Diagramme für ruhende Umgebungsluft im Imperial-Maßsystem (Inch)	6	A.5.3.2 Spannungsquellen	33
5.1.2 Diagramme für ruhende Umgebungsluft im (metrischen) SI-Maßsystem	9	A.5.3.3 Stromquelle (oder -senke)	33
5.2 Diagramme für die Dimensionierung von Leitern bei Vakuum-/Weltraum- Umgebung	12	A.5.3.4 Elektrische Leitfähigkeit	34
5.2.1 Diagramme für Vakuum-/Weltraum- Umgebung im Imperial-Maßsystem (Inch)	12	A.5.4 HDI	34
5.2.2 Diagramme für Vakuum/Weltraum- Umgebung im (metrischen) SI- Maßsystem	15	A.5.5 Hochfrequenz	34
ANHANG A	18	A.6 DIAGRAMME FÜR DIE DIMENSIONIERUNG VON LEITERN	35
A.1 EINLEITUNG	18	A.6.1 Diagramme zur Dimensionierung von Leitern an ruhender Umgebungsluft	35
A.2 LEISTUNGSMINDERUNG	18	A.6.1.1 Diagramme für ruhende Umgebungsluft im Imperial-Maßsystem (Inch)	36
		A.6.1.2 Diagramme für ruhende Umgebungsluft im (metrischen) SI-Maßsystem	52
		A.6.2 Diagramme zur Dimensionierung von Leitern in Vakuum-/Weltraum- Umgebungen	70

A.6.2.1	Diagramme für Vakuum-/Weltraum-Umgebung im Imperial-Maßsystem (Inch)	70
A.6.2.2	Diagramme für Vakuum-/Weltraum-Umgebung im (metrischen) SI-Maßsystem	78
A.7	LITERATUR	87
A.7.1	Die Herkunft des ersten Diagramms zur Dimensionierung von Leitern	87

Figures

Bild 5-1	Leiter auf Innen- und Außenlagen (alle Umgebungen)	5	Bild A-6	Zwei Leiter der Breite 2,03 mm [0,08 in] im Abstand von 2,54 mm [0,100 in]. Die Strombelastung ist für parallele Leiter ausgelegt.	24
Bild 5-2	Leiter auf Innen- und Außenlagen (ruhende Luft) (5 - 700 mil ²)	6	Bild A-7	Zwei Leiter der Breite 2,03 mm [0,08 in] im Abstand von 2,54 mm [0,100 in]. Die Strombelastung ist nicht für parallele Leiter ausgelegt.	25
Bild 5-3	Leiter auf Innen- und Außenlagen (ruhende Luft) (5 - 700 mil ²)	7	Bild A-8	Zwei Leiter der Breite 2,03 mm [0,08 in] im Abstand von 12,7 mm [0,50 in]. Die Strombelastung ist für parallele Leiter ausgelegt.	25
Bild 5-4	Leiter auf Innen- und Außenlagen (ruhende Luft) (5 - 100 mil ²)	7	Bild A-9	Zwei Leiter der Breite 2,03 mm [0,08 in] im Abstand von 25,4 mm [1,0 in]. Die Strombelastung ist für parallele Leiter ausgelegt.	26
Bild 5-5	Leiter auf Innen- und Außenlagen (ruhende Luft) (5 - 50 mil ²)	8	Bild A-10	Zwei Leiter der Breite 2,03 mm [0,08 in] im Abstand von 2,54 mm [0,100 in]. Die Strombelastung ist nicht für parallele Leiter ausgelegt.	26
Bild 5-6	Leiter auf Innen- und Außenlagen (ruhende Luft) (0,001 - 0,5 mm ²)	9	Bild A-11	Querschnittsfläche eines Verbindungslochs	27
Bild 5-7	Leiter auf Innen- und Außenlagen (ruhende Luft) (0,001 - 0,5 mm ²)	10	Bild A-12	Temperaturgradient bei einem Verbindungsloch	28
Bild 5-8	Leiter auf Innen- und Außenlagen (ruhende Luft) (0,001 - 0,1 mm ²)	10	Bild A-13	Abstand des Leiters von der Kupferlage ³	31
Bild 5-9	Leiter auf Innen- und Außenlagen (ruhende Luft) (0,001 - 0,03 mm ²)	11	Bild A-14	Einzelner Leiter in einer Leiterplatte	32
Bild 5-10	Leiter auf Innen- und Außenlagen (Vakuum) (5 - 700 mil ²)	12	Bild A-15	Leiter mit 3 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) logarithm. (5 - 700 mil ²)	36
Bild 5-11	Leiter auf Innen- und Außenlagen (Vakuum) (5 - 700 mil ²)	13	Bild A-16	Leiter mit 3 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) (5 - 700 mil ²)	37
Bild 5-12	Leiter auf Innen- und Außenlagen (Vakuum) (5 - 100 mil ²)	13	Bild A-17	Leiter mit 3 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) (5 - 100 mil ²)	37
Bild 5-13	Leiter auf Innen- und Außenlagen (Vakuum) (5 - 50 mil ²)	14	Bild A-18	Leiter mit 3 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) (5 - 50 mil ²)	38
Bild 5-14	Leiter auf Innen- und Außenlagen (Vakuum) (0,001 - 0,5 mm ²)	15	Bild A-19	Leiter mit 3 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) logarithm. (5 - 700 mil ²)	39
Bild 5-15	Leiter auf Innen- und Außenlagen (Vakuum) (0,001 - 0,5 mm ²)	16	Bild A-20	Leiter mit 3 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (5 - 700 mil ²)	40
Bild 5-16	Leiter auf Innen- und Außenlagen (Vakuum) (0,001 - 0,1 mm ²)	16	Bild A-21	Leiter mit 3 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (5 - 100 mil ²)	40
Bild 5-17	Leiter auf Innen- und Außenlagen (Vakuum) (0,001 - 0,03 mm ²)	17	Bild A-22	Leiter mit 3 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (5 - 50 mil ²)	41
Bild A-1	Leiter auf Außen- und Innenlagen (Dieses Bild ist eine exakte Kopie des Bildes 5-1 in IPC-2152)	20	Bild A-23	Leiter mit 2 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) logarithm. (5 - 700 mil ²)	42
Bild A-2	Diagramm zur Dimensionierung von Außenlagen- und Innenlagen-Leitern	21	Bild A-24	Leiter mit 2 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) (5 - 700 mil ²)	43
Bild A-3	Parallele Leiter	22	Bild A-25	Leiter mit 2 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) (5 - 100 mil ²)	43
Bild A-4	Temperaturverlauf um einen 0,254 mm [0,01 in] breiten Leiter der Dicke 1-oz. bei 10 °C Temperaturerhöhung des Leiters	23	Bild A-26	Leiter mit 2 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) (5 - 50 mil ²)	44
Bild A-5	Einzelleiter mit 4,06 mm [0,160 in] Breite	23	Bild A-27	Leiter mit 2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) logarithm. (5 - 700 mil ²)	45
			Bild A-28	Leiter mit 2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (5 - 700 mil ²)	46
			Bild A-29	Leiter mit 2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (5 - 100 mil ²)	46
			Bild A-30	Leiter mit 2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (5 - 50 mil ²)	47

Bild A-31	Leiter mit 1 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) logarithm. (5 - 700 mil ²)	48	Bild A-57	Leiter mit 1 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,1 mm ²)	65
Bild A-32	Leiter mit 1 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (5 - 700 mil ²)	48	Bild A-58	Leiter mit 1 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,03 mm ²)	66
Bild A-33	Leiter mit 1 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (5 - 100 mil ²)	49	Bild A-59	Leiter mit 1/2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) logarithm. (0,001 - 0,5 mm ²)	67
Bild A-34	Leiter mit 1 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (5 - 50 mil ²)	49	Bild A-60	Leiter mit 1/2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,5 mm ²)	67
Bild A-35	Leiter mit 1/2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) logarithm. (5 - 700 mil ²)	50	Bild A-61	Leiter mit 1/2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,1 mm ²)	68
Bild A-36	Leiter mit 1/2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (5 - 700 mil ²)	50	Bild A-62	Leiter mit 1/2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,03 mm ²)	69
Bild A-37	Leiter mit 1/2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (5 - 100 mil ²)	51	Bild A-63	Leiter mit 3 oz. (Vakuum) logarithm. (5 - 700 mil ²)	70
Bild A-38	Leiter mit 1/2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (5 - 50 mil ²)	51	Bild A-64	Leiter mit 3 oz. (Vakuum) (0 - 700 mil ²)	71
Bild A-39	Leiter mit 3 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) logarithm. (0,001 - 0,5 mm ²)	52	Bild A-65	Leiter mit 3 oz. (Vakuum) (0 - 100 mil ²)	71
Bild A-40	Leiter mit 3 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,5 mm ²)	53	Bild A-66	Leiter mit 3 oz. (Vakuum) (5 - 50 mil ²)	72
Bild A-41	Leiter mit 3 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,1 mm ²)	53	Bild A-67	Leiter mit 2 oz. (Vakuum) logarithm. (5 - 700 mil ²)	73
Bild A-42	Leiter mit 3 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,03 mm ²)	54	Bild A-68	Leiter mit 2 oz. (Vakuum) (5 - 700 mil ²)	74
Bild A-43	Leiter mit 3 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) logarithm. (0,001 - 0,5 mm ²)	55	Bild A-69	Leiter mit 2 oz. (Vakuum) (5 - 100 mil ²)	74
Bild A-44	Leiter mit 3 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,5 mm ²)	56	Bild A-70	Leiter mit 2 oz. (Vakuum) (5 - 50 mil ²)	75
Bild A-45	Leiter mit 3 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,1 mm ²)	56	Bild A-71	Leiter mit 1/2 oz. (Vakuum) logarithm. (5 - 700 mil ²)	76
Bild A-46	Leiter mit 3 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,03 mm ²)	57	Bild A-72	Leiter mit 1/2 oz. (Vakuum) (5 - 700 mil ²)	76
Bild A-47	Leiter mit 2 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) logarithm. (0,001 - 0,5 mm ²)	58	Bild A-73	Leiter mit 1/2 oz. (Vakuum) (5 - 100 mil ²)	77
Bild A-48	Leiter mit 2 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) (0,001 - 0,5 mm ²)	59	Bild A-74	Leiter mit 1/2 oz. (Vakuum) (5 - 50 mil ²)	77
Bild A-49	Leiter mit 2 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,1 mm ²)	59	Bild A-75	Leiter mit 3 oz. (Vakuum) logarithm. (0,001 - 0,5 mm ²)	78
Bild A-50	Leiter mit 2 oz. auf Außenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,03 mm ²)	60	Bild A-76	Leiter mit 3 oz. (Vakuum) (0 - 0,5 mm ²)	79
Bild A-51	Leiter mit 2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) logarithm. (0,001 - 0,5 mm ²)	61	Bild A-77	Leiter mit 3 oz. (Vakuum) (0 - 0,1 mm ²)	79
Bild A-52	Leiter mit 2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,5 mm ²)	62	Bild A-78	Leiter mit 3 oz. (Vakuum) (0 - 0,03 mm ²)	80
Bild A-53	Leiter mit 2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,1 mm)	62	Bild A-79	Leiter mit 2 oz. (Vakuum) logarithm. (0,001 - 0,5 mm ²)	81
Bild A-54	Leiter mit 2 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,03 mm ²)	63	Bild A-80	Leiter mit 2 oz. (Vakuum) (0 - 0,5 mm ²)	82
Bild A-55	Leiter mit 1 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) logarithm. (0,001 - 0,5 mm ²)	64	Bild A-81	Leiter mit 2 oz. (Vakuum) (0 - 0,1 mm ²)	82
Bild A-56	Leiter mit 1 oz. auf Innenlagen (ruhende Luft) (0 - 0,5 mm ²)	64	Bild A-82	Leiter mit 2 oz. (Vakuum) (0 - 0,03 mm ²)	83
			Bild A-83	Leiter mit 1/2 oz. (Vakuum) logarithm. (0,001 - 0,5 mm ²)	84
			Bild A-84	Leiter mit 1/2 oz. (Vakuum) (0 - 0,5 mm ²)	84
			Bild A-85	Leiter mit 1/2 oz. (Vakuum) (0 - 0,1 mm ²)	85
			Bild A-86	Leiter mit 1/2 oz. (Vakuum) (0 - 0,03 mm ²)	85
			Bild A-87	Logarithmisches Breitendiagramm	86
			Bild A-88	Logarithmisches Breitendiagramm (Inch)	86
			Bild A-89	Original NBS-Diagramme	88
			Bild A-90	NBS-Diagrammkurven für 10 °C Temperaturerhöhung	89
			Bild A-91	Historische IPC-Diagramme	90

Tables

Tabelle A-1	Minimale Dicke der Kupferfolien bei Innenlagen (Nur zur Information)	29
Tabelle A-2	Minimale Leiterdicke bei Außenlagen (Nur zur Information) Nacharbeitsprozesse bei Gewichten unter 1/2 oz. Bei 1/2 oz. und darüber lässt die Prozesstoleranzreduktion 1 Nacharbeitsprozess zu.	29
Tabelle A-3	Thermische Leitfähigkeit von Leiterplattenmaterialien	30
Tabelle A-4	Parameter für die Skintiefe	35
Tabelle A-5	Referenztablette der NBS-Daten	91
Tabelle A-6	Referenztablette der NBS-Daten (Fortsetzung)	91
Tabelle A-7	Referenztablette der NBS-Daten (Fortsetzung)	92

Designrichtlinie für die Bestimmung der Stromtragfähigkeit von Leiterplatten

1 ANWENDUNGSBEREICH

Als allgemeine Richtlinie dient dieses Dokument dem Verständnis der Zusammenhänge zwischen Strom, Leiterdimension und Temperatur und kann insbesondere zur Festlegung und Evaluierung von Kupferleitern bei Leiterplatten benutzt werden.

1.1 Zweck Der Zweck dieses Dokuments ist es, eine Anleitung zur Bestimmung der geeigneten Leitergrößen einer fertigen Leiterplatte in Abhängigkeit von der erforderlichen Stromtragfähigkeit und der zulässigen Temperaturerhöhung des Leiters bereitzustellen.

1.2 Maßangaben Alle Maßangaben und Toleranzen werden in dieser Richtlinie in (metrischen) SI-Einheiten ausgedrückt. In Klammern folgen daraus abgeleitet die Angaben im Imperial-Maßsystem (Inch). Die Anwender dieser Richtlinie sollten das metrische System verwenden.

1.3 Interpretation „Muss“ [shall], die nachdrückliche Form des Verbs, wird durchgängig in dieser Richtlinie immer dann verwendet, wenn eine Anforderung eine verbindliche Bestimmung ausdrücken soll. Abweichungen von einer „muss“-Anforderung können in Erwägung gezogen werden, wenn ausreichend Daten zur Verfügung gestellt werden, um die Ausnahme zu rechtfertigen.

Die Begriffe „sollte“ [should] und „kann“ [may] werden benutzt, wenn nicht-verbindliche Empfehlungen ausgedrückt werden sollen.

„Wird“ [will] wird verwendet, um Zweckmäßigkeit auszudrücken.

Als Hilfe für den Leser wird das Wort „muss“ [shall] in Fettdruck dargestellt.

1.4 Definition der Fachbegriffe Die Definitionen aller hier verwendeter Begriffe **müssen** sowohl IPC-T-50 als auch den Definitionen aus 1.4.1 bis 1.4.13 entsprechen.

1.4.1 Umgebung Die umgebende Umwelt, die mit dem betreffenden System oder Bauelement in Berührung kommt.

1.4.2 Basismaterial Das Isoliermaterial, auf dem ein Leiterbild erzeugt werden kann. (Das Basismaterial kann starr oder flexibel oder beides sein. Es kann als Dielektrikum oder als isolierte Metalltafel vorliegen.)

1.4.3 Schaltungslage Eine Lage einer Leiterplatte, die Leiter, einschließlich Masse- und Spannungsflächen, enthält.

1.4.4 Leiterbild Die Konfiguration oder Konstruktion des leitenden Materials auf einem Basismaterial. (Das umfasst Leiterbahnen, Anschlussflächen, Verbindungslöcher, Flächen und passive Bauelemente, wenn diese integraler Bestandteil des Leiterplatten-Herstellungsprozesses sind.)

1.4.5 Leiterabstand Der erkennbare Abstand benachbarter Kanten (nicht der Mittenabstand) getrennter Leiterbilder auf einer Schaltungslage.

1.4.6 Leiterdicke Dicke eines Leiters einschließlich metallischer Beschichtungen, jedoch ohne nicht-leitende Beschichtungen.

1.4.7 Leiterbreite Die beobachtbare Breite eines Leiters, die, soweit nicht anderweitig spezifiziert, an einem beliebigen, zufällig gewählten Punkt auf einer Leiterplatte senkrecht von oben betrachtet wird.

1.4.8 Konvektion Wärmeübertragung, die aufgrund von Temperaturunterschieden zwischen einem Festkörper und einer Flüssigkeit oder einem Gas an deren Grenzfläche auftritt.