

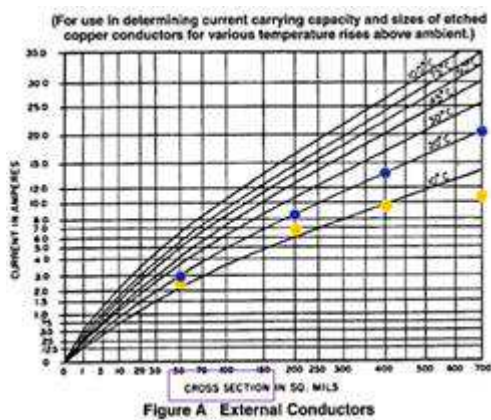
TRM White Paper No. 2

Stromtragfähigkeit von Leiterbahnen  
Current-Carrying Capacity of Traces

**Frage:** Welcher Strom in einer Leiterbahn führt zu welcher Temperatur?

Die Design-Richtlinie **IPC-2221** (=MIL-STD-275) (Bild 1) ist die klassische Datenquelle für die Gleichstrom-Temperaturbelastbarkeit von Leiterbahnen.

Die Messungen dazu stammen vom National Bureau of Standards aus den späten 1950er Jahren [1].



**Bild 1:** Die alte IPC 2221 (Kurven und blaue Punkte zu  $I$  bei 20 K) und neue IPC-2152 (gelbe Punkte zu 20 K) führen meistens zu Überdimensionierung von Leiterbahnen.

Wählen Sie auf der x-Achse den Leiterquerschnitt (Tausendstel-Inch<sup>2</sup>), entscheiden Sie sich für eine Temperatur über Umgebung und lesen Sie den Stromwert auf der y-Achse ab.

**Vorsicht:** der dort angegebene Temperatur-Strom-Zusammenhang gilt **nur** unter folgenden Bedingungen:

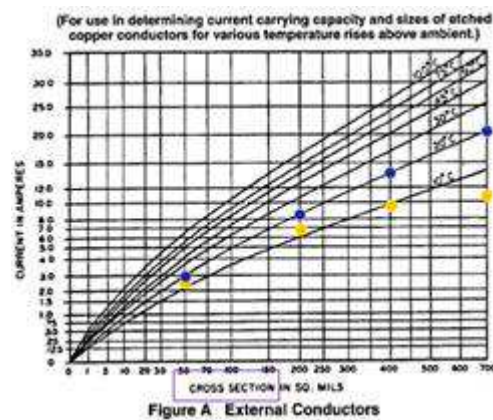
- Es gibt nur **eine geradlinige** strombelastete Leiterbahn auf der Leiterplatte
- Die Leiterbahndicke ist **35 µm**
- Sie befindet sich auf einer **2-lagigen** 1.6 mm dicken FR4 Leiterplatte in natürlicher Konvektion und freier Abstrahlung
- Die Leiterplatte hat eine 35 µm **Kupferlage** auf der gesamten **Rückseite**

Ein wesentliches, **zweites Manko** der Original IPC-2221 Charts ist die x-Achse (Raubkopie bei: <http://www.ultracadm.com/ipcchart.htm>). Diese ist der Leiterquerschnitt = Breite mal Dicke, was bedeutet, dass Leiter mit dem angegebenen Querschnitt - egal, ob breit und dünn oder hoch und dick - die gleiche

**Question:** How much Amperes in a trace will produce how many Celsius?

Design rule **IPC-2221** (=MIL-STD-275) (Fig.1) is the classical data source for DC-generated temperatures of traces.

The experiments date back to late 1950s under the auspices of the National Bureau of Standards [1].



**Fig. 1:** Old IPC 2221 (lines and blue bullets for  $I@20$  K) and new IPC-2152 (yellow bullets for 20 K) mostly lead to over sizing of traces.

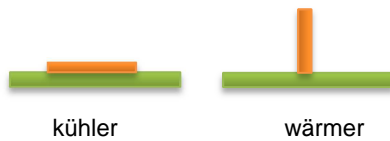
Chose a cross-section on the horizontal axis, select the curve for a given temperature increase and read the current on the vertical axis. Example: at cross-section 250 sq.mils , 20K are produced by 10 A.

**Caution:** this temperature-current correlation is valid under following conditions **only**:

- There is only **one straight** trace with current on this PCB
- Thickness is **1 oz** (= 1 oz copper per sq-ft = 35 microns)
- The board is a **FR4 bilayer** in free convection and free radiation
- The **bottom** side is **completely** filled by **copper**

Another **drawback** of the original IPC-2221 Charts (find a copy at <http://www.ultracadm.com/ipcchart.htm>) is the horizontal axis. This is the cross-section of the trace, i.e. width times thickness, suggesting that a trace with the given cross-section – whether it is flat and wide or tall and narrow – should show the same temperature at

Temperatur bei gleichem Strom haben müssten.



Da aber der Wärmeeintrag in die Leiterplatte und damit die darauffolgende Weitergabe durch Spreizung und Wärmeabgabe von der Grundfläche abhängt, ist bei gleicher Stromleistung  $U \cdot I$  eine breite Leiterbahn immer kühler als eine schmale, wenn sie den gleichen Querschnitt haben. Also muss man für Leiterbahnen, deren Dicke anders ist als  $d=35 \mu\text{m}$ , richtigerweise den in den IPC Charts abgelesenen Strom erst mit Hilfe des Jouleschen Gesetzes in eine Leistung umrechnen. Die **richtige Umrechnungsformel** lautet dann

$$I_d = \sqrt{\frac{d \text{ (in } \mu\text{m)}}{35 \mu\text{m}}} * I_{IPC-Chart}$$

**Beispiel:** verglichen mit einer  $35 \mu\text{m}$  dicken Leiterbahn kann eine  $70 \mu\text{m}$  dicke Leiterbahn bei gleicher Temperatur und gleicher Leiterbreite den 1.4-fachen Strom tragen (nicht den doppelten Strom!).

Noch einen, allerdings gewaltigen, Irrtum enthält die IPC-2221 beim Teildiagramm für sog. **Internal Conductors**. Demzufolge soll eine Leiterbahn auf einer Innenlage exakt den halben Stromwert haben - das ist **falsch**. Tatsächlich können Innenlagen sogar besser gekühlt werden, sollten sich massive wärme-spreizende Lagen in nächster Nachbarschaft darüber oder darunter befinden.

Die neue **IPC-2152** [2] ist **noch konservativer** (1-lagig) als die IPC-2221 (gelbe Punkte in Bild 1). Wenn man sich daran hält, wird man die Leiterbahn **überdimensionieren**. Es wird dort zugegeben, dass (in deutscher Übersetzung beim Shop in [www.fed.de](http://www.fed.de) erhältlich) mehr Kupfer und mehr Lagen die Diagramme zugunsten niedriger Temperatur verbiegen.

**Fazit:** Fragen nach **allgemeingültigen Designregeln** zur Stromtragfähigkeit können **nicht** beantwortet werden. Eine TRM Berechnung am konkreten Leiterbild in seiner geometrischen Umgebung kann es klären.

[1] Adam J: [http://www.adam-research.de/pdfs/Adam\\_GMM2004\\_DE\\_Internet.pdf](http://www.adam-research.de/pdfs/Adam_GMM2004_DE_Internet.pdf)

[2] IPC-2152: <http://www.fed.de/Dokumente-und-Richtlinien/Dokumenten-Shop/IPC-Richtlinien-Deutsch/4195/?a=395>

same current.



This cannot be the true, because the footprint influences the heat input into the board and subsequent heat spreading, so that at same electric power  $U \cdot I$  the wide trace (left) must be cooler than the tall one (right) – at same cross-section. Given that the IPC curves are valid only for 1 oz (in contradiction to the text there), this means that one has to convert the current value taken from the chart for another thickness using Joule's law. The **correct extrapolation formula** for trace thickness  $d$  other than 1 oz is

$$I_d = \sqrt{\frac{d \text{ (in oz units)}}{1 \text{ oz}}} * I_{IPC-Chart}$$

**Example:** compared with a 1 oz trace, a 2 oz trace can have 1.4 times more current at same temperature and same trace width (not twice the current!).

There is another error in IPC-2221 subdiagram 'Internal Conductors'. When reading the values, the currents are exactly de-rated by 50% - which is wrong. In fact, inner layers cool better than outer layers, because of heat spreading in FR4 or in other copper above or underneath (outer air has a higher thermal resistance than FR4).

New **IPC-2152** [2] is even more conservative than IPC-2221 (yellow bullets in Fig. 1). If you design according to this rule, you will be on the safe side, but you will **over-dimension** the trace. It looks, that the test PCB in these experiments was a single-layer one. It is admitted there in the text, that more copper and more layers would drop the temperature level in the graphs.

**Summary:** There is **no general design rule** about the 'current carrying capacity' (at given temperature). A simulation with TRM using a detailed conductor pattern and board layer-stack can get things straight.

[1] Jouppi, M.: <http://pcdandf.com/cms/magazine/95/6418>

[2] IPC.2152: [www.ipc.org](http://www.ipc.org)