

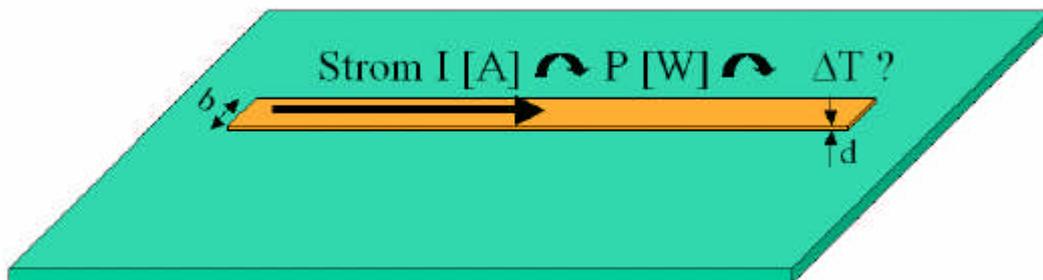


6 Strombelastbarkeit von Leiterbahnen

6	Strombelastbarkeit von Leiterbahnen	6-1
6.1	Elektrischer Widerstand von Leiterbahnen und Stromwärme	6-2
6.2	Die IPC-D-275.....	6-3
6.2.1	Leiterbahndicke in US-Unzen	6-3
6.2.2	Leiterbahnbreite in mils	6-3
6.2.3	Der Mythos: die IPC Diagramme	6-4
6.2.4	Berechnungshilfen Software	6-10
6.2.4.1	amptrack.exe.....	6-10
6.2.4.2	PCBTEMP.exe	6-11
6.3	Die Wirklichkeit: Simulationsansatz	6-13
6.3.1	Modellaufbau.....	6-13
6.3.2	Ergebnistabelle	6-14
6.3.3	Andere Szenarien	6-16
6.3.3.1	Mehrere Leiterbahnen.....	6-16
6.3.3.2	Eine Cu-Ebene.....	6-16
6.3.3.3	I-A Diagramm	6-17
6.3.3.4	Querschnittsverengung.....	6-17
6.4	Versuch einer vorläufigen Theorie.....	6-20

Im FED Diskussionsforum¹ taucht regelmässig die Frage nach der Strombelastbarkeit von Leiterbahnen auf.

Frage: Wieviel Ampere kann man durch eine Leiterbahn der Breite b und Dicke d schicken, bzw. wie breit muss eine Leiterbahn für einen Strom I mindestens sein?



Antwort: Schauen Sie in die IPC-D-275.

Richtigere Antwort: Benutzen Sie sie vorsichtig und lesen Sie weiter.

¹ Anmeldung unter <http://www.fed.de> wird empfohlen. Sie erhalten den „Schriftverkehr“ als e-mail.

c) Es gibt nach Brooks (1998) noch eine weitere Quelle für Strom-Querschnitt-Diagramme aus einem Heft der *Design News* von 1968, die den gleichen Trend wie die IPC Kurven zeigen, die aber um 60% im Strom nach unten geschoben sind. Weitere Diskussion der Daten mit ihren Widersprüchen s. Brooks (1998).

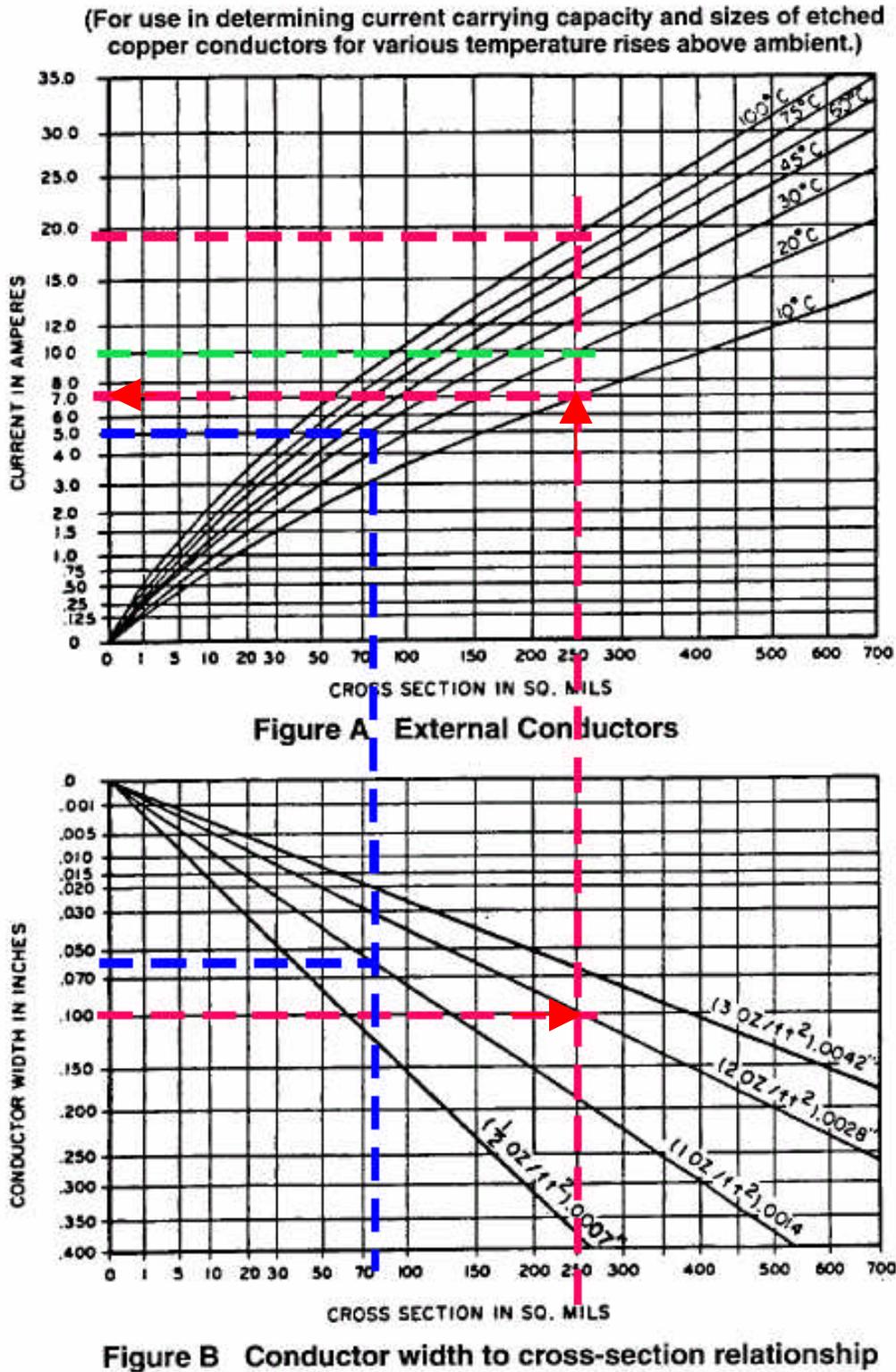


Abb. 6-1: Nonogramm mit Beispiel für die Strombelastbarkeit einer aussenliegenden Leiterbahn nach IPC. Quelle: UltraCad (2001).

Eine deutsche Quelle für die IPC Kurven ist <http://www.andus.de>. Dort sind die Kurven in SI Einheiten umskaliert und doppelt logarithmisch gezeichnet.

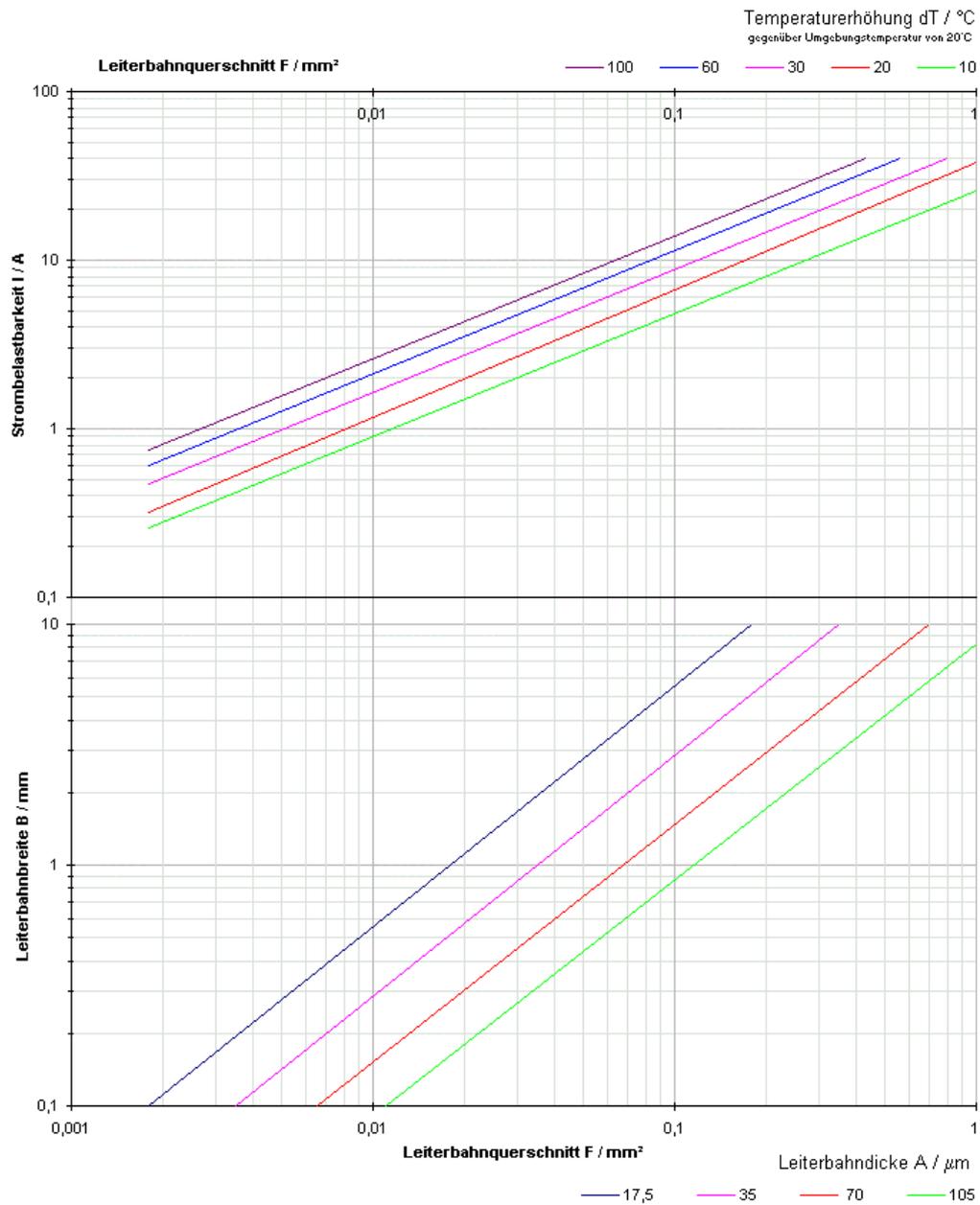


Abb. 6-3: IPC Diagramm in SI Einheiten für innenliegende Leiterbahnen (nach Andus GmbH).

Unser Beispiel von oben ist:
 $b=100 \text{ mils} = 0.100 \text{ in} = 2.54 \text{ mm}$,
 $d=70 \mu$
 $\rightarrow I=7 \text{ A}$ U

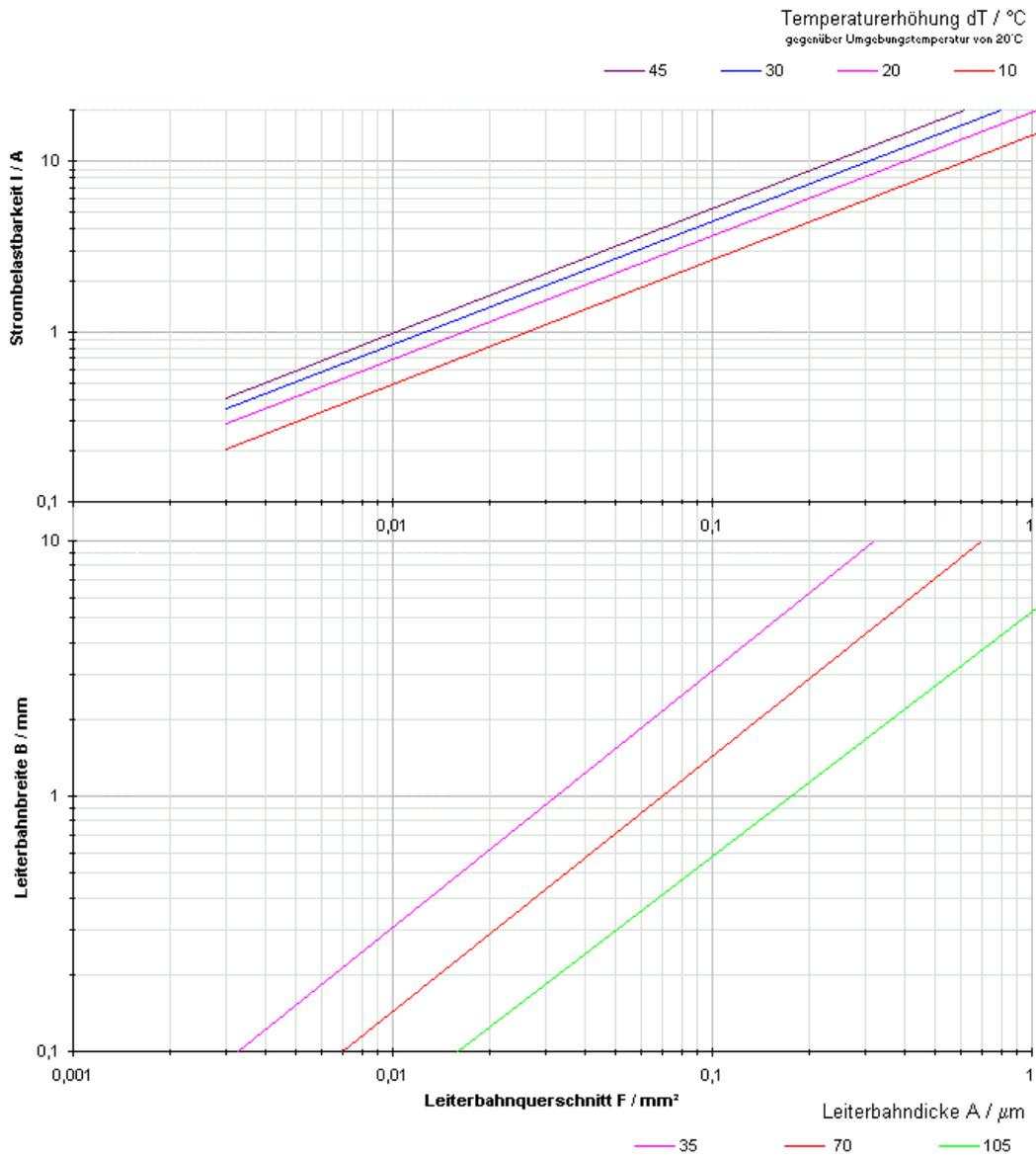


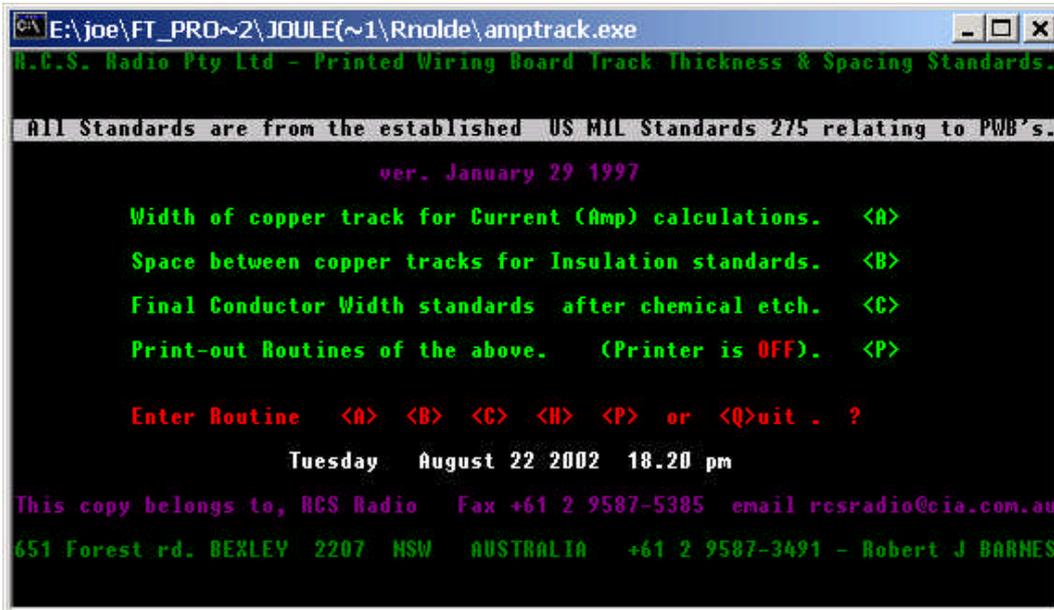
Abb. 6-4: IPC Diagramm in SI Einheiten für innenliegende Leiterbahnen (nach Andus GmbH)

6.2.4 Berechnungshilfen Software

Es gibt kleine Softwarestückchen, die einem das Ablesen in den Kurven ersparen, aber halt nur einen Wert liefern und keinen Überblick über benachbarte Werte geben.

6.2.4.1 *amptrack.exe*

<http://www.rnolde.de> (40 kB)



```
E:\joe\FT_PRO~2\JOULE(~1\Rnolde\amptrack.exe
R.C.S. Radio Pty Ltd - Printed Wiring Board Track Thickness & Spacing Standards.

All Standards are from the established US MIL Standards 275 relating to PWB's.

ver. January 29 1997

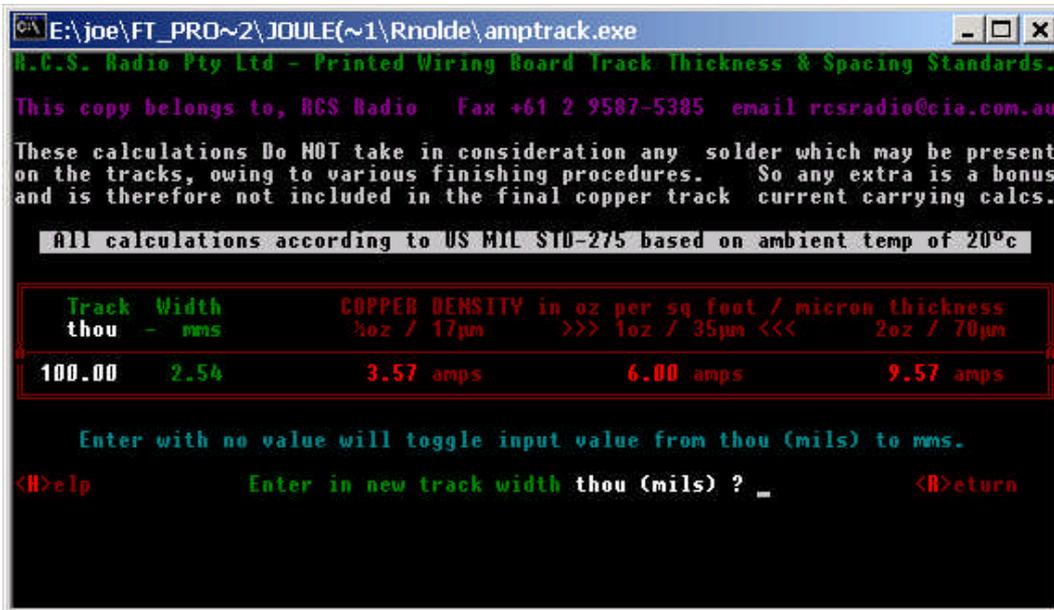
Width of copper track for Current (Amp) calculations. <A>
Space between copper tracks for Insulation standards. <B>
Final Conductor Width standards after chemical etch. <C>
Print-out Routines of the above. (Printer is OFF). <P>

Enter Routine <A> <B> <C> <H> <P> or <Q>uit . ?

Tuesday August 22 2002 18.20 pm

This copy belongs to, RCS Radio Fax +61 2 9587-5385 email rcsradio@cia.com.au
651 Forest rd. BEXLEY 2207 NSW AUSTRALIA +61 2 9587-3491 - Robert J BARNES
```

Nach Eingabe von A <return>:



```
E:\joe\FT_PRO~2\JOULE(~1\Rnolde\amptrack.exe
R.C.S. Radio Pty Ltd - Printed Wiring Board Track Thickness & Spacing Standards.

This copy belongs to, RCS Radio Fax +61 2 9587-5385 email rcsradio@cia.com.au

These calculations Do NOT take in consideration any solder which may be present
on the tracks, owing to various finishing procedures. So any extra is a bonus
and is therefore not included in the final copper track current carrying calcs.

All calculations according to US MIL STD-275 based on ambient temp of 20°C

Track Width          COPPER DENSITY in oz per sq foot / micron thickness
thou - mms          %oz / 17µm      >>> 1oz / 35µm <<<      2oz / 70µm
-----
100.00      2.54          3.57 amps          6.00 amps          9.57 amps

Enter with no value will toggle input value from thou (mils) to mms.
<H>elp          Enter in new track width thou (mils) ? _          <R>eturn
```

Wo ist hier die erlaubte Temperaturerhöhung einzugeben? 100 mils bei 2 oz ergeben 9.57 A. Dies wäre der IPC Wert zu ca. $\Delta T=20$ °C.

Das ist der Helptext dazu:

```
R.C.S. Radio Pty Ltd - Printed Wiring Board Track Thickness & Spacing Standards.
```

6.3 Die Wirklichkeit: Simulationsansatz

6.3.1 Modellaufbau

Wir machen uns, ohne genauere Kenntnisse des Original IPC Setups, ein CFD-Modell aus einer Euro-LP (100 mm x 160 mm x 1.6 mm) aus

- *reinem FR4* ($\lambda=0.3$ W/m K, $\varepsilon=0.9$) und
- *einer* Leiterbahn aus Kupfer von L=100 mm Länge, Dicke $d=35$ μm (=1 oz).

Auf das Leiterbahnvolumen legen wir eine

- feste Temperatur (bzw. Übertemperatur),
- berechnen das Energiegleichgewicht aus Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung⁴
- und lassen uns aus dem Endergebnis die gesamte abgegebene Leistung, die Leiterplatte und Leiterbahn verlassen, ausdrucken.
- Aus der Leistung P folgt nach Gl. (6.1) und (6.3) die Stromstärke I

Das Ergebnis für $T_U=20$ °C, $\Delta T=20$ °C, $b=0.2$ mm (=7.9 mils) ist

$$Q_{\text{rad}}=0.16 \text{ W}, Q_{\text{konv}}=0.08 \text{ W} \rightarrow P=0.24 \text{ W}.$$

Das Temperaturbild auf der LP ist in Abb. 6-5 dargestellt. Wegen der geringen Leitfähigkeit ist die Wärmespreizung kleiner als die LP.

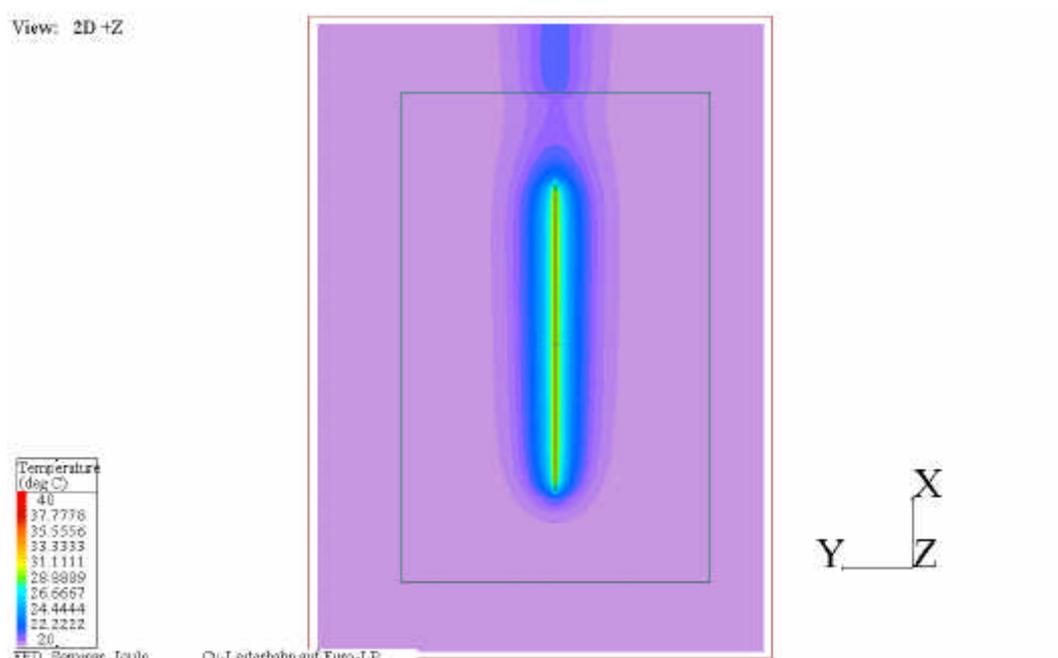


Abb. 6-5: Simulationsergebnis einer 100m Leiterbahn auf einer Euro-LP mit 20°C Übertemperatur.

Die dazugehörige Stromstärke folgt aus

⁴ Dauert weniger als 1 Minute auf dem PC.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Simulationsergebnisse folgen eng bis sehr eng den „DN“ Korrelationen, und sind naturgemäß etwas von den IPC-Werten entfernt. D.h. auch in den Urexperimenten darf es nur eine überwiegend nackte Leiterplatte gegeben haben.
- Es gibt kaum einen Unterschied zwischen vertikaler und horizontaler Lage. Dies entkräftet die Vermutung von Brooks (1998), dass der Unterschied zwischen DN und IPC Werten davon herrühren könnte.
- Wenn es nur auf die Laminattemperatur ankäme, könnte eine interne Leiterbahn kann genauso belastet werden, wie eine äussere!⁵
- Die Strombelastbarkeit ist strenggenommen keine Potenzfunktion von A.

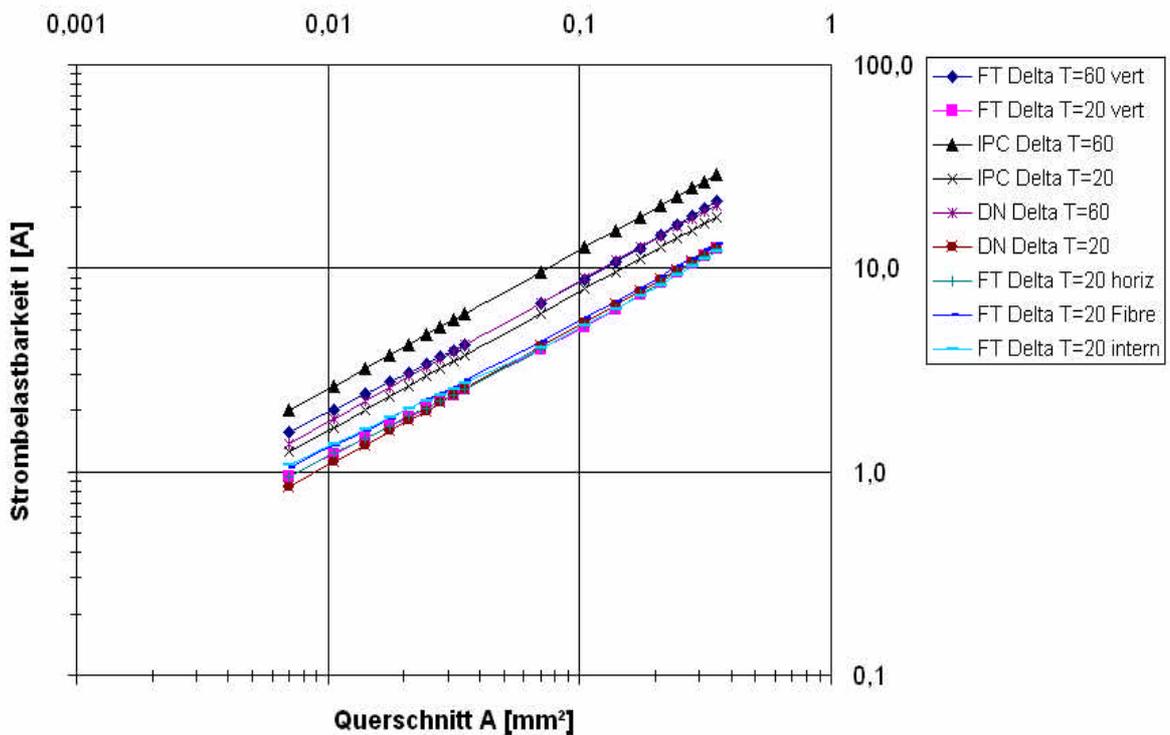


Abb. 6-6: Strombelastbarkeit zu 35 μm und für $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ und $\Delta T = 60^\circ\text{C}$ aus Simulationsergebnissen („FT“) und den alten Daten „IPC“ und „DN“. Die IPC-Werte \blacktriangle und \times fallen aus dem Rahmen.

⁵ „I have heard rumors (which I have not confirmed) that the IPC internal charts were simply derated 50% from the external ones.“

6.4 Andere Szenarien

6.4.1.1 Mehrere Leiterbahnen

Die LP enthält

- 1 belastete Leiterbahn: $d=35\ \mu$, $L=0.1\ \text{m}$, b variabel, $\Delta T=20$
- je 40 unbelastete Leiterbahnen auf Vorder- und Rückseite: $d=35\ \mu$, $b=0.2\ \text{mm}$, $L=0.1\ \text{m}$, Abstand $1.8\ \text{mm}$

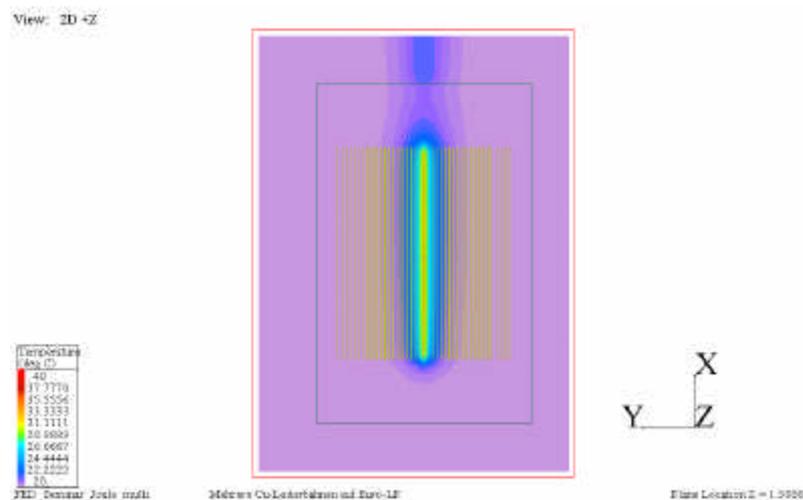


Abb. 6-7: Euro-LP mit einer belasteten Leiterbahn ($d=0.2\ \text{mm}$, $\Delta T=20\ \text{°C}$) und 2 x 40 unbelastete Leiterbahnen ($d=0.2\ \text{mm}$).

Ergebnis für $d=0.2\ \text{mm}$: $I=0.95\ \text{A}$ (entspricht $P=0.24\ \text{W}$)

6.4.1.2 Eine Cu-Ebene

Die LP enthält

- 1 belastete Leiterbahn: $d=35\ \mu$, $L=0.1\ \text{m}$, b variabel, $\Delta T=20$
- auf der Rückseite eine vollgeflutete Cu-Ebene: $d=35\ \mu$, $b=100\ \text{mm}$, $L=0.16\ \text{m}$

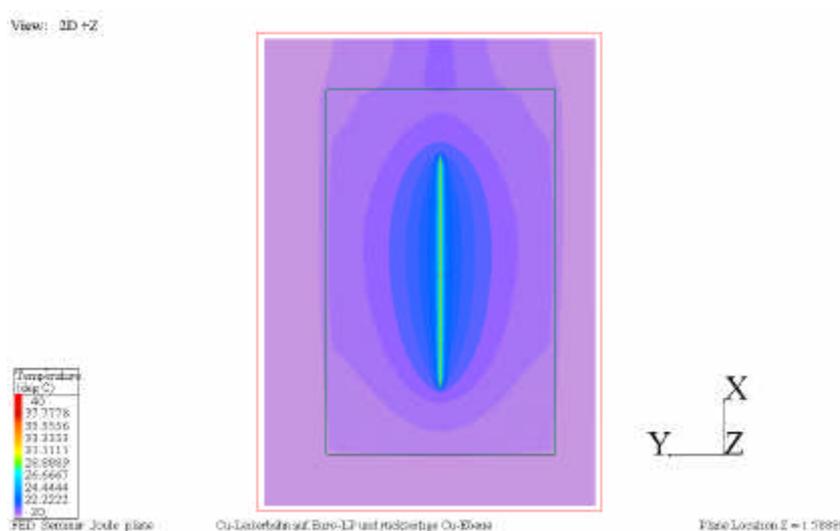


Abb. 6-8: Euro-LP mit einer belasteten Leiterbahn ($d=0.2\ \text{mm}$, $\Delta T=20\ \text{°C}$) und eine kompletten Cu-Ebene auf der Rückseite ($d=35\ \mu$).

Ergebnis für $d=0.2\ \text{mm}$: $I=1.15\ \text{A}$ (entspricht $P=0.36\ \text{W}$)

6.4.1.3 I-A Diagramm

Das Strom-Querschnittsdiagramm für eine Serie von Leiterbahnbreiten (nur der belasteten Bahn) zeigt etwas erstaunliches

- Viele unzusammenhängende passive Leiterbahnen haben kaum einen Einfluss. Die Linie bleibt nahe der „DN“-Kurve
- Eine vollständige Cu-Ebene auf der Rückseite drückt natürlich die Temperatur nach unten, bzw den Strom nach oben, aber die Linie ist jetzt in der Nähe der „IPC“-Kurve.

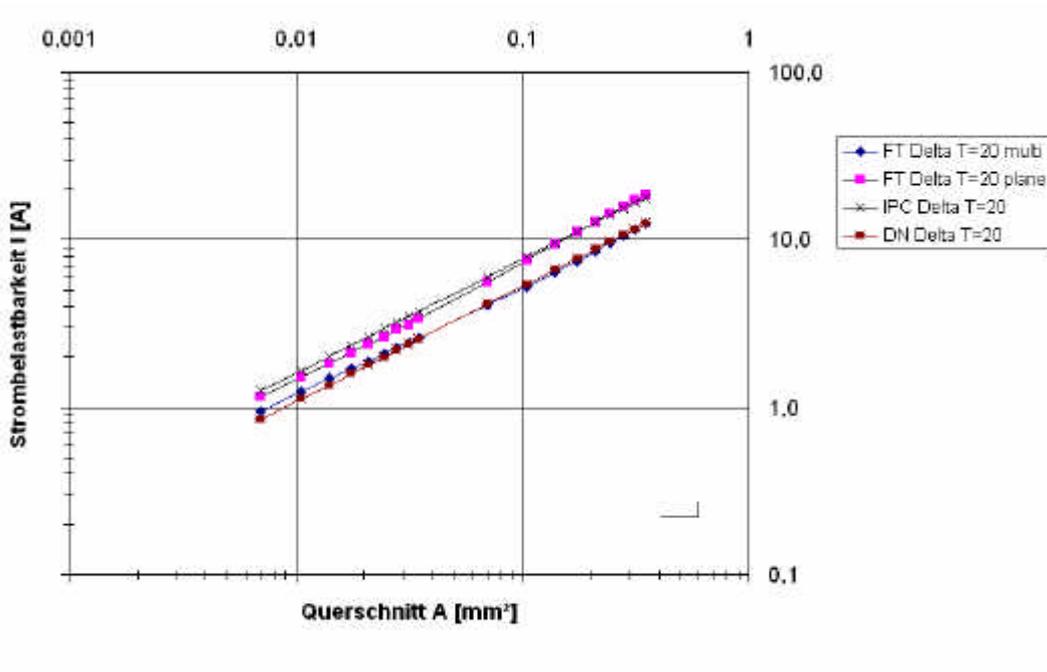


Abb. 6-9: Strombelastbarkeit einer Leiterbahn bei den beiden anderen Layoutszenarien: 80 weitere unbelastete Leiterbahnen („multi“) und eine voll geflutete Rückseite („plane“).

6.4.1.4 Querschnittsverengung

Eine Frage im FED Forum bezog sich einmal auf die Strombelastbarkeit bei einer Querschnittsverengung. In Kürze die Parameter:

- Zuleitungen: 50 mm Leiterbahnlänge, 2 mm Leiterbreite
- Engstelle: 3 mm Länge, 0.7 mm Breite
- Leiterdicke 35 μ Cu

Wir berechnen mit CFD Methoden die Temperaturen auf einer nackten Euro-LP (Abb. 6-10). Wir wählen die Stromstärke so, dass ohne Engstelle gemäss Tab. 6-1 eine Temperaturerhöhung $\Delta T=60$ °C, d.h. eine Leitertemperatur von 80°C, herauskommt.

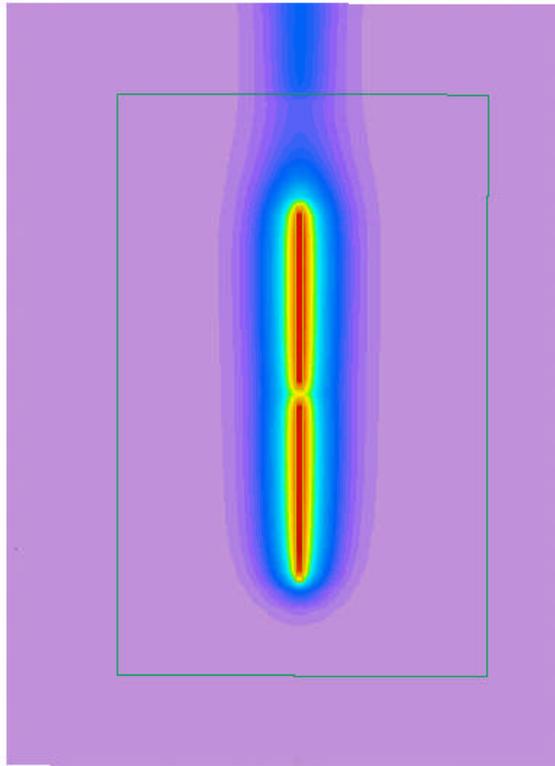


Abb. 6-10: Nur zu und Ableitung mit 6.7 A belastet. Engstelle fehlt. Die Temperatur der Leiter ist erwartungsemäßig 78°C – 80 °C.

Mit einer Engstelle ist die IPC leider nicht zu gebrauchen. Die ergäbe nämlich Temperaturen über 200 °C, wenn man die geometrischen Daten nur für die Engstelle einsetzt. In Wirklichkeit wirken die Zu- und Ableitungen als Wärmespreizer, so dass die Engstellentemperatur auf 111C sinkt (Abb. 6-11).

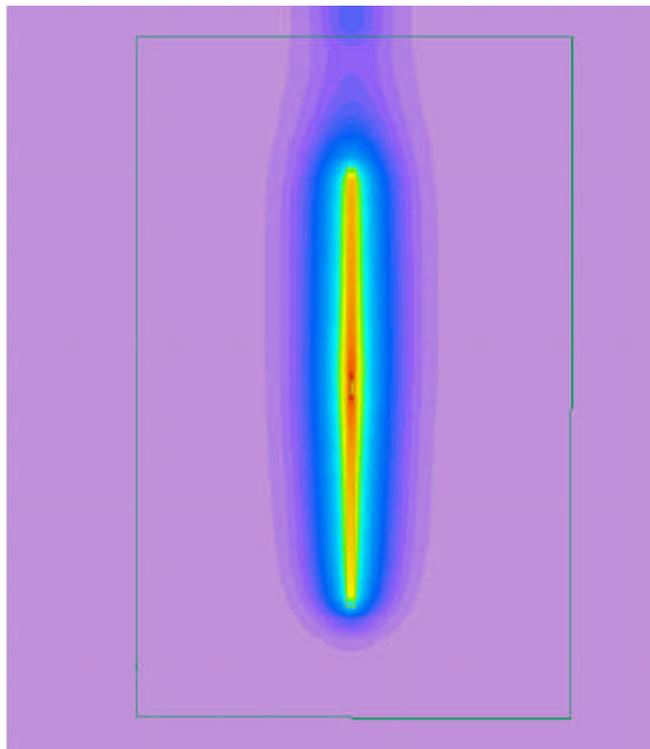


Abb. 6-11: Mit Engstelle. Die Temperatur steigt dort auf 111C.

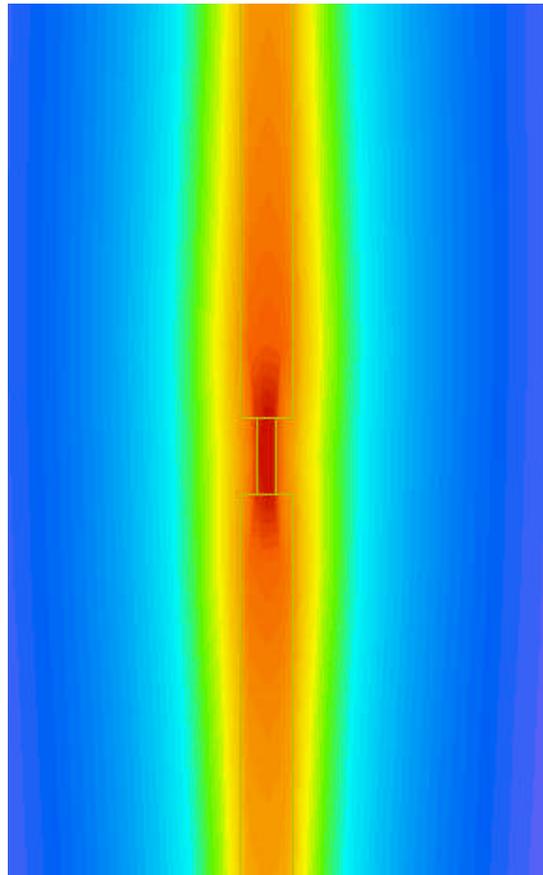


Abb. 6-12: Zoom um die Engstelle. $T_{\max}=111^{\circ}\text{C}$

Tab. 6-2: Auswertung der berechneten Temperaturen für Leiterbahnen und Engstelle zu 6.7 A.

	Minimum (deg C)	Maxium (deg C)	Mean (deg C)
EuroLP	20.	110	25
Leiterbahn oben	79	94	85
Leiterbahn unten	72	92	80
Engstelle	111	111	111