

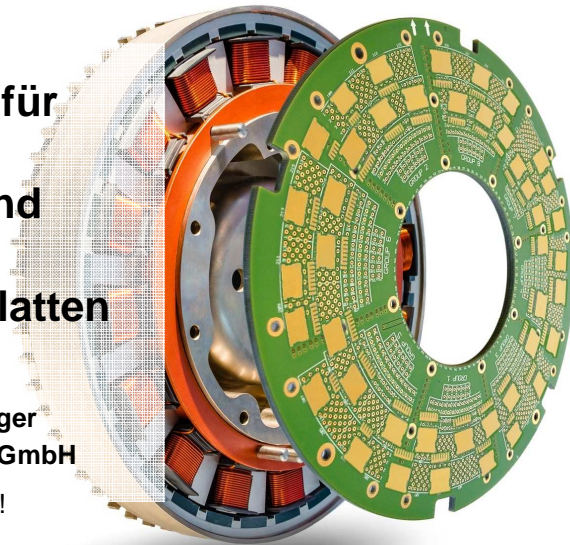
# Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten

Dr. Christoph Lehnberger  
ANDUS ELECTRONIC GmbH

Schreiben Sie mir gerne!



[c.lehnberger@andus.de](mailto:c.lehnberger@andus.de)



Technologien für Hochstrom-  
und Power-Leiterplatten

## Inhalt

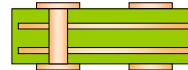
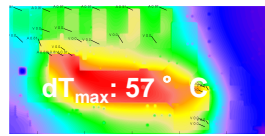
1. Strategien zur Technologieauswahl
2. Dickkupfer, Inlay und IMS
3. Praxisbeispiele Strategien

## 1. Strategien zur Technologieauswahl

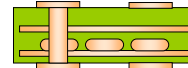
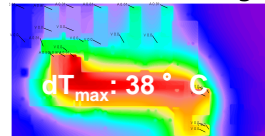
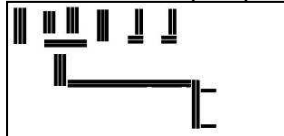
- Wo entsteht die Wärme?
  - Wo soll die Wärme hin?
  - Wie kommt sie dort hin?
- ▶ Bringen Sie Licht in den Technologie-Dschungel
  - ▶ Navigieren Sie durch verschlungene Wärmepfade

## 1. Strategien zur Technologieauswahl

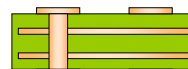
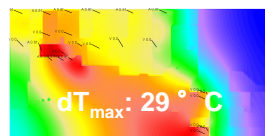
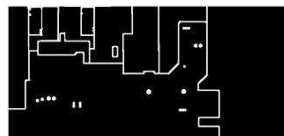
**Beispiel:** 4 Lagen Multilayer  
Ausgangssituation (Innenlage):



Zusätzlich Kupferprofile auf die Innenlagen geschweißt:



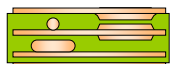
Kostenlose Alternative: Optimierung Innenlagen-Layout:



# 1. Strategien zur Technologieauswahl



## Weiteres Beispiel für eine Technologieentscheidung (LED)



Multilayer & Cu-Bändchen  
(Häusermann: HSMTec, ..)



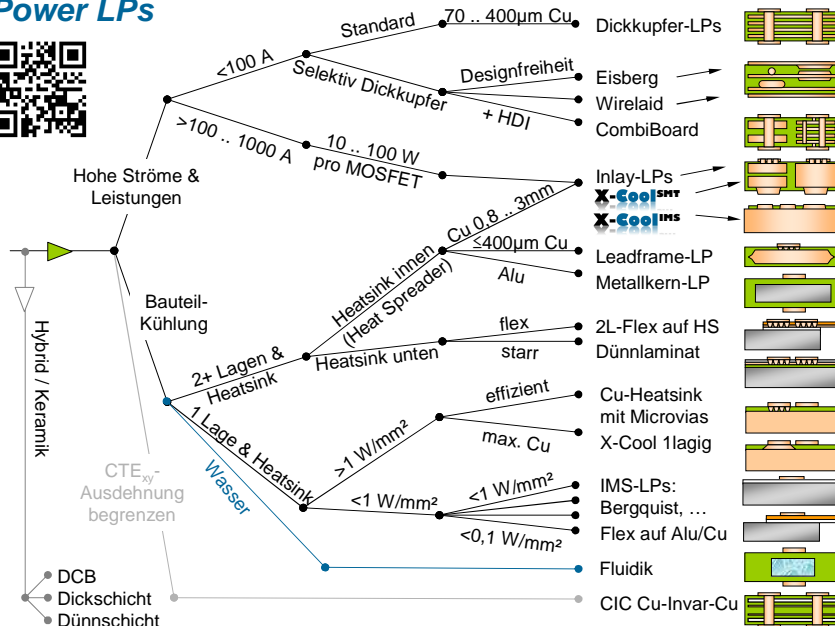
Gebogenes IMS (Alu-LP)  
(Fela: Felam Thermoline)



**KISS: Keep It Smart & Simpel**

Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten

## Technologie-Scout Power LPs

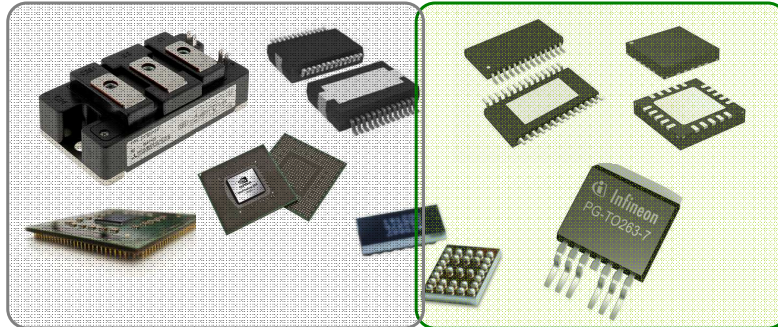


## 1. Strategien zur Technologieauswahl

**ANDUS**  
ELECTRONIC

Wie fängt man an?  
Wo fängt man an?

→ an der Wärmequelle  
→ bei den Bauteilen



Kühlung per Kühlkörper, ...      **Kühlung per Leiterplatte**

Bei der Bauform werden die entscheidenden Weichen für den Wärmepfad gestellt. (→ Blick ins Datenblatt)



Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten

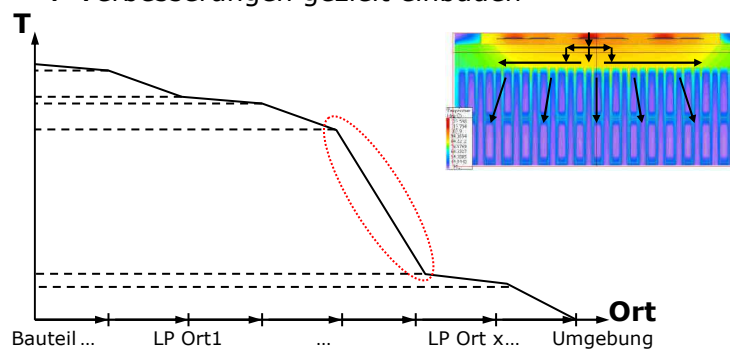
## 1. Strategien zur Technologieauswahl

**ANDUS**  
ELECTRONIC

Wie geht es weiter?

**Die Temperatur-Treppe: das Optimierungstool**

- Große Temperaturgefälle im Wärmepfad suchen
- Verbesserungen gezielt einbauen



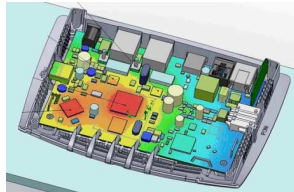
**Fazit:** Bitte nicht nur  $T_{\max}$  bewerten und sich sonst nur an den bunten Thermogrammen erfreuen.

Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten

## 1. Strategien zur Technologieauswahl

### Aufgabenstellung:

Eine SMT-Baugruppe weist zu hohe Temperaturen auf.



**Frage:** Wie reduziert man die Überhitzung der Bauteile?

- Antworten:**
- Konvektion: Luftöffnungen vergrößern, Lüfter
  - Konstruktion: Gehäuse als Kühlkörper, Kühlkörper
  - Wärmespreizung: Aufbau, Layout verbessern

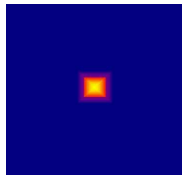


## 1. Strategien zur Technologieauswahl

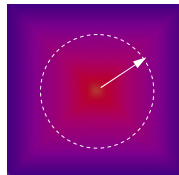
**Frage:** Wie weit muss die Wärme gespreizt werden?

**Antwort:** Bis die Temperatur der Hotspots nicht mehr zu hoch ist.

Grundlegende Überlegung zur Wahl der Kupferstärke:



**Hot Spot oder nur „Lauwarm-Spot“?**  
Kupfer zu dünn?



**Temperaturgradient**  
Kupferdicke ausgewogen



**Temperatur gleichmäßig**  
Kupfer „zu“ dick oder schlechter Wärmeüberg.



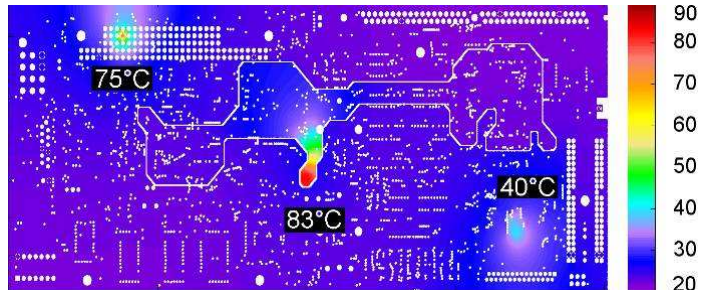
$$\text{Radius [m]} = \sqrt{\frac{\text{Leitfähigkeit } \lambda \text{ [W/m K]} \times \text{Dicke Cu } d \text{ [m]}}{2 \times \text{Wärmeübergangskoeffizient } \alpha \text{ [W/m}^2 \text{ K]}}}$$


# 1. Strategien zur Technologieauswahl

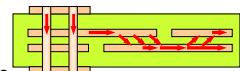



## Wärmespreizung auf Masselagen:

200x80 mm  
70 µm Cu  
3x je 1 W  
 $T_U = 20^\circ \text{C}$   
(TRM-Software)



 Kupferflächen sind unterbrochen durch Via-Freisparungen und Potentialtrennungen.

- Masselagen verschachteln 
- Bei der Kalkulation berücksichtigen
- Bei HDI-Aufbau berücksichtigen 



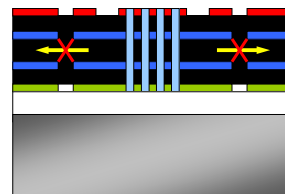
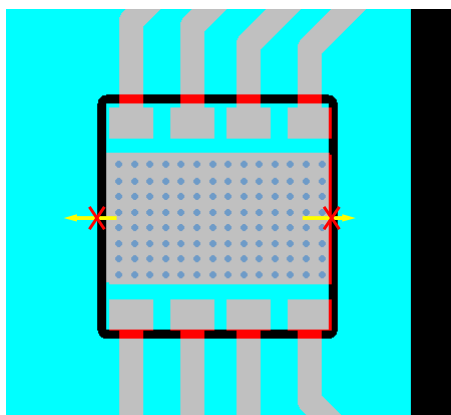
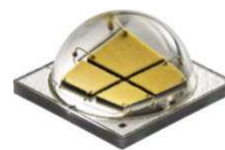
Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten

# 1. Strategien zur Technologieauswahl



## Wärmespreizung auf Masselagen

Aktuelles Beispiel: Cree MK-R



Schade,  
das geht besser.



Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten

## 1. Strategien zur Technologieauswahl

**ANDUS**™  
ELECTRONIC

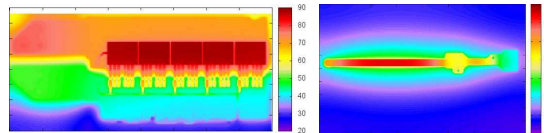
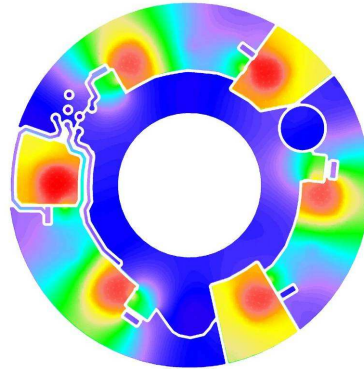
**Apropos: Vielen Dank an**

**Dr. Johannes ADAM**  
ADAM Research

für seine Thermosimulations-Software  
**TRM (Thermal Risk Management)**

Alle Thermogramme wurden  
mit TRM generiert.

[www.adam-research.de](http://www.adam-research.de)



*Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten*

## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

**ANDUS**™  
ELECTRONIC

## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

### Abstände zwischen den Lagen:

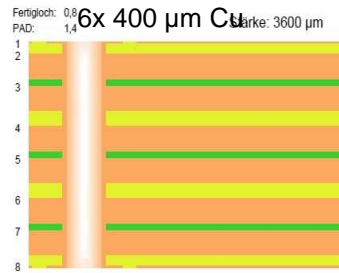
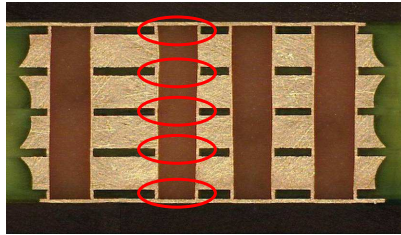
Für eine gute vertikale Wärmeleitung sind geringe Lagenabstände nötig.

Standard: 200  $\mu\text{m}$

Minimum: 100  $\mu\text{m}$

Beispiele:

4x 400  $\mu\text{m}$  Cu, 5x 100  $\mu\text{m}$  Abstand

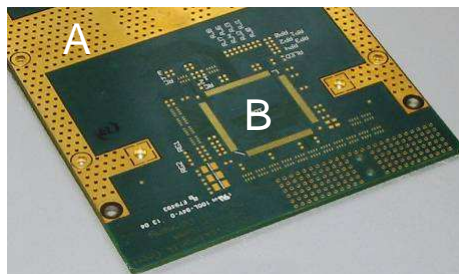


**Voraussetzung:** Verfüllung der Leiter-Zwischenräume ist gewährleistet

## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

**Aufgabe:** Zwei verschiedene Kupferstärken sollen auf einer Lage kombiniert werden:

- (A) 210  $\mu\text{m}$  zur Wärmespreizung
- (B) 50  $\mu\text{m}$  für ein fine-pitch QFP-Bauteil



HDD für die ISS  
(2004)

**Lösung:** Selektive Dickkupfer-Techniken

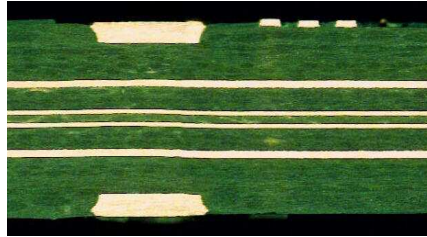


## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

Selektiv Dickkupfer I: **Eisberg-Technik**

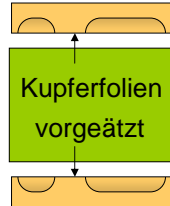
Auf einer Lage (meist Außenlagen): hohe und geringe Kupferstärken

Beispiel



Symbol

Herstellung



**Hinweis:** Notwendigkeit / Alternative prüfen (Dickkupfer-Innenlagen, ..)

*Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten*

## 2b. Inlay

## 2. Dickkuper, Inlay und IMS

**ANDUS**  
ELECTRONIC

für Unersättliche

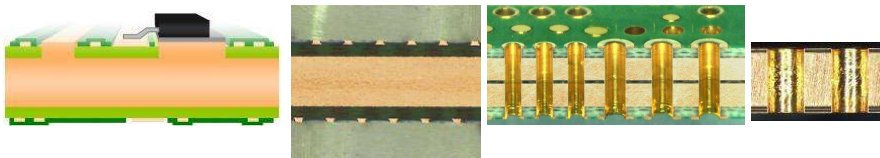
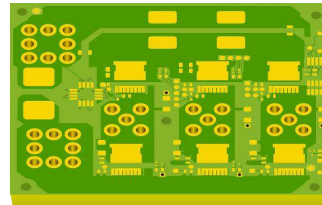
**Aufgabe:** Lassen sich Ströme von 1000 A in LPs leiten?

**Lösung:** **Kupfer-Inlays, „Hochstromleiterplatte“**

Einbetten von 1 - 3 mm Dickkuper für

- hohe Ströme
- gute Kühlung

- ▶ **Umrichter**
- ▶ **Batterieschalter**



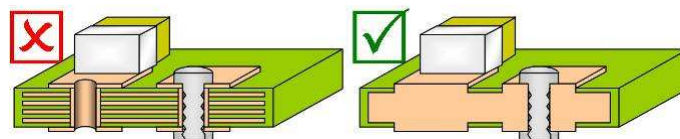
Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten

## 2. Dickkuper, Inlay und IMS

**ANDUS**  
ELECTRONIC

### Warum Hochstromleiterplatten mit Inlays

- hoher Querschnitt an Interfaces, ab 150A / 15W pro Bauteil
  - Hohe Ströme und Wärmeableitung in einem System
  - Höhere Zuverlässigkeit an Interfaces (Löten statt Schrauben)
  - Standard-SMD-Bestückung
  - hohe Freiheitsgrade beim Design
  - Einsparung an Montageaufwand, -material und -zeit
- Systemkostenreduktion (Aussage aus einer Marketingabteilung)



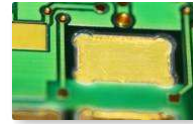
Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten

## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

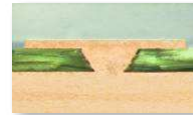
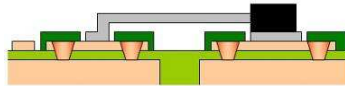
**ANDUS**  
ELECTRONIC

### Kontaktmöglichkeit zum Inlay / Busbar

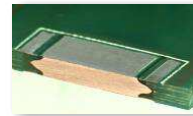
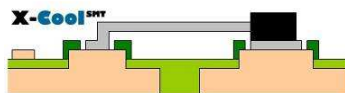
Fräsungen



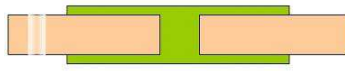
Gefüllte Microvias



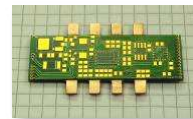
Inlay-Pads



Laschen



Einpresskontakte



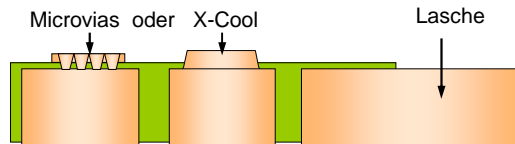
Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten

## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

**ANDUS**  
ELECTRONIC

### Variante 1

1 Inlay-Lage +  
1 Außenlage

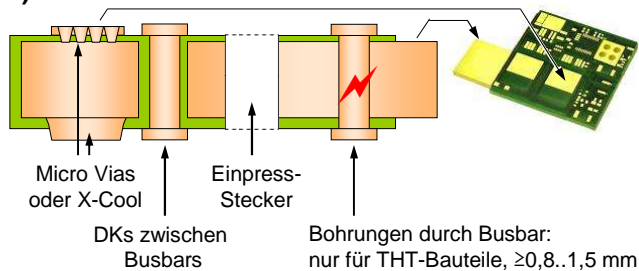


Serienprodukt  
Automotive

Form der Inlays:  
keine geraden Linien, um  
Sollbruchstellen zu vermeiden

### Variante 2 (Bestseller)

1 Inlay-Lage +  
2 Außenlagen



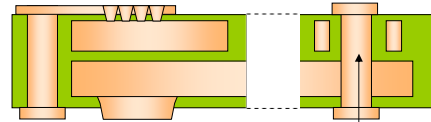
Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten

## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

### Variante 3

2 Inlay-Lagen +  
2 Außenlagen

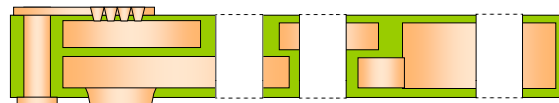
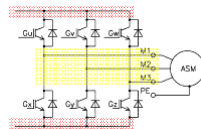
Vorteil: geringe Impedanz  
Anwendung: Umrichter



Begrenzte Strombelastbarkeit  
in der oberen Hülse-Hälfte

### Variante 4

1 ½ Lagen Inlay  
(3D Inlay)



DC Eingang  
(geringe Impedanz)

AC Ausgang

## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

### Design-Regeln

Innenlagen: 1) auf Höhe der Inlays  
2) zwischen den Inlays  
3) zwischen Inlay und Außenlage (aufwändig)



Inlay Stärke: 1 .. 1,5 .. 2 .. 2,5 .. 3 .. mm

Inlay Breite:  $\geq 2$  mm

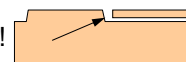
Inlay Abstand:  $\geq 2$  mm

Via - Inlay Abstand: 0,5 mm

Form der Inlays: 1 mm Radius für alle Ecken (Innen- & Außenecken)

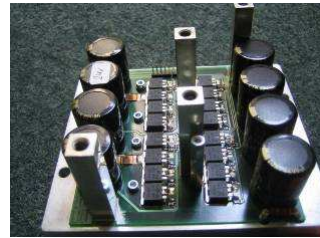
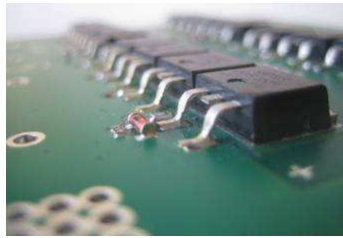
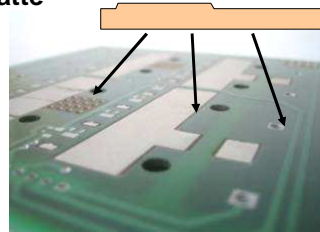
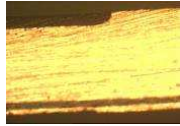
Bohrungen:  $\geq 1,5$  mm (1,0mm ... 0,8 mm); je mehr, desto besser

Höcker: 0,5 mm Radius  
keine Verbindung zu den Außenlagen!



## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

### Beispiel 1 für eine Hochstromleiterplatte



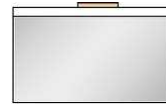
*Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten*

## 2c. IMS

## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

### IMS - Insulated Metal Substrate

= Eine Lage auf Alu, mit dünner Isolation  
(Synonyme: MCPCB = Metal Core, Metallkern-LP)

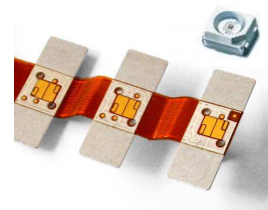
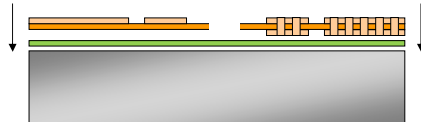


Hersteller	Typ	Stärke d	Leitfähigkeit $\lambda$	$\lambda / d$
 (Henkel)	MP	75 $\mu\text{m}$	1,3 W/mK	17 kW/m <sup>2</sup> K
	HT	75 $\mu\text{m}$	2,2 W/mK	29 kW/m <sup>2</sup> K
	HPL	38 $\mu\text{m}$	3,0 W/mK	79 kW/m <sup>2</sup> K
Denka	HITT PLATE	85 $\mu\text{m}$	4,0 W/mK	47 kW/m <sup>2</sup> K
DuPont	CoolLam LX	17 $\mu\text{m}$	0,8 W/mK	47 kW/m <sup>2</sup> K
div. 故障	div.	75 $\mu\text{m}$	~1 W/mK	13 kW/m <sup>2</sup> K
ANDUS	<b>ZERCGap</b>	4 $\mu\text{m}$	(0,36 W/mK)	90 kW/m <sup>2</sup> K

Vergleichbar werden die Materialien durch den Quotienten  $\lambda / d$  ( $\hat{=}\alpha$ )  
 Der Materialpreis steigt mit höherer Leitfähigkeit und sinkender Stärke.  
 Für einfache LED-Anwendungen reicht das einfache Material aus.

## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

### Flex auf Metallträger (Heat Sink)



#### Vorteile:

- Konstruktionsfreiheit größer
- Gehäuse können gleichzeitig Träger sein
- preiswerter; Semiflex = dünnes FR4

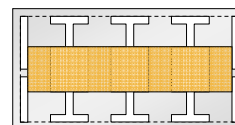
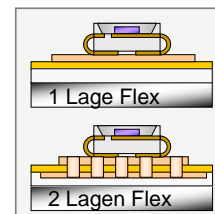
#### Anwendung:

- KfZ Leuchten

#### Nachteil:

- Thermischer Widerstand höher als bei IMS-Material, (~1 Größenordnung)

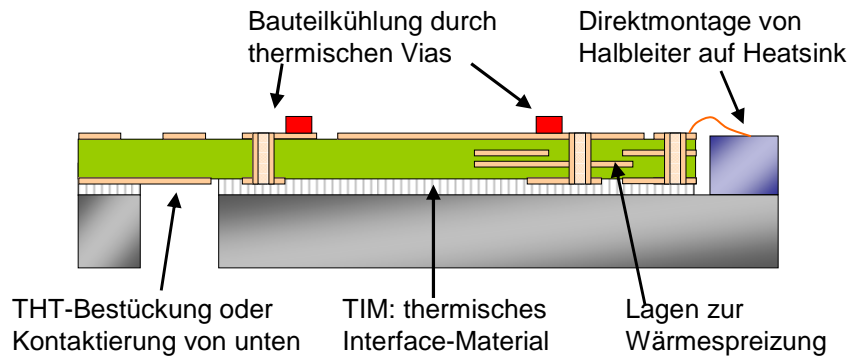
Optimierter Fertigungs-  
panel: Bsp.:



## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

### Leiterplatten auf Metallträger (Heat Sink)

Alu/Kupfer-Blech oder Gehäuse als unterklebte Wärmesenke

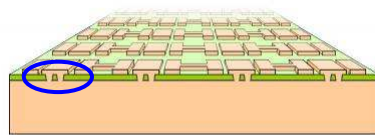


Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten

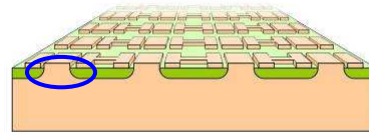
## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

### Direktkontakt zu Heatsink:

Einseitiges „Kupfer-Inlay“



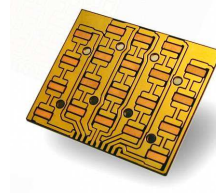
mit gefüllten Microvias



einseitiges **X-Cool<sup>SMY</sup>**

Vorteile:

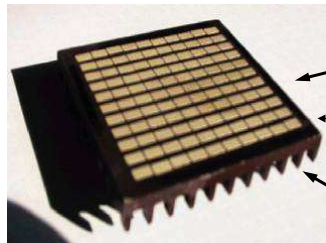
- Heatsink ohne Isolationsschicht
- Standard SMD-Bestückungsprozess



Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten

## 2. Dickkupfer, Inlay und IMS

**Zwischenruf: Den Wärmepfad vorausschauend planen:**



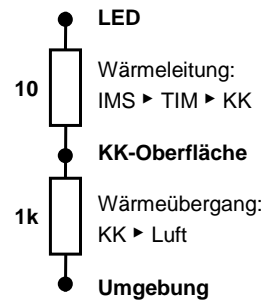
LED-Substrat (IMS)

Therm. Interface-Material (TIM)

Kühlkörper (KK)

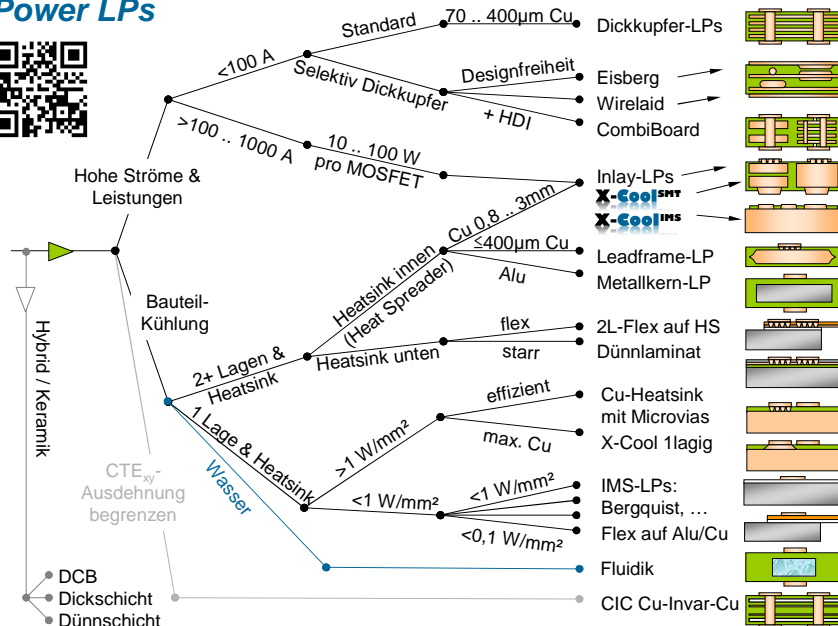
In dieser Anordnung ist der Wärmewiderstand des Kühlkörpers **~100 mal höher** als das Substrat

- Ist der Kühlkörper viel zu klein?
- Ist so also nur Kurzzeit-Betrieb möglich?
- Oder ist das IMS-Substrat überspezifiziert?



*Technologien für Hochstrom- und Power-Leiterplatten*

## Technologie-Scout Power LPs



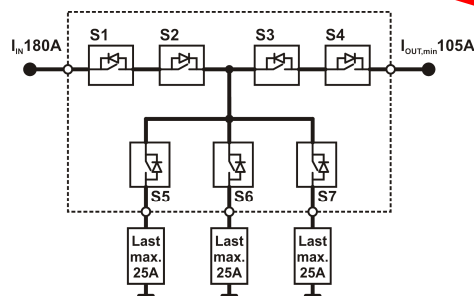


## 3c Modellprojekt: Batterie-Halbleiterschalter

### 3. Detailplanung Praxisbeispiele

#### Batterieschalter für automotive Anwendung mit Mosfets

Vorgaben:



Paradebeispiel für eine  
Produktentwicklung

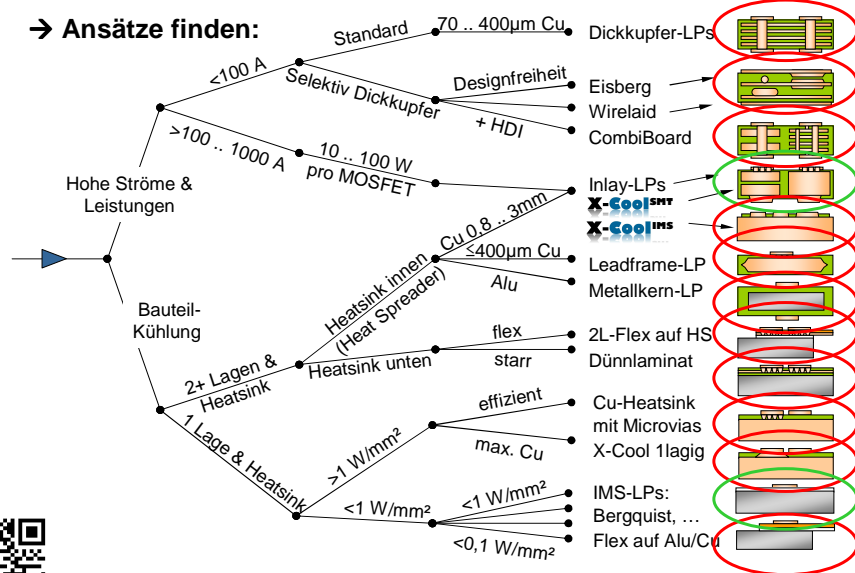
Mosfets:  $R_{DS\ ON} = 0,7\ m\Omega \rightarrow P_{S1-S4} = 23\ W$  (4x im worst case)

Strombelastung: in FR4: 17x2 mm Cu Querschnitt: +30K



### 3. Detailplanung Praxisbeispiele

→ Ansätze finden:

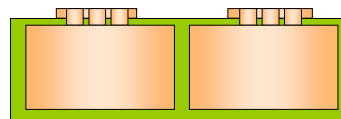


### 3. Detailplanung Praxisbeispiele

→ 2 Ansätze gefunden:

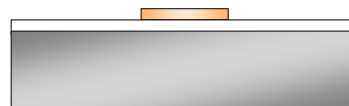
#### A) Inlay:

- 2mm Kupfer
- gefüllte Microvias
- Laschen
- perfekte Stromleitung



#### B) IMS

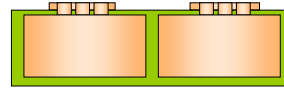
- 1,5 mm Alu, 70 µm Kupfer
- SMD Stecker/Schrauben
- perfekte Kühlung



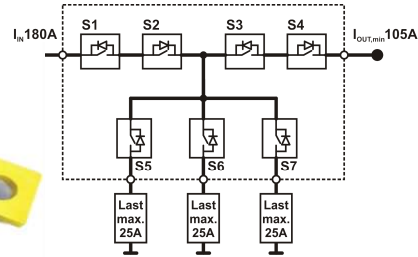
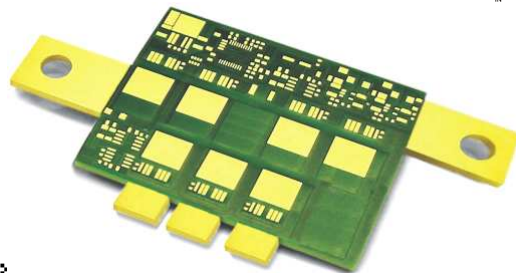
### 3. Detailplanung Praxisbeispiele

#### A) Inlay

- 8 Inlays, z.T. recht klein
- Strombelastbarkeit problemlos
- Kühlung über Rückseite und etwas über Kabel



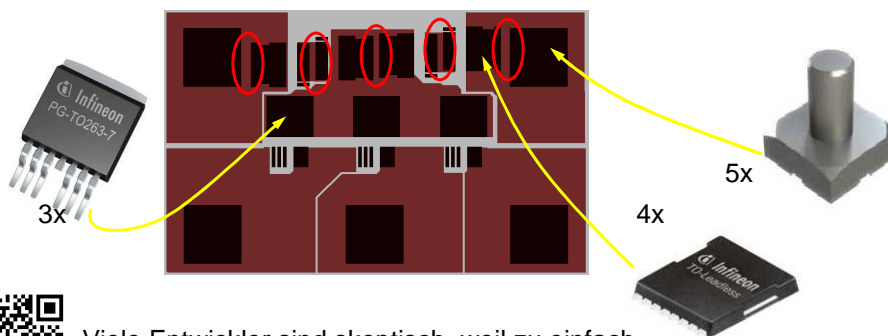
Beispiel-Layout:



### 3. Detailplanung Praxisbeispiele

#### B) IMS

- 1,5 mm Alu, 70  $\mu m$  Cu und 180 A. Wie geht das?
- 25 mm breiten Leitungen wären normalerweise ~400 K wärmer.
- Reduktion der Leitungslänge zwischen den Bauteilen:
- 5 Stellen: 10mm x 2 mm x 0,07 mm à 0,05 m $\Omega$  = 1,6W = 10% der FETs

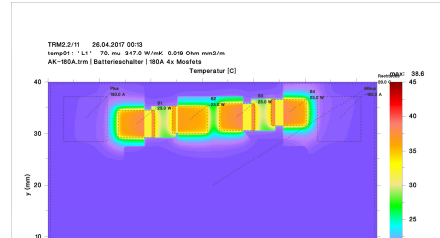


Viele Entwickler sind skeptisch, weil zu einfach.

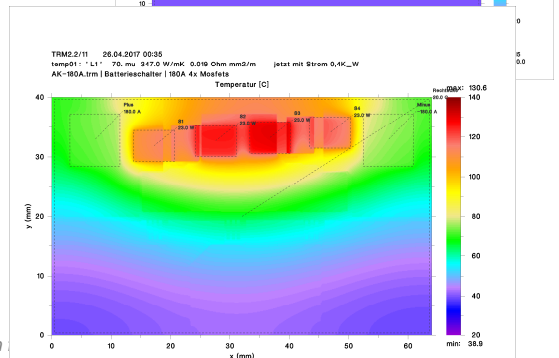
### 3. Detailplanung Praxisbeispiele

#### B) Simulationsergebnisse

1) isothermer Kühlkörper, 20°C,  
ideal mit Alu verbunden  
Tmax=39°C



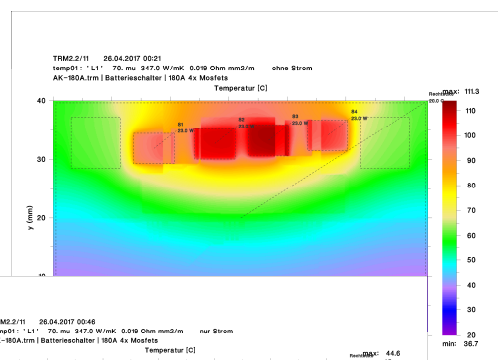
2) isothermer Kühlkörper  
mit Rth=0,4 K/W  
an die LP angebunden  
Tmax = 131°C



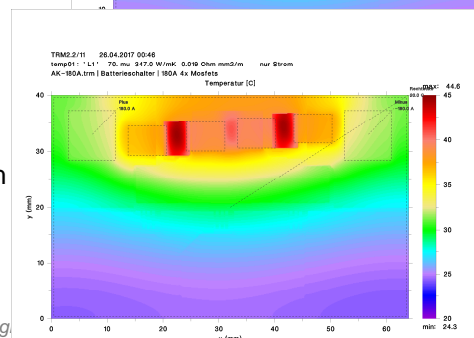
### 3. Detailplanung Praxisbeispiele

#### B) Simulationsergebnisse

3) ohne Strom  
Tmax = 111°C  
dT: 82% durch Mosfets



4) nur Strom  
Tmax = 45°C  
dT: 23% durch Strom



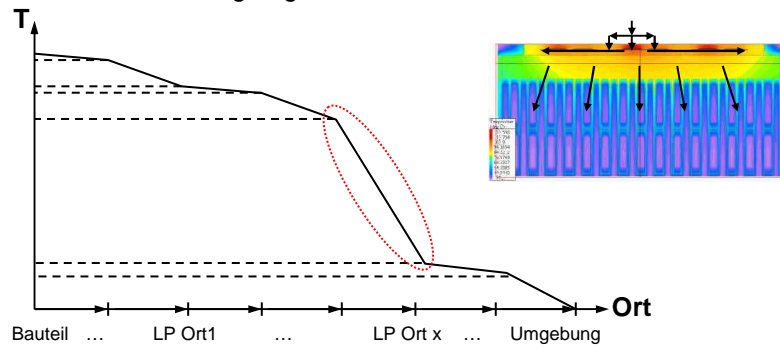
## Zusammenfassung

**ANDUS**  
ELECTRONIC

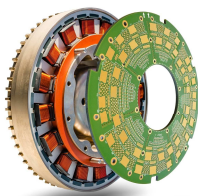
Sie können jetzt Wärmepfade gezielt planen. Und:  
Sie können Ihr System jetzt optimal konstruieren:

### Die Temperatur-Treppe: das Optimierungs-Tool

- Große Temperaturgefälle im Wärmepfad suchen
- Verbesserungen gezielt einbauen



Und jetzt Sie!



*Christoph Lehnberger*

Dr. Christoph Lehnberger  
Produktmanager

c.lehnberger@andus.de  
+49 30 610006-81  
www.andus.de

