



HOCHSCHULE LANDSHUT
HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

Untersuchungen zur Strombelastbarkeit von Bändchen- Bondverbindungen

Artem Ivanov
Christian Faber
Alexander Kleimaier

Hochschule Landshut



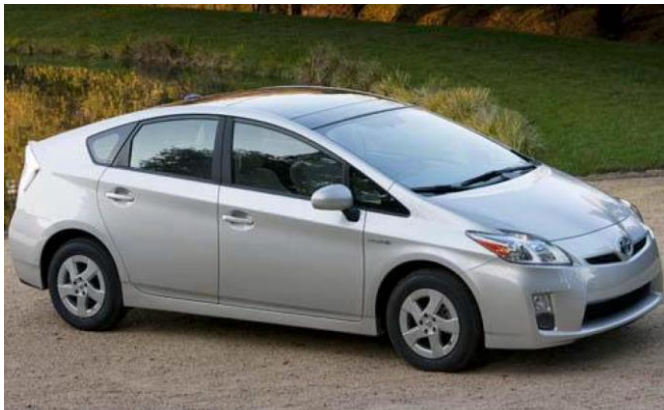
Aufgabenstellung

Bändchen-Bonden aus Anwendersicht:

- Leistungselektronik: Hochstrommodule
- Niederohmige Verbindungstechnik für Li-Ion-Batterien

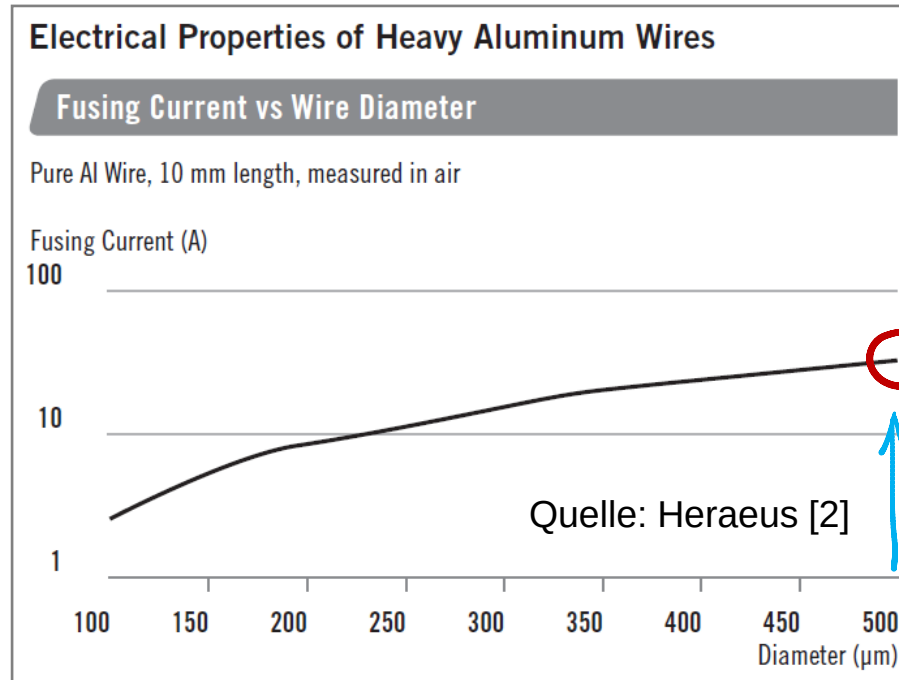
Das Verfahren ist im Bereich Leistungsmodule bereits Stand der Technik

Beispiel: 2010 Toyota Prius



Quelle: Oak Ridge National
Laboratory 2011 [1]

Strombelastbarkeit der Verbindung: Herstellerangaben



Al ribbon dimensions	Equivalent number of wires (500μm)
2000μm x 200μm	2.0

30A

Bändchen 2000μ x 200μ:

$$I_{fuse} = 30A \cdot 2 = \underline{60A}$$

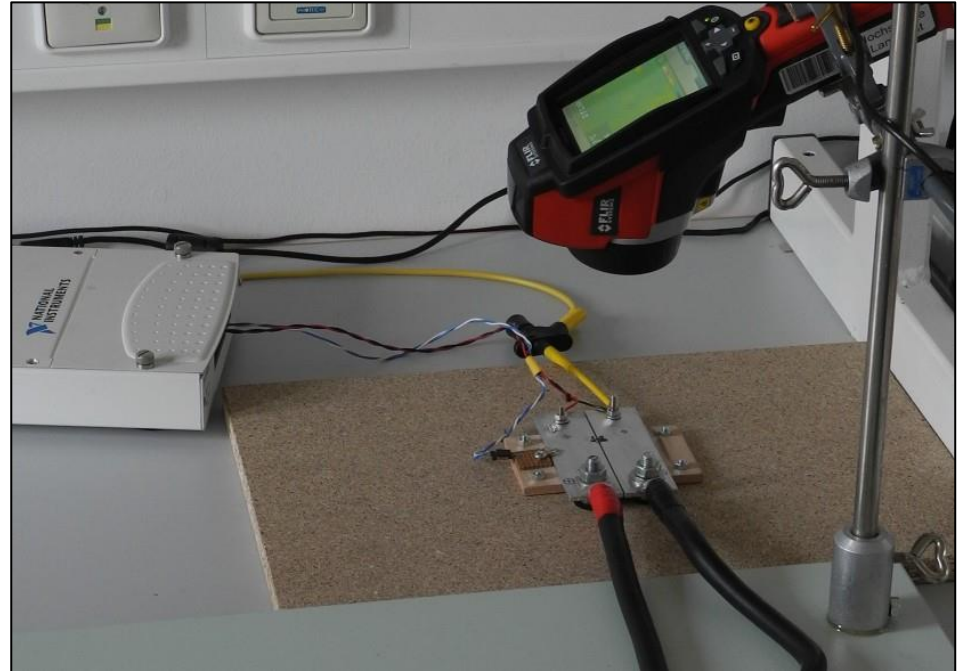
Zielsetzung der Untersuchungen

- Schmelzstrom für Bändchen 2000μm x 200μm
- Stromabhängigkeit des Widerstands, der Leistung, der Temperatur

Experimenteller Aufbau

Messprinzip

- DC Stromprägung (pulsförmig)
- Bondpads auf Raumtemperatur (Aluminiumschienen 90mm²)
- Messgrößen
 - Spannung an der Verbindung
 - Temperatur des Bändchens
 - Temperatur der Bondpads
- Looplänge variiert

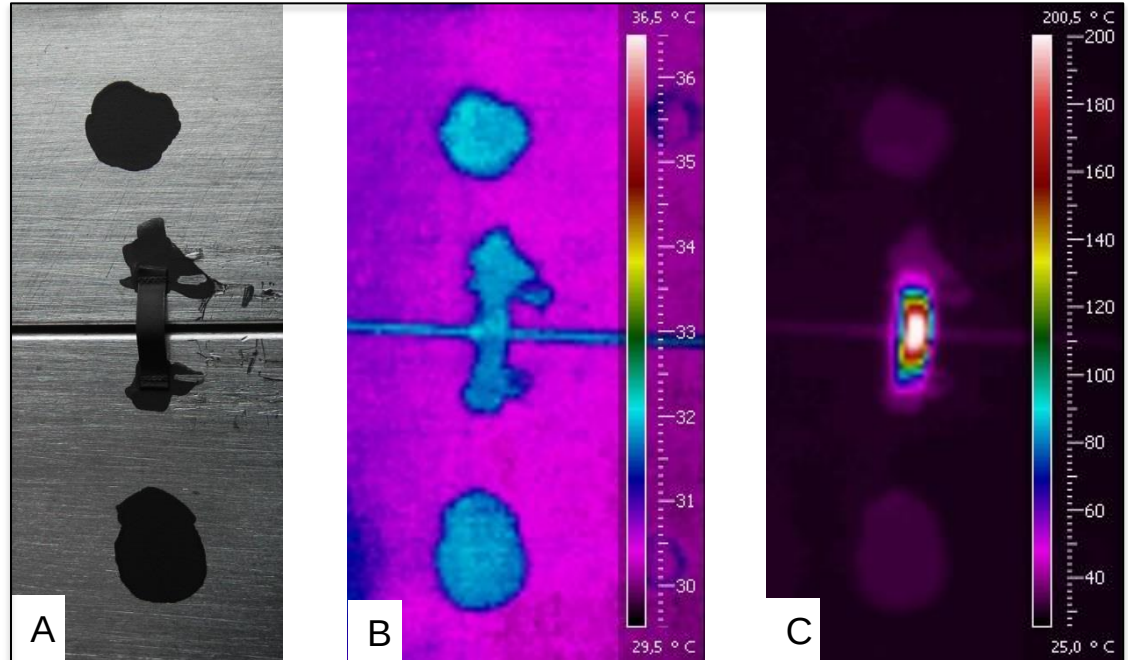


Interpretation des Ergebnisses: Eigenschaften der Bondverbindung unter Stromführung im stationärem Zustand bei „kalten“ Bondpads.

Temperaturmessung

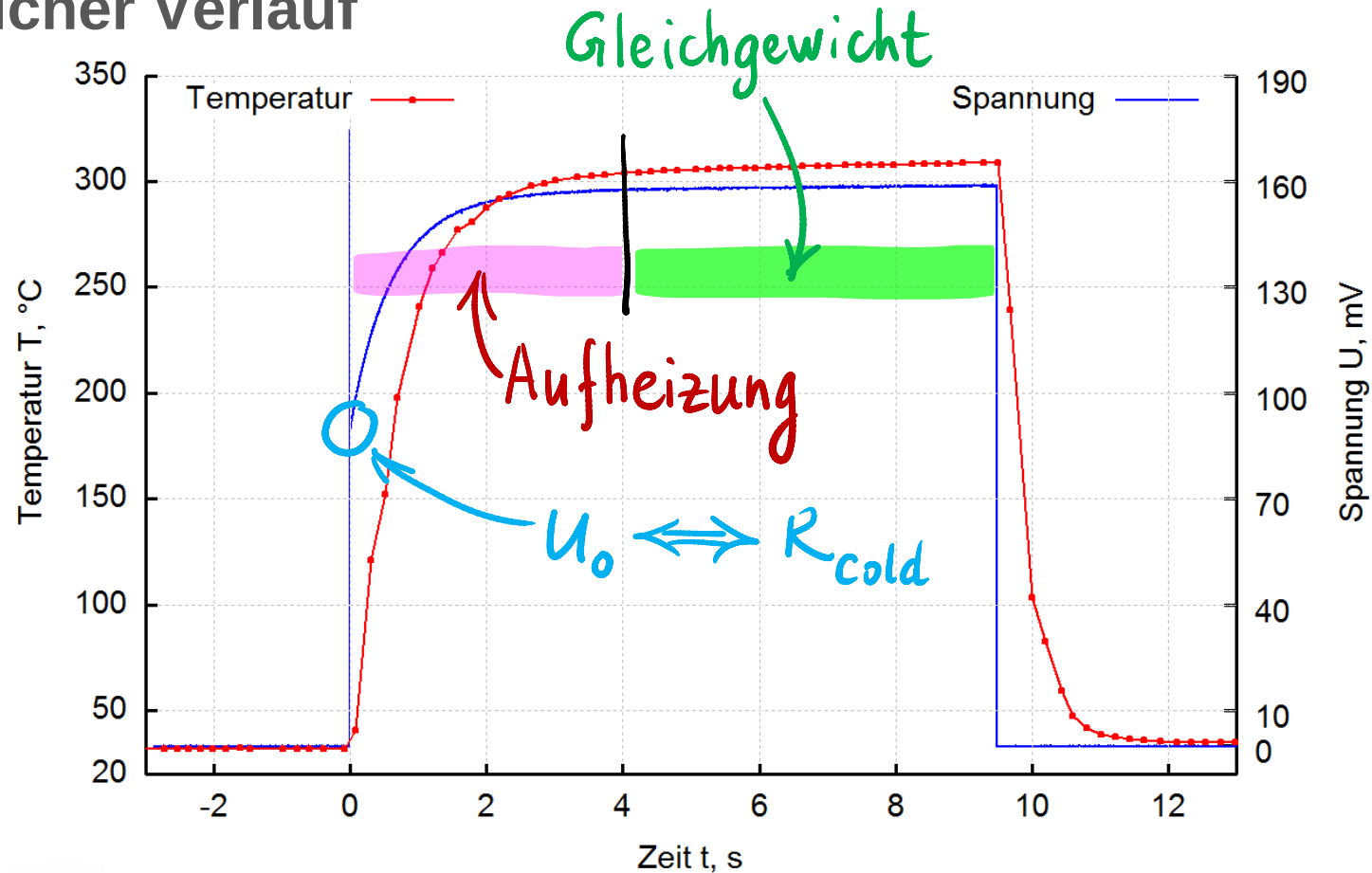
Kontaktlose Messung

- Wärmebildkamera
- Beschichtung mit hohem Emissionswert
 - Graphitlack
 - Emissionswert über Kalibrierung:
 $\varepsilon = 0,765$
 - Vernachlässigbarer Einfluss auf die Temperatur des Bändchens



Bändchenverbindung mit Padabstand $D = 7$ mm.
A: Foto, B: Wärmebild bei Stromstärke $I = 0$ A,
C: Wärmebild bei $I = 120$ A.

Zeitlicher Verlauf



Zeitabhängigkeit der Temperatur und der Spannung an der Bondverbindung bei Padabstand $D = 15 \text{ mm}$ und Stromstärke $I = 70 \text{ A}$.

Bestimmung der Länge des Bändchens

Bonder Einstellung:

- LoopHeightFactor = 110%

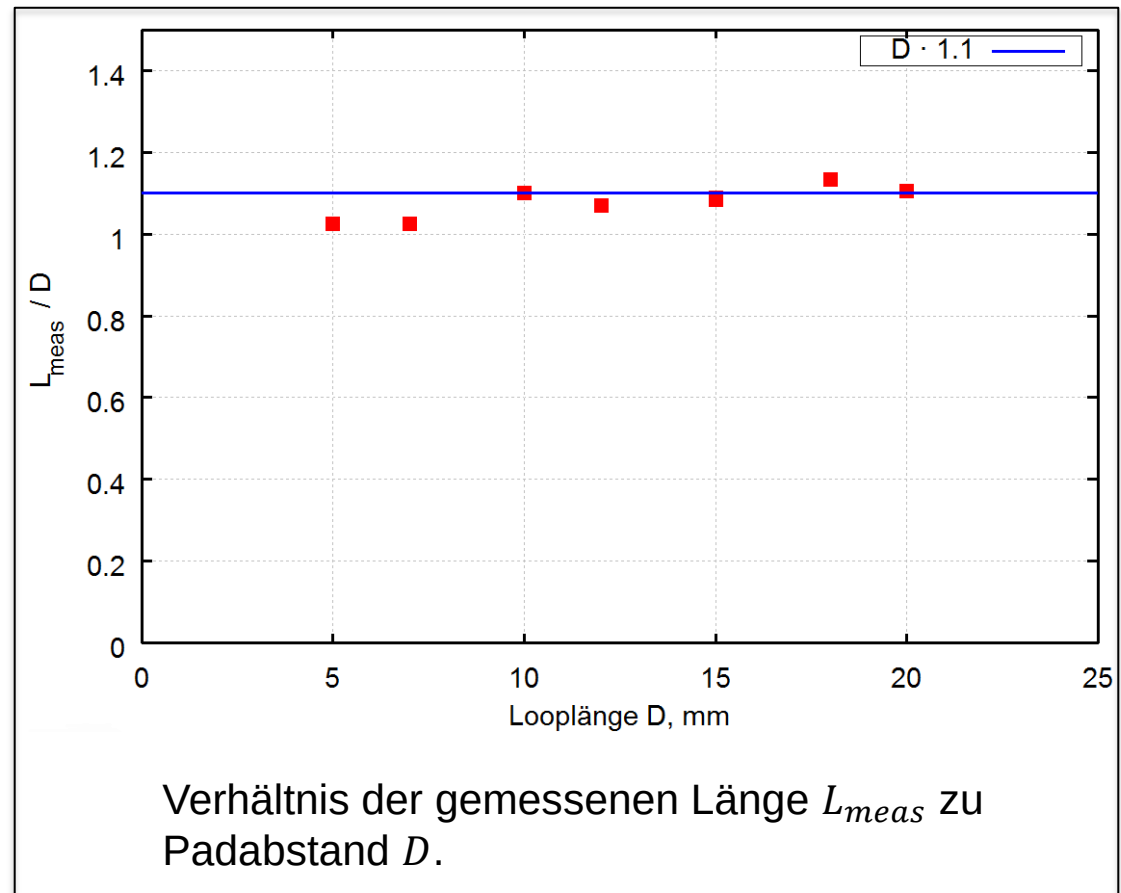
Erwartete Bändchenlänge:

$$L \approx 1.1 \cdot D,$$

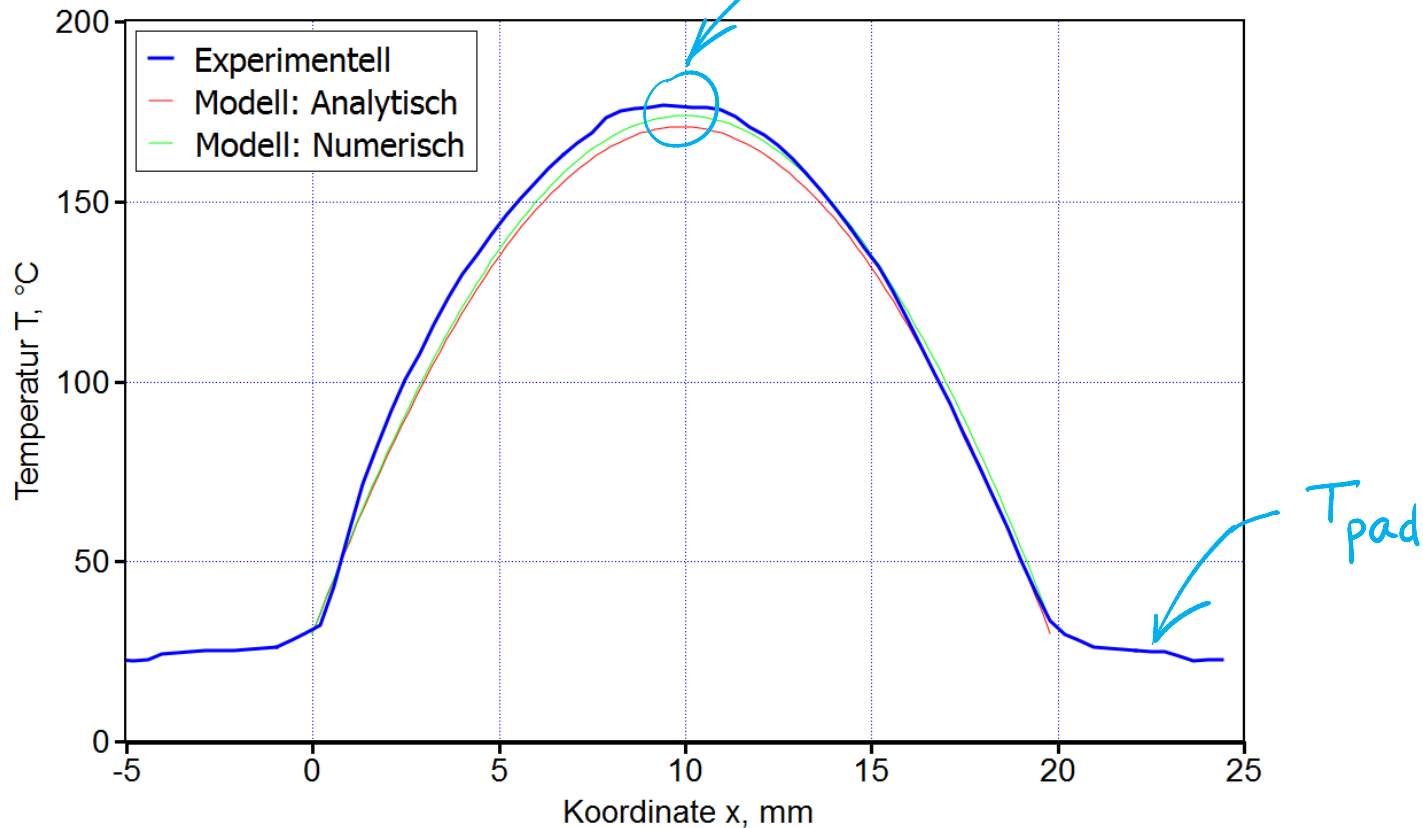
D : Padabstand (Looplänge)

Eingesetzte Bändchenlänge

$$L = 1.1 \cdot D$$

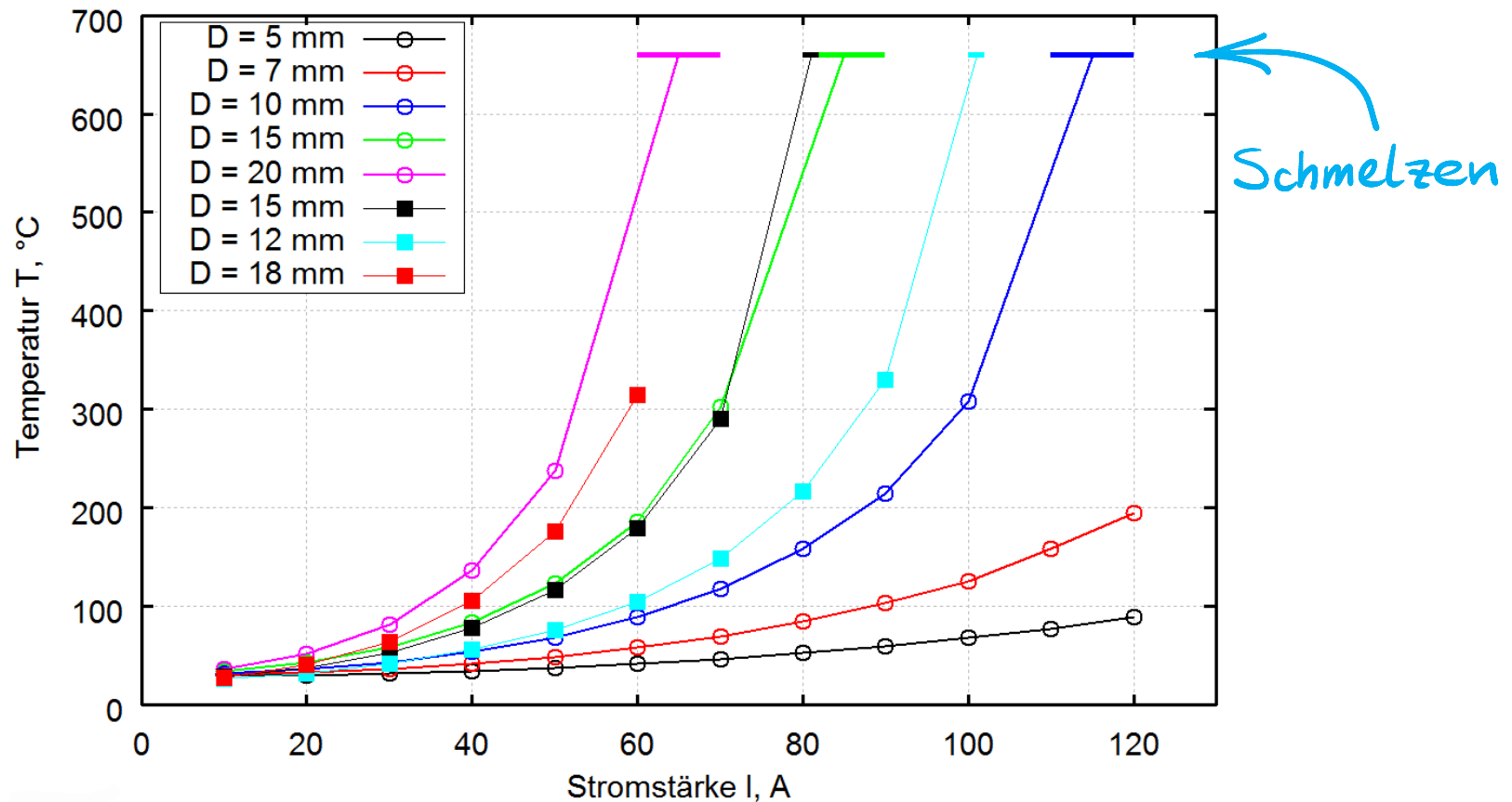


Ergebnisse: Temperaturprofil



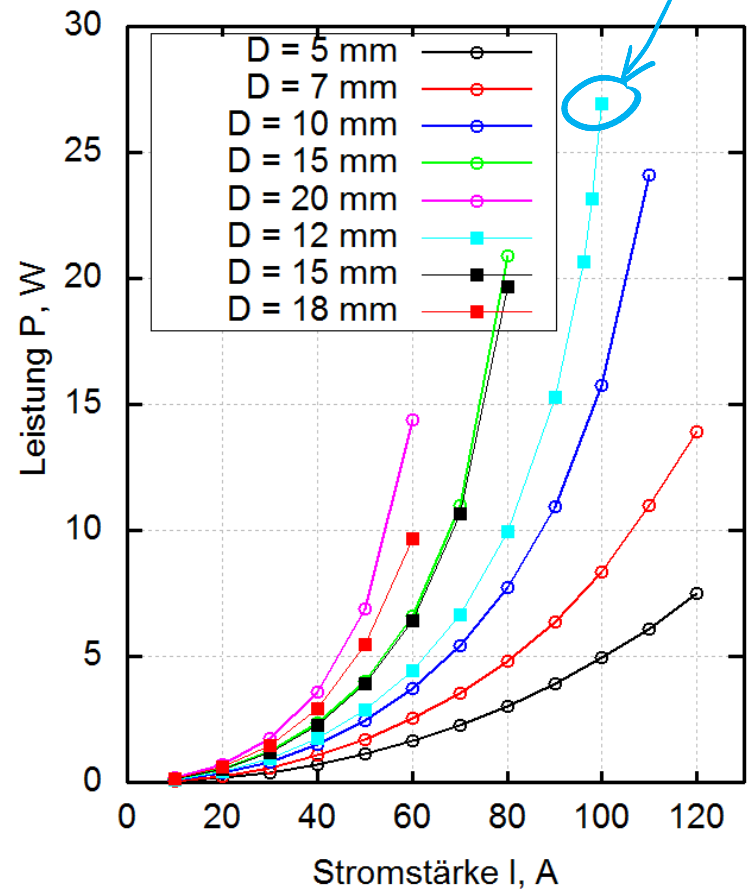
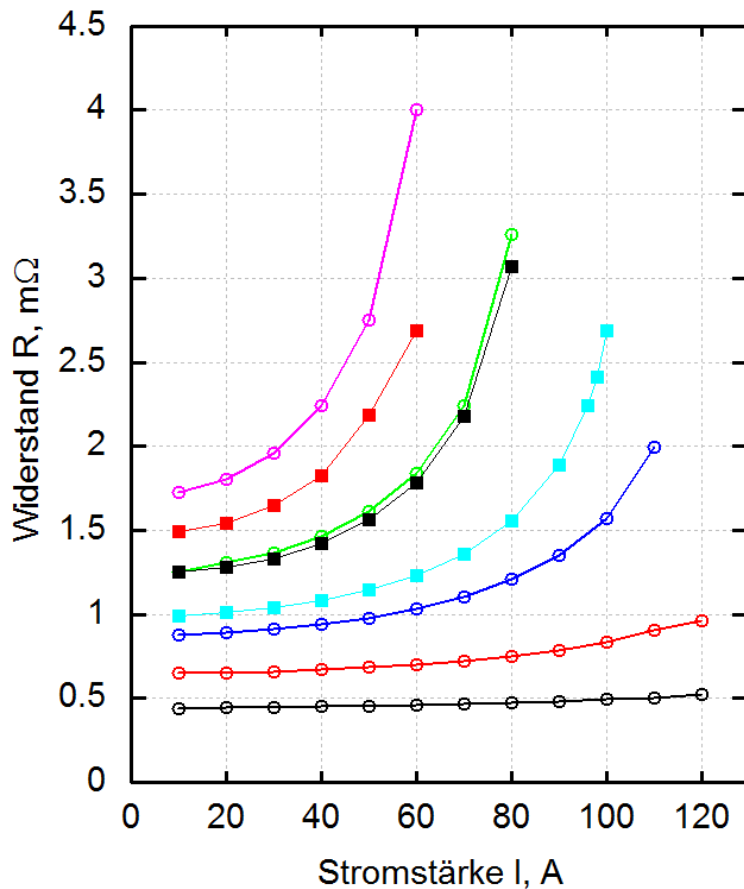
Temperaturprofil entlang des Bändchens. Padabstand $D = 18$ mm,
Stromstärke $I = 50$ A, Temperatur der Bondstellen $T_{pad} = 25^\circ\text{C}$.

Ergebnisse: Temperatur des Bändchens



Temperatur T in der Mitte der Bondverbindung für unterschiedliche Padabstände D und Stromstärken I .

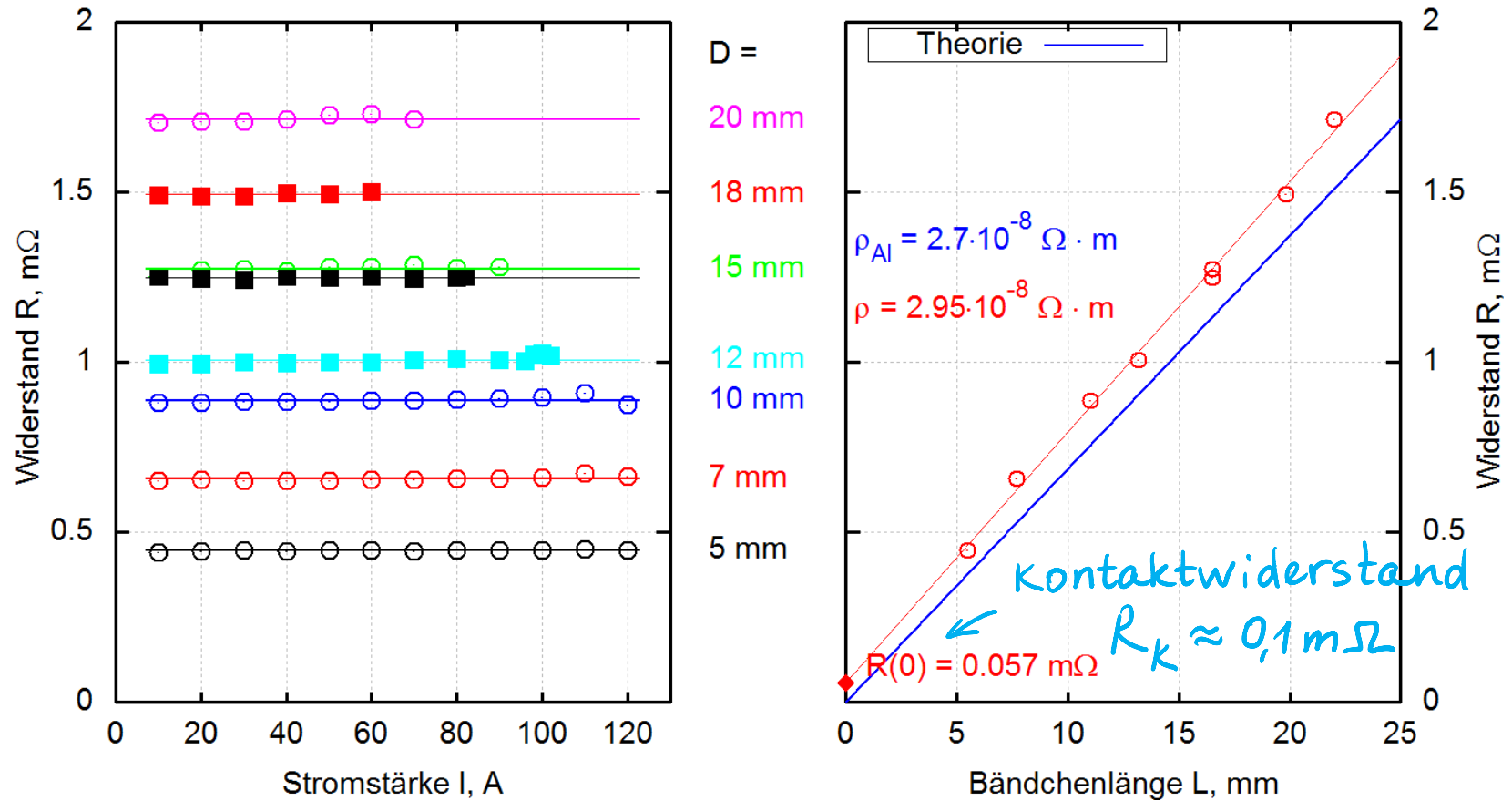
Ergebnisse: Widerstand und Verlustleistung



$L \approx 13$ mm
100 A
0,27 V
27 W

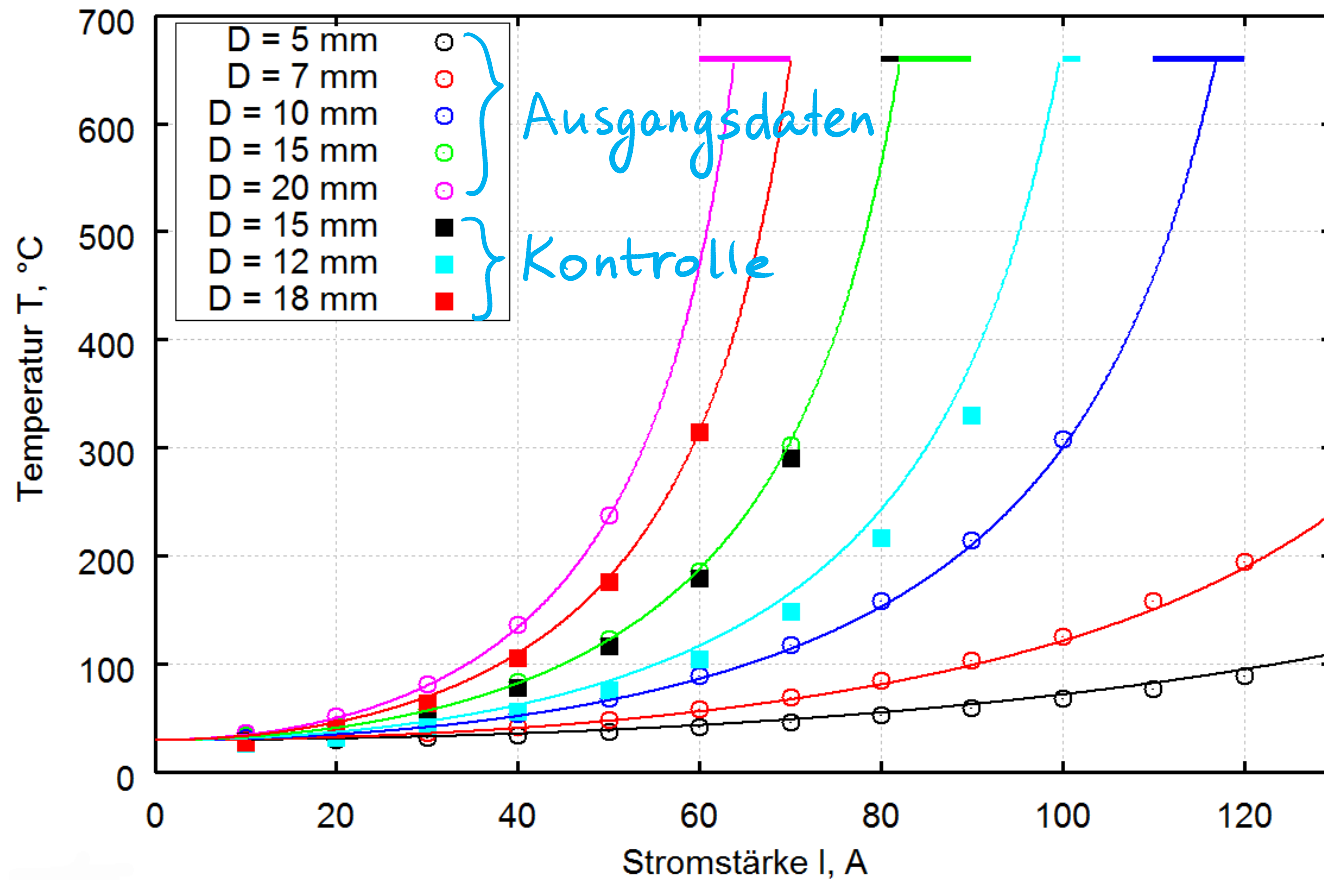
Widerstand R der Bondverbindung und Verlustleistung P für unterschiedliche Padabstände D und Stromstärken I .

Ergebnisse: Widerstand im kalten Zustand



Widerstand R_{cold} der Bondverbindung im kalten Zustand in Abhängigkeit von der Stromstärke I und von der Länge L des Bändchens.

Ergebnisse: Approximation für $T(I, L)$



Approximation des Datenfeldes $T(I, L)$ mit analytischen Funktionen.
Kreise: Ausgangsdaten, Quadrate: Kontrolldaten, Linien: Approximation.

Ergebnisse: Approximation für $T(I, L)$

Analytische Approximation für die Temperatur des Bändchens (in °C):

$$T(I, L) = T_{pad} + \frac{a(L) \cdot I^2}{1 + b(L) \cdot I^2},$$

wobei $a(L) = 9,18 \cdot 10^{-5} \cdot L^2 + 1,46 \cdot 10^{-4} \cdot L + 6,35 \cdot 10^{-5}$

und $b(L) = -2,11 \cdot 10^{-7} \cdot L^2 - 3,64 \cdot 10^{-6} \cdot L + 1,27 \cdot 10^{-5},$

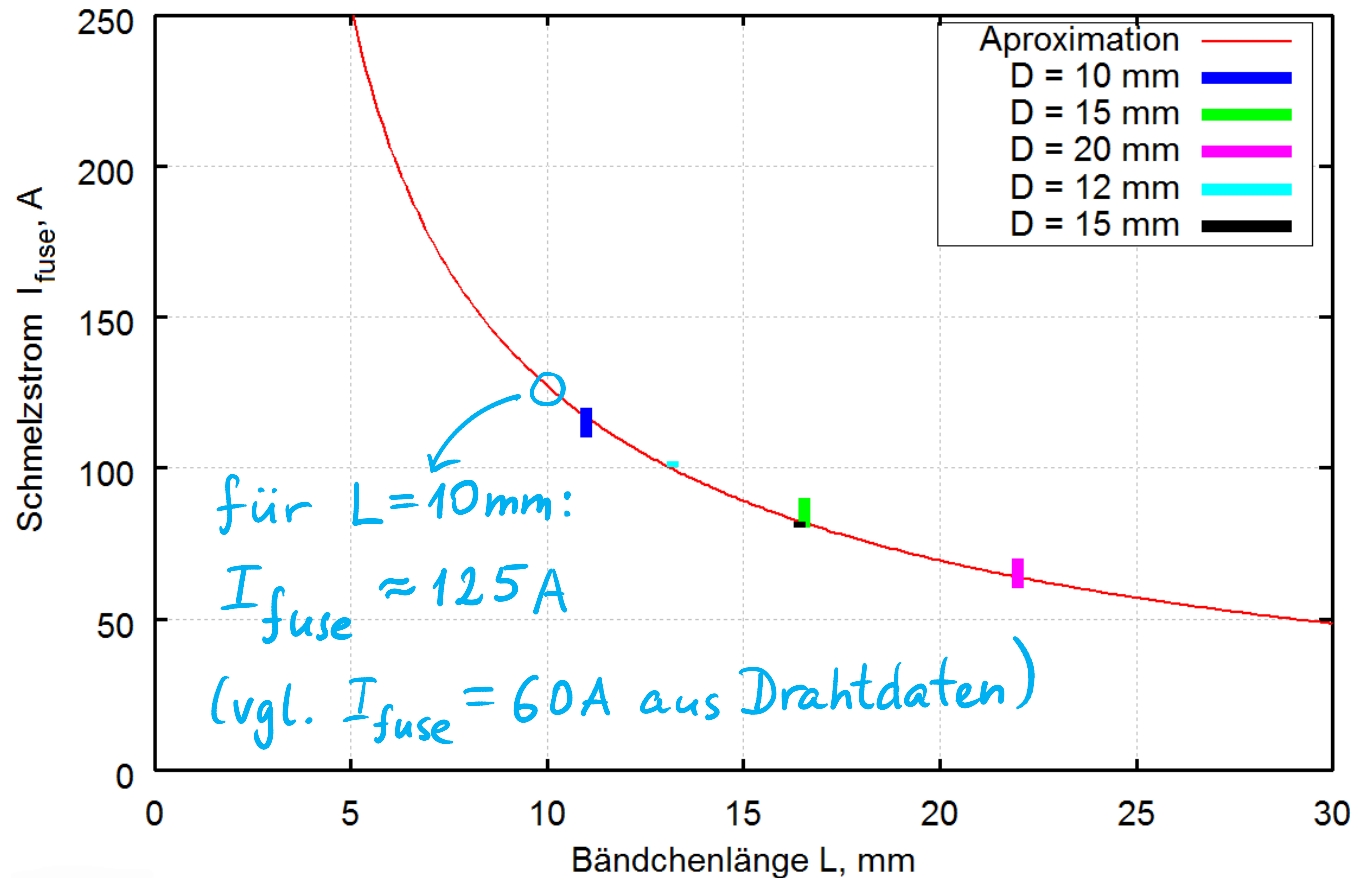
L ist die Länge des Bändchens in mm, T_{pad} ist die Temperatur der Bondstellen in °C.

Für den Schmelzstrom (in Ampere) gilt:

$$I_{fuse} = \frac{1}{\sqrt{\frac{a(L)}{T_{melt} - T_{pad}} - b(L)}}$$

wobei $T_{melt} = 660^\circ\text{C}$ die Schmelztemperatur von Aluminium ist.

Ergebnisse: Schmelzstrom



Analytische Approximation des Schmelzstromes I_{fuse} in Abhängigkeit von der Bändchenlänge L .

Modell für mehrere parallele Bändchen: Prinzip.

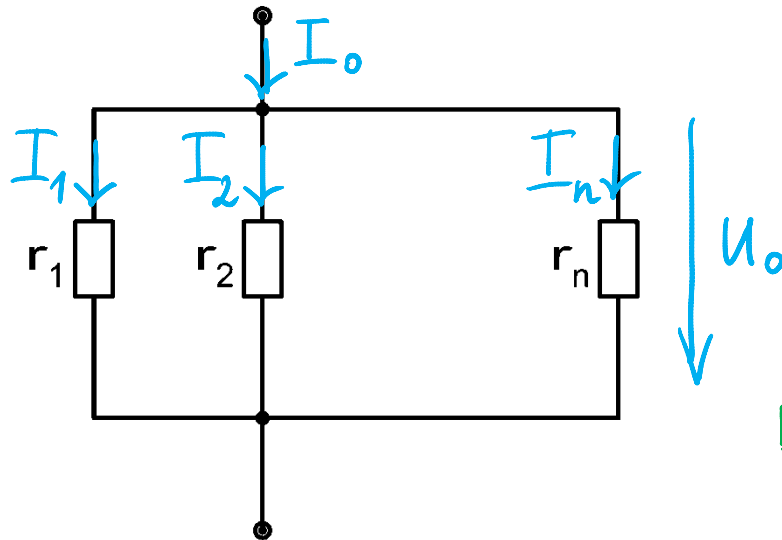
- Aus Messdaten Funktionen erzeugen:

$$\begin{array}{l} U_{kn} \text{ für } I_k, L_n \\ T_{kn} \text{ für } I_k, L_n \end{array}$$



$$\begin{array}{l} I(U, L) \quad (1) \\ T(I, L) \quad (2) \end{array}$$

- Für den Gesamtstrom I_0 gilt:



$$I_0 = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (3)$$

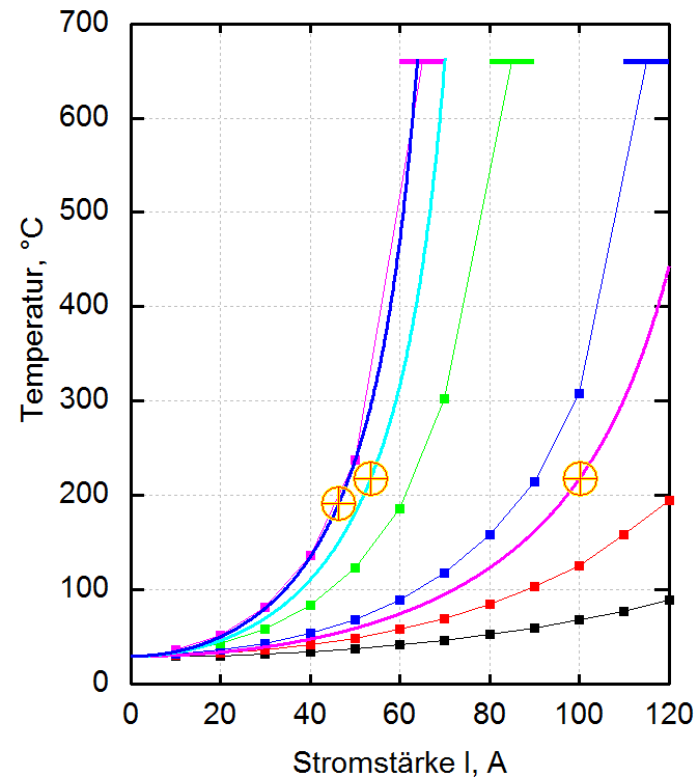
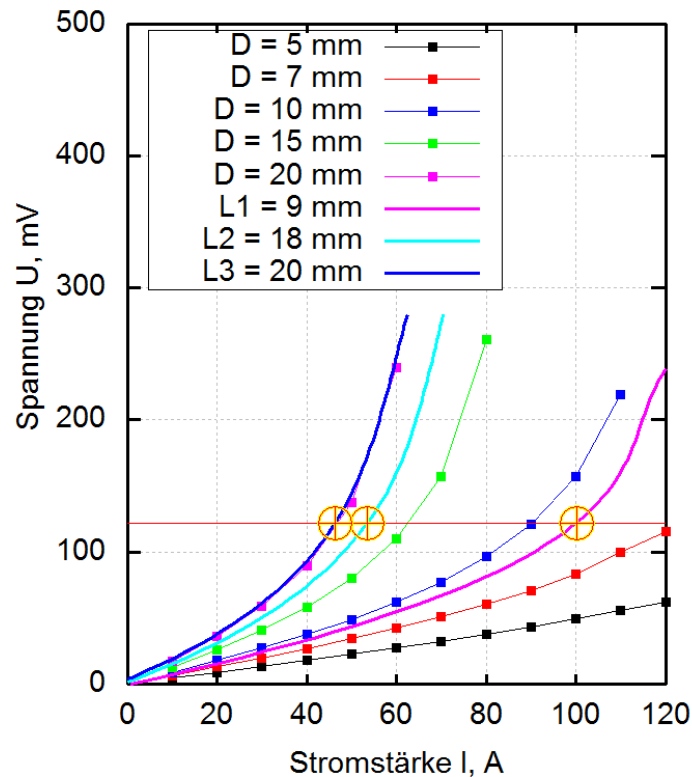
$$I_0 = I(U_0, L_1) + I(U_0, L_2) + \dots + I(U_0, L_n)$$

- Daraus U_0 finden. Aus (1) und (2):

Ergebnis :

$$\begin{array}{l} I_i = I(U_0, L_i) \\ T_i = T(I_i, L_i) \end{array}$$

Modell für mehrere parallele Bändchen: Beispiel N = 3.

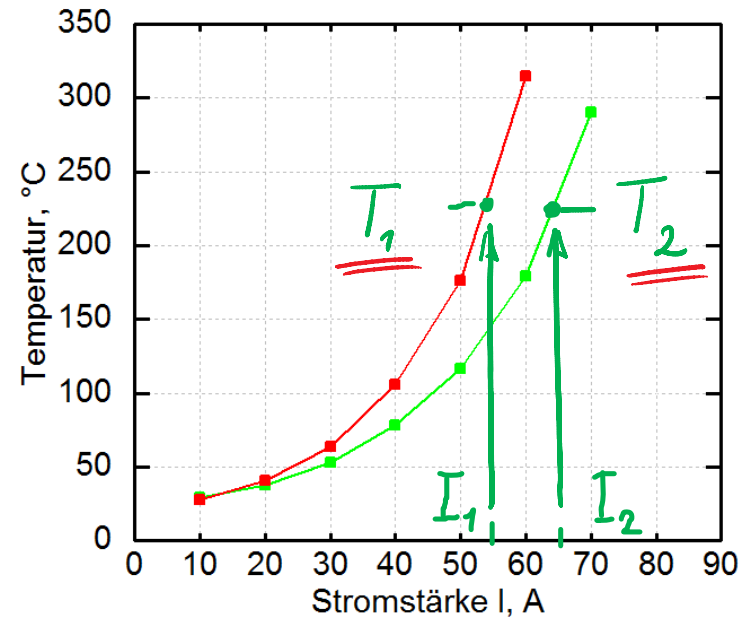
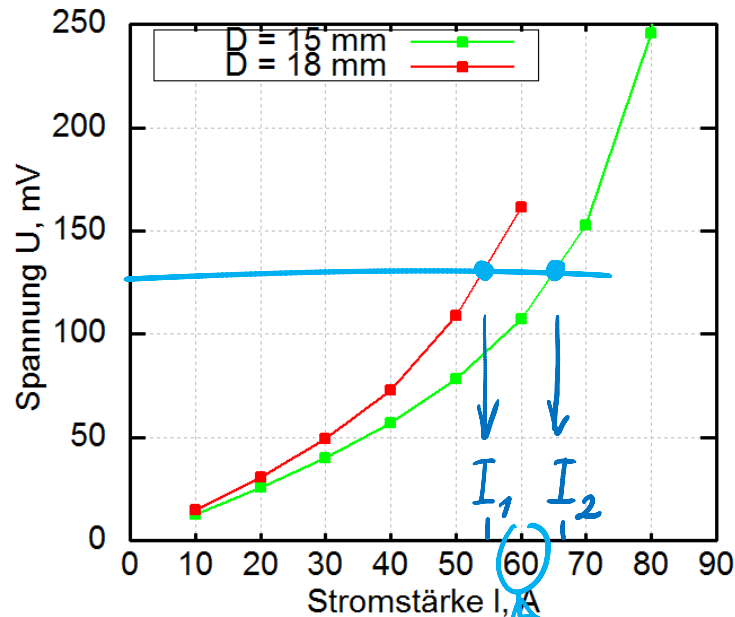


Input: Längen: $L_1 = 9 \text{ mm}$, $L_2 = 18 \text{ mm}$, $L_3 = 20 \text{ mm}$. Gesamtstrom: $I_0 = 200 \text{ A}$.
Output: Spannung an der Bondverbindung: $U_0 = 122,0 \text{ mV}$.
 Stromverteilung: $I_1 = 100,1 \text{ A}$; $I_2 = 53,5 \text{ A}$; $I_3 = 46,4 \text{ A}$.
 Temperaturen: $T_1 = 218,0^\circ\text{C}$; $T_2 = 217,8^\circ\text{C}$; $T_3 = 190,9^\circ\text{C}$.

Abschätzung bei zwei parallelen Bändchen: Beispiel.

Input: Längen: $L_1 = 15 \text{ mm}$, $L_2 = 18 \text{ mm}$. Gesamtstrom: $I_0 = 120 \text{ A}$.

Messdaten:



Output: Spannung an der Bondverbindung:

$$U_0 \approx 125 \text{ mV}$$

Stromverteilung:

$$I_1 \approx 54 \text{ A}, \quad I_2 \approx 66 \text{ A}$$

Temperaturen:

$$T_1 \approx 230^\circ, \quad T_2 \approx 230^\circ$$

Zusammenfassung

Ergebnisse der Messungen an Bändchen-Bondverbindungen mit den Querschnitt von $2000\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ wurden vorgestellt:

- Abhängigkeit des Widerstands, der Verlustleistung und der maximalen Temperatur von der Stromstärke und Bändchenlänge.
- Schmelzstrom für ausgewählte Bändchenlängen.

Die präsentierten empirische Modelle erlauben:

- Ermittlung der Temperatur der Bondverbindung für beliebige Stromstärke und Bändchenlänge.
- Bestimmung des Schmelzstroms für beliebige Bändchenlänge.
- Berechnung von Stromstärken und Temperaturen in Bondverbindungen mit mehreren parallelen Bändchen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Quellenverzeichnis

- [1]. Oak Ridge National Laboratory Report, Evaluation of the 2010 Toyota Prius Hybrid Synergy Drive System, 2011.
- [2]. Heraeus, Bonding Wires for Semiconductor Technology.

Weitere Quellen:

- William Henry Preece, On the Heating Effects of Electric Currents, Proceedings of the Royal Society of London, Vol. 36, 1884.
- Johannes Fischer, Die Stationäre Temperatur stromdurchflossener, mäßig langer Drähte, Archiv für Elektrotechnik, XL. Band, 3. Heft, 1951.

Geräteverzeichnis

- Bonder: Delvotec 5650
- Netzteil: Elektro-Automatik EA-PS 808-120
- Wärmebildkamera: FLIR i60
- Messwandler: National Instruments NI DAQPad-6015



HOCHSCHULE LANDSHUT

HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

Hochschule Landshut

Am Lurzenhof 1 · D-84036 Landshut

Tel.: +49 871 506-0

Fax: +49 871 506-506

info@haw-landshut.de

www.haw-landshut.de

