



# TEMPERATURANSTIEG IM STECKER UND DERATING

Thomas Heß  
Technische Akademie

EXTERNAL

**WÜRTH ELEKTRONIK** MORE THAN YOU EXPECT

# AGENDA

- Auslegung (Strom) eines Terminal Blocks (TBL)
- Folgen einer zu hohen Temperatur
- Formeln für den Temperaturanstieg
- Möglichkeiten der Wärmeableitung
- Wärmeableitung - Steckverbindersystem
- Praktische Beispiele
- UL / VDE Derating-Kurve
- Überlastung von Steckverbindern
- Zusammenfassung



WE eiCan



# AUSLEGUNG (STROM) EINES TERMINALBLOCKS (TBL)

# AUSLEGUNG (STROM) EINES TERMINALBLOCKS (TBL)

Elektrische Eigenschaften eines TBL's

## General Information:

Operating Temperature	-40 up to +105 °C
-----------------------	-------------------

## Electrical Properties:

Properties		Test conditions	Value	Unit	Tol.
Rated Current	$I_R$		20	A	
Working Voltage			300	V (AC)	
Withstanding Voltage		1 min	1600	V (AC)	
Contact Resistance	R		20	mΩ	max.

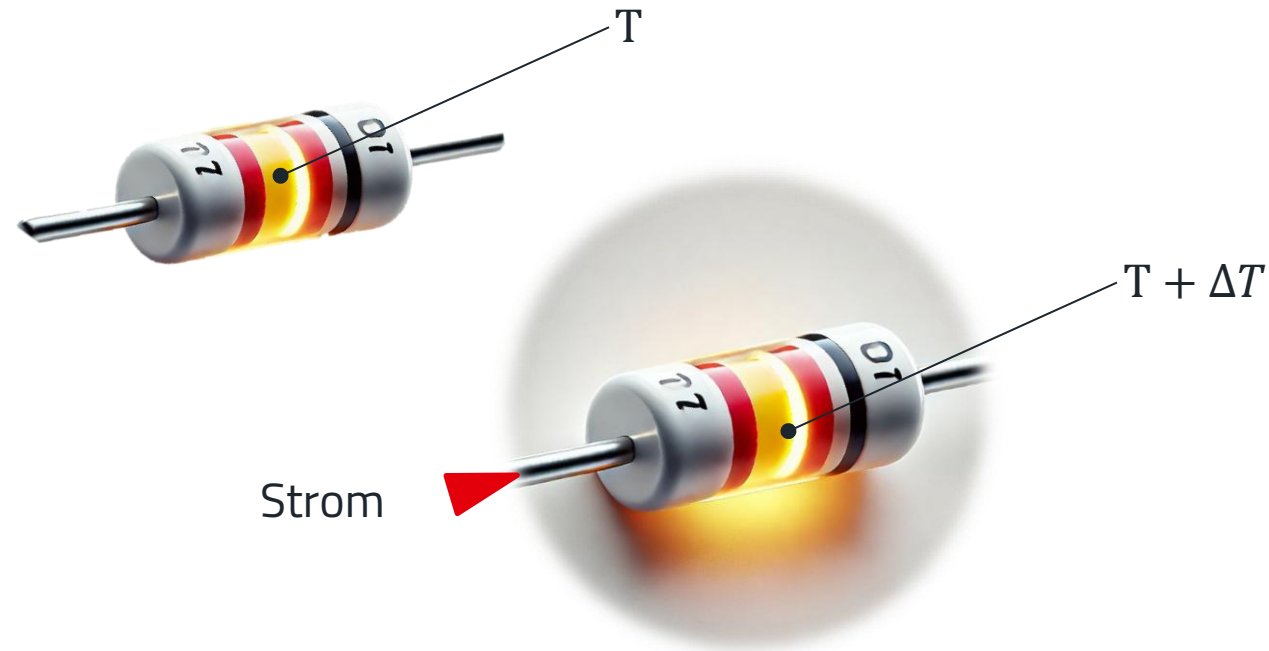
STRANDED WIRE:	24-12 AWG / 0.205-3.31 MM <sup>2</sup>
----------------	--



# AUSLEGUNG (STROM) EINES TERMINALBLOCKS (TBL)

Strom und Temperaturanstieg

Joule'scher Effekt



Adobe picture creator eiCan



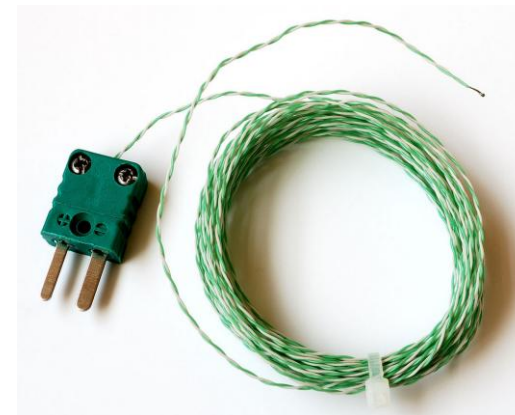
WE eiCan

# AUSLEGUNG (STROM) EINES TERMINALBLOCKS (TBL)

Wie der Arbeitsstrom bei der WE ermittelt wird

- Prüfung des Temperaturanstiegs:
  - Verwendete Norm EIA364-70
  - 3 Pole (Vorgabe UL1059)
  - Arbeitsstrom in Reihe geschaltet
  - Erreichen einer stabilen Temperatur (3 Messungen je 5 min  $\pm 1$  K)
- Am heißesten Punkt des TBL
  - UL:  $\Delta T \leq 30$  K (gemäß UL1059)
  - VDE:  $\Delta T \leq 45$  K (gemäß VDE063)

Klimakammer



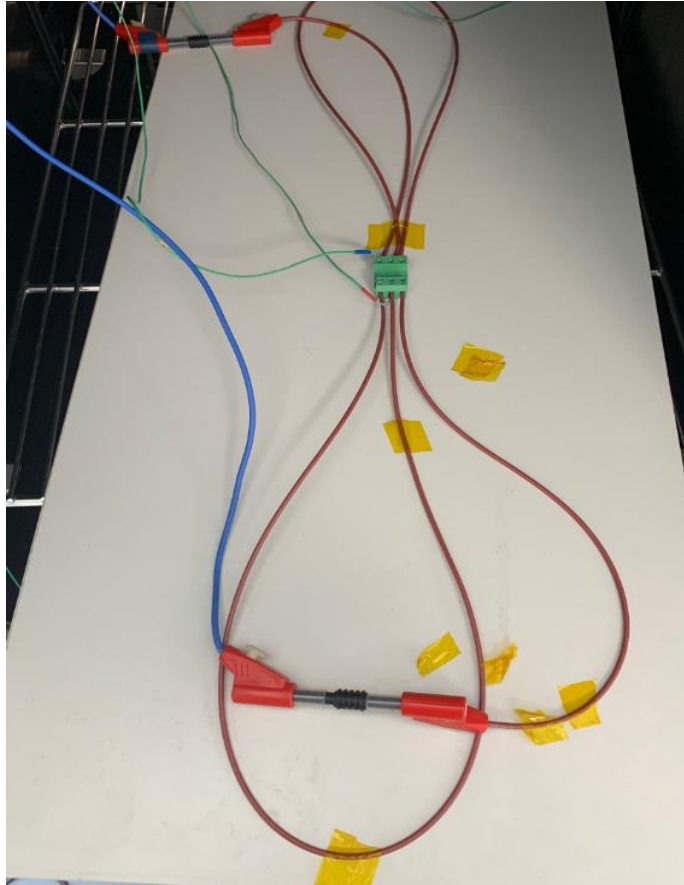
Thermoelement

Alle Bilder WE eiCan

# AUSLEGUNG (STROM) EINES TERMINALBLOCKS (TBL)

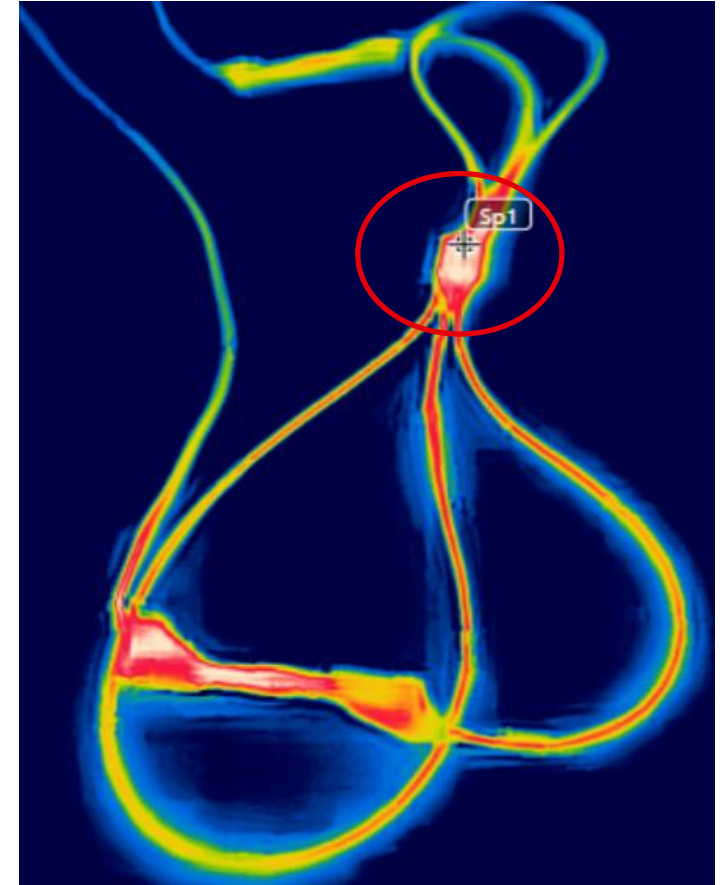
Wie der Arbeitsstrom bei der Würth Elektronik ermittelt wird

- Temperaturanstiegstest bei 20 A



Umgebungstemperatur = 21,7 °C  
Temp.messung (Sp1) = 46,5 °C  
 $\Delta T = 24,8 \text{ K}$

- $\Delta T < 30 \text{ K}$  am heißesten Punkt



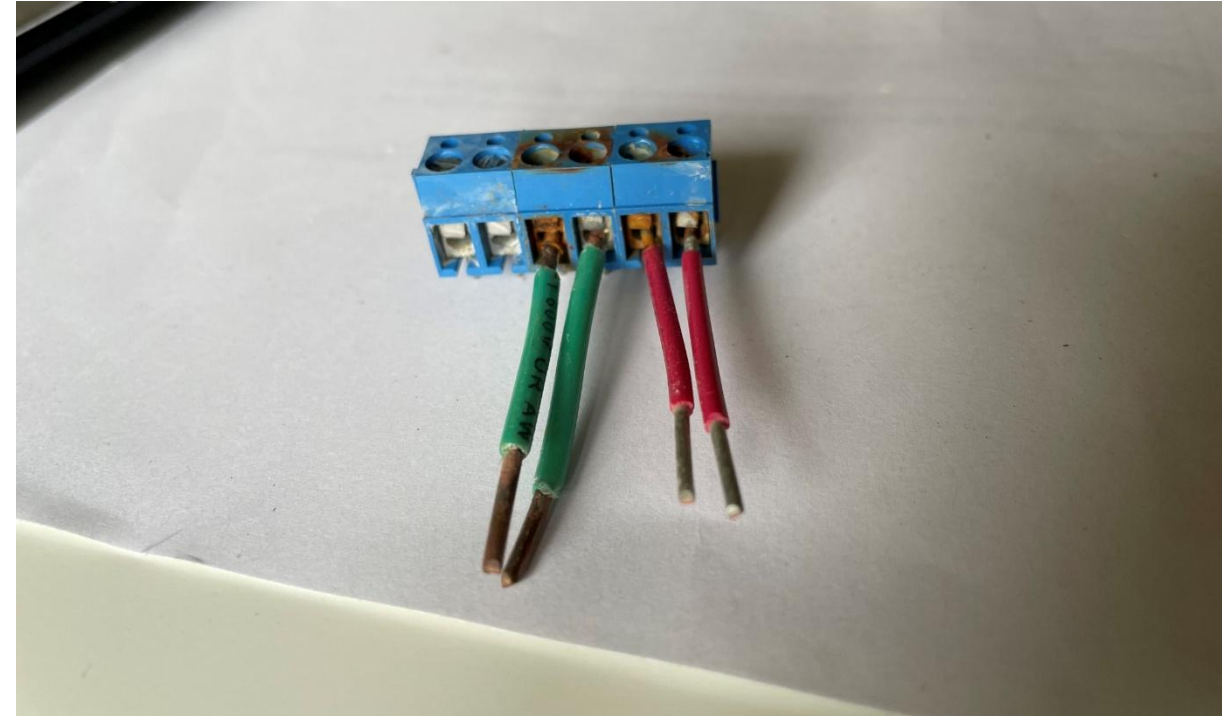
Alle Bilder WE eiCan

# FOLGEN EINER ZU HOHEN TEMPERATUR

# FOLGEN EINER ZU HOHEN TEMPERATUR

Erhöhte Korrosionsgeschwindigkeit und folglich erhöhter Kontaktwiderstand

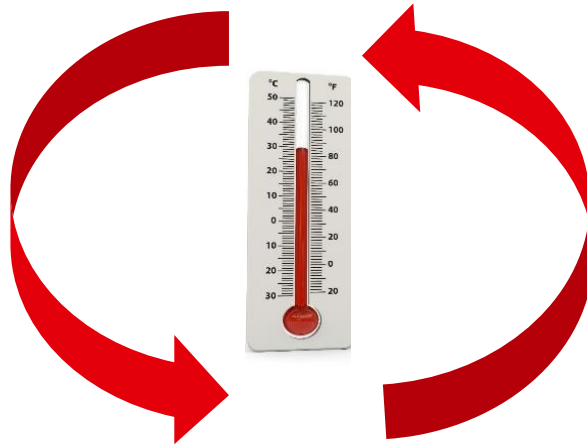
Korrosionsgeschwindigkeit ~ Verdoppelung je 10 K



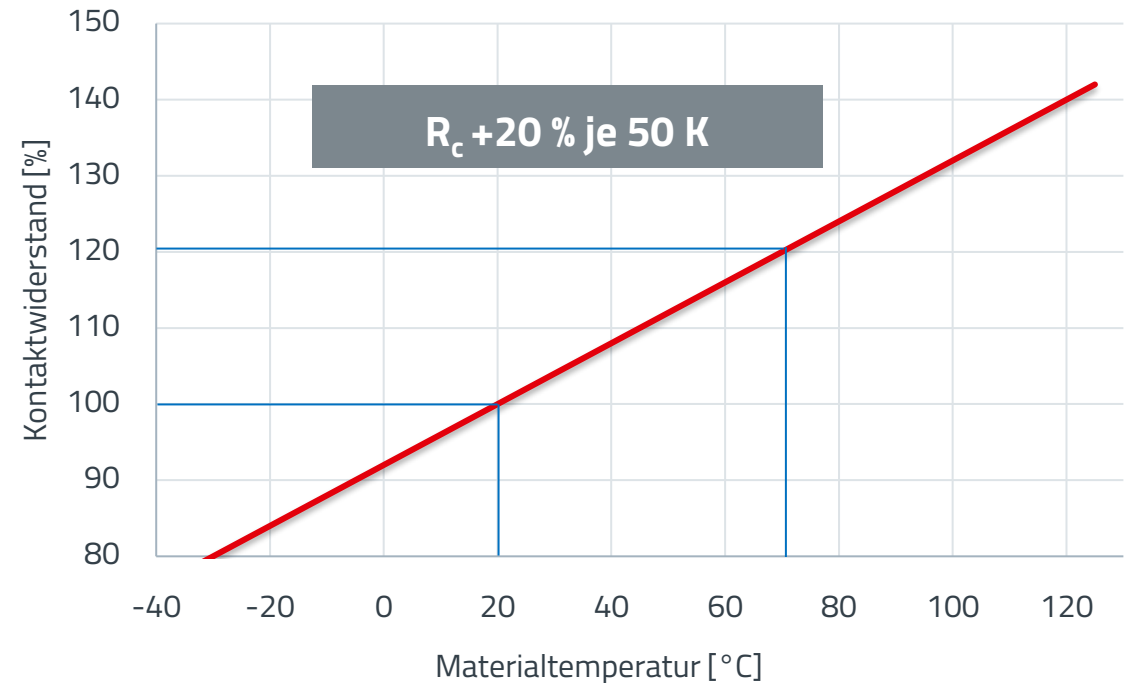
WE eiCan

# FOLGEN EINER ZU HOHEN TEMPERATUR

- Natürliche Erhöhung des Kontaktwiderstands



- Anstieg des Kontaktwiderstands abhängig zur Temperatur

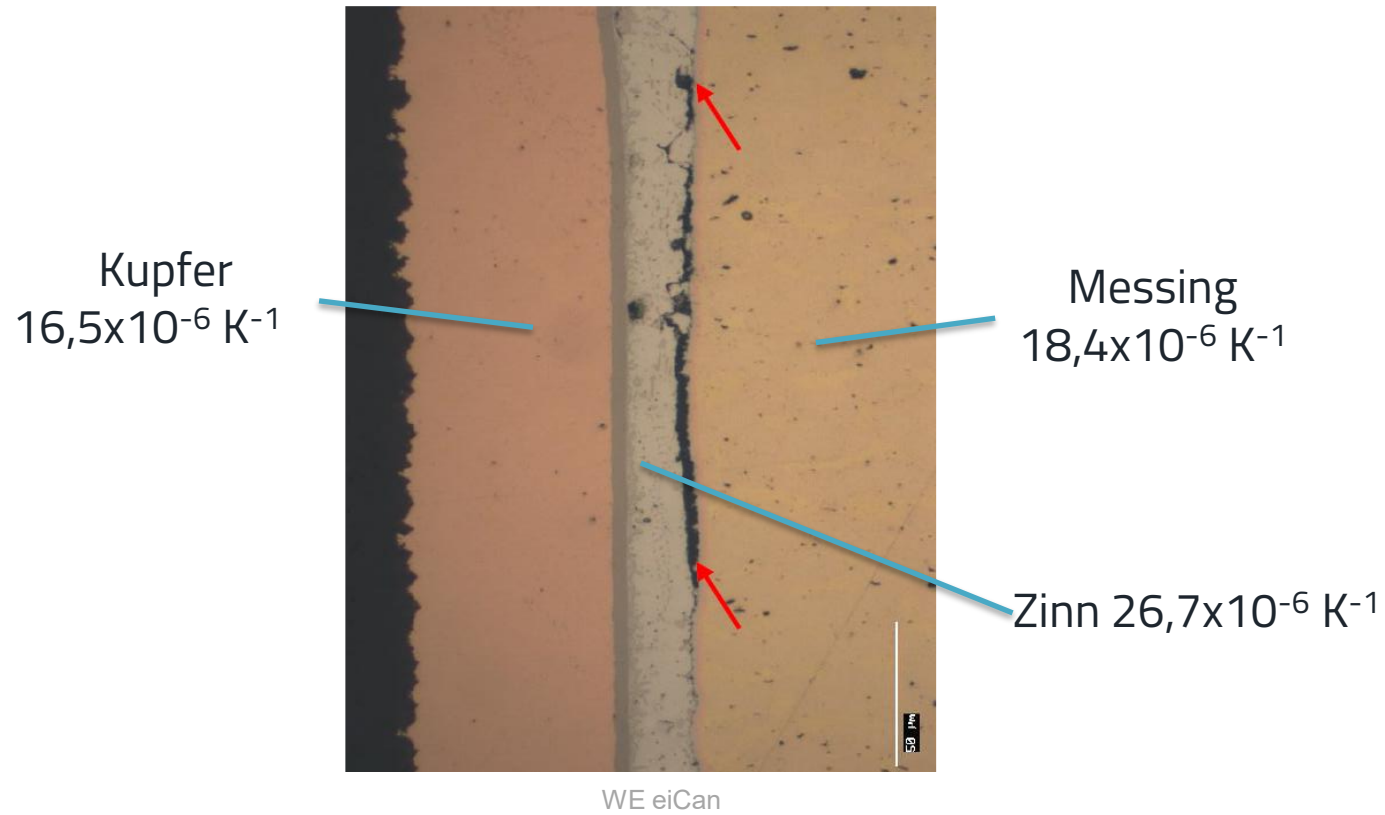


WE eiCan

# FOLGEN EINER ZU HOHEN TEMPERATUR

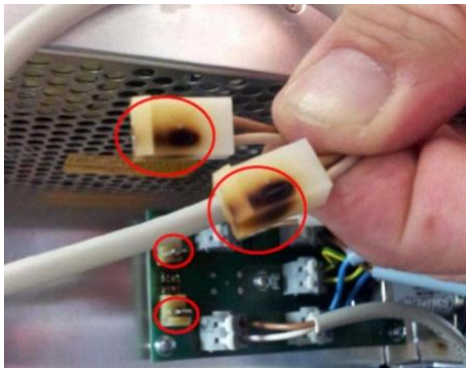
- Materialabhängige Volumenausdehnung

Lötverbindung reißt auf



# FOLGEN EINER ZU HOHEN TEMPERATUR

- Beschleunigte Kunststoffalterung
  - Farbveränderung
  - Versprödung
  - alle 10 K Verdoppelung
- **Relative Thermal Index**
  - Mechanische Festigkeit
  - Elektr. Eigenschaften



WE eiCan

- RTI Angaben für verschiedene Kunststoffmaterialien

Material	RTI [°C] Dicke 1mm
PA	125
PC	125
PBT	130
FR4 [PCB]	130-150
PTFE [Teflon]	180
LCP	220

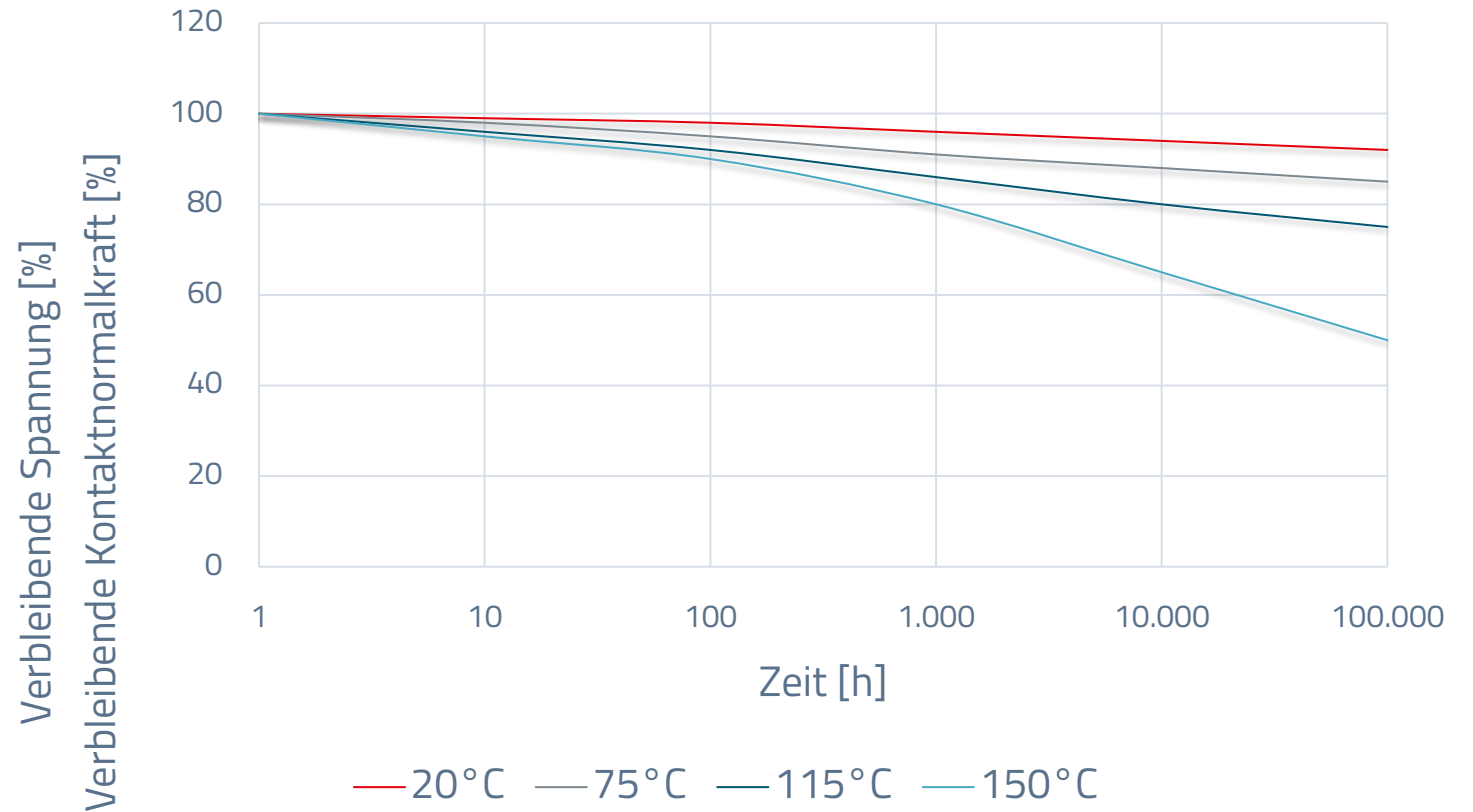
# FOLGEN EINER ZU HOHEN TEMPERATUR

- Relaxation von Metall



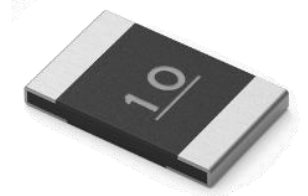
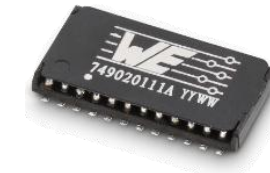
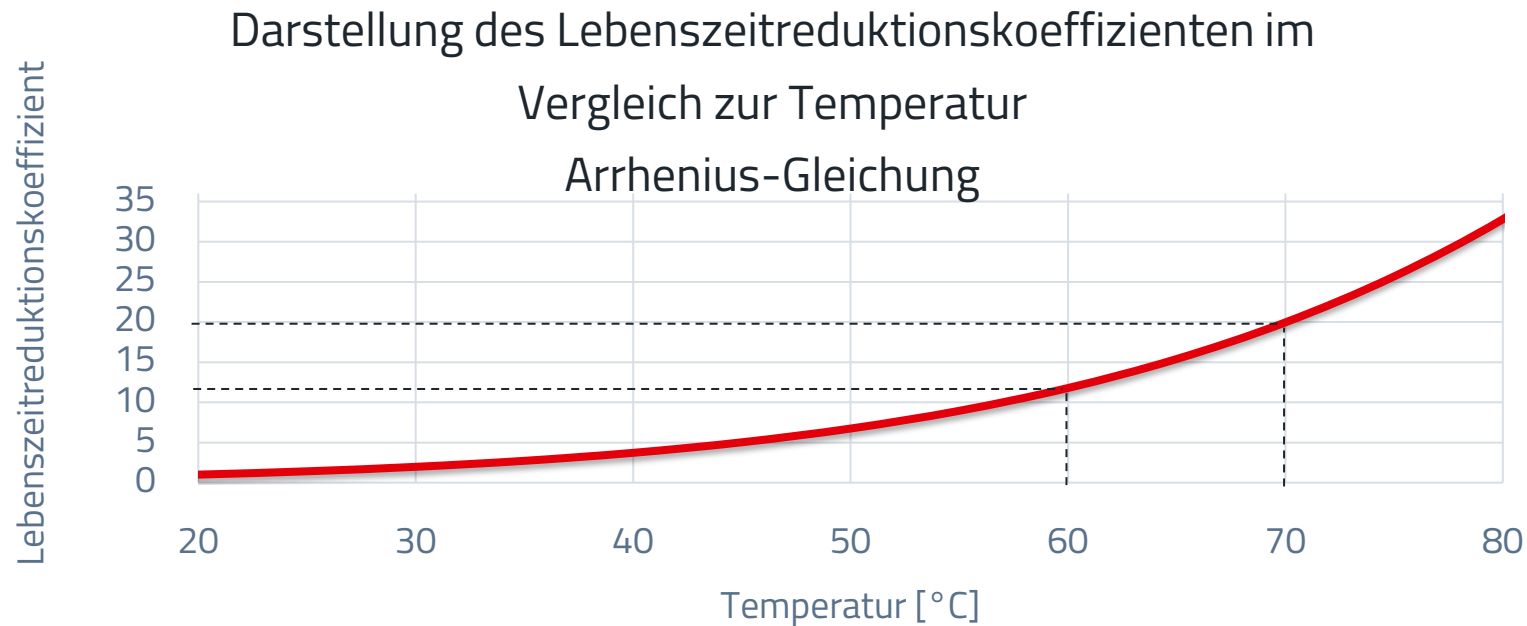
WE eiCan

- Beispiel für die Relaxation (Abbau innerer Spannungen) von Kupferlegierungen



# FOLGEN EINER ZU HOHEN TEMPERATUR

- Lebensdauer von elektronischen Geräten
  - 10 K Temperaturerhöhung = Halbierung der Lebenszeit

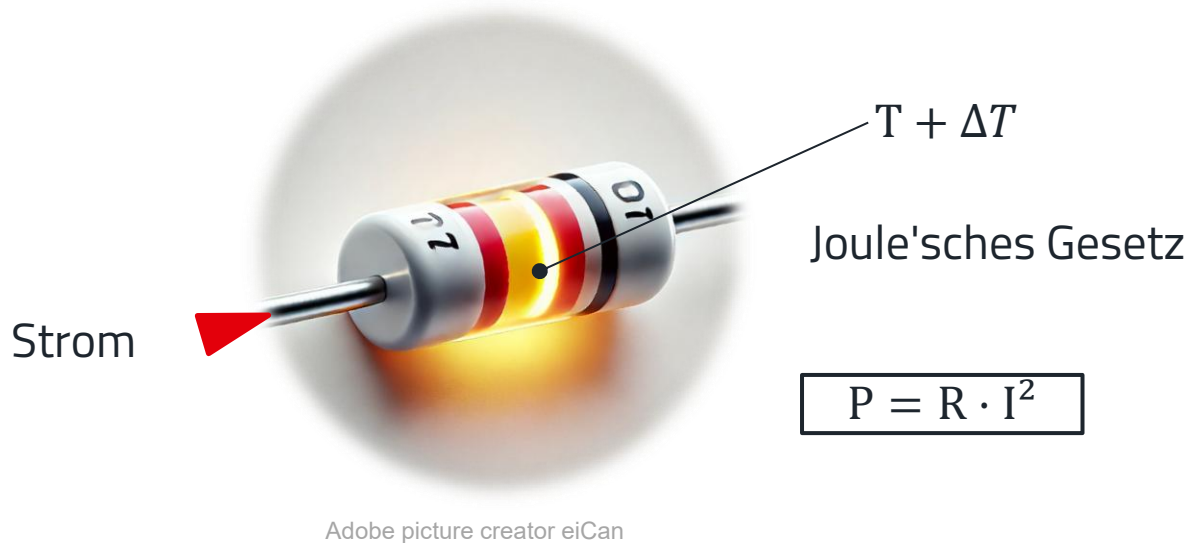


WE eiCan

# FORMELN FÜR DEN TEMPERATUR- ANSTIEG

# FORMELN FÜR DEN TEMPERATUR-ANSTIEG

Elektrizität und Temperaturanstieg



$$P = R \cdot I^2$$

$$\Delta T = k \cdot R \cdot I^2$$

- $P$  [W]: Verlustleistung am Widerstand (Wärme)

- $R$  [ $\Omega$ ]

- $I$  [A]



- $\Delta T$  [K]: Temperaturänderung in Kelvin

- $k$ : Material-und temperaturabhängige Konstante

Der Temperaturanstieg ist proportional zum Quadrat des Stroms

# FORMELN FÜR DEN TEMPERATUR-ANSTIEG

## Theoretische Berechnung

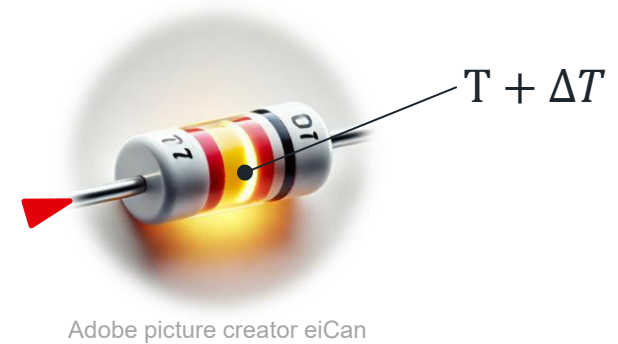
- Messung:  $I_1 = 10 \text{ A}$  ergibt  $\Delta T_1 6,5 \text{ K}$

$$\Delta T = k \cdot R \cdot I^2$$

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \approx \frac{I_1^2}{I_2^2}$$

- $I_2 = 20 \text{ A} \rightarrow \Delta T_2 \approx \frac{20^2}{10^2} \cdot 6,5 \text{ K} = 26 \text{ K}$

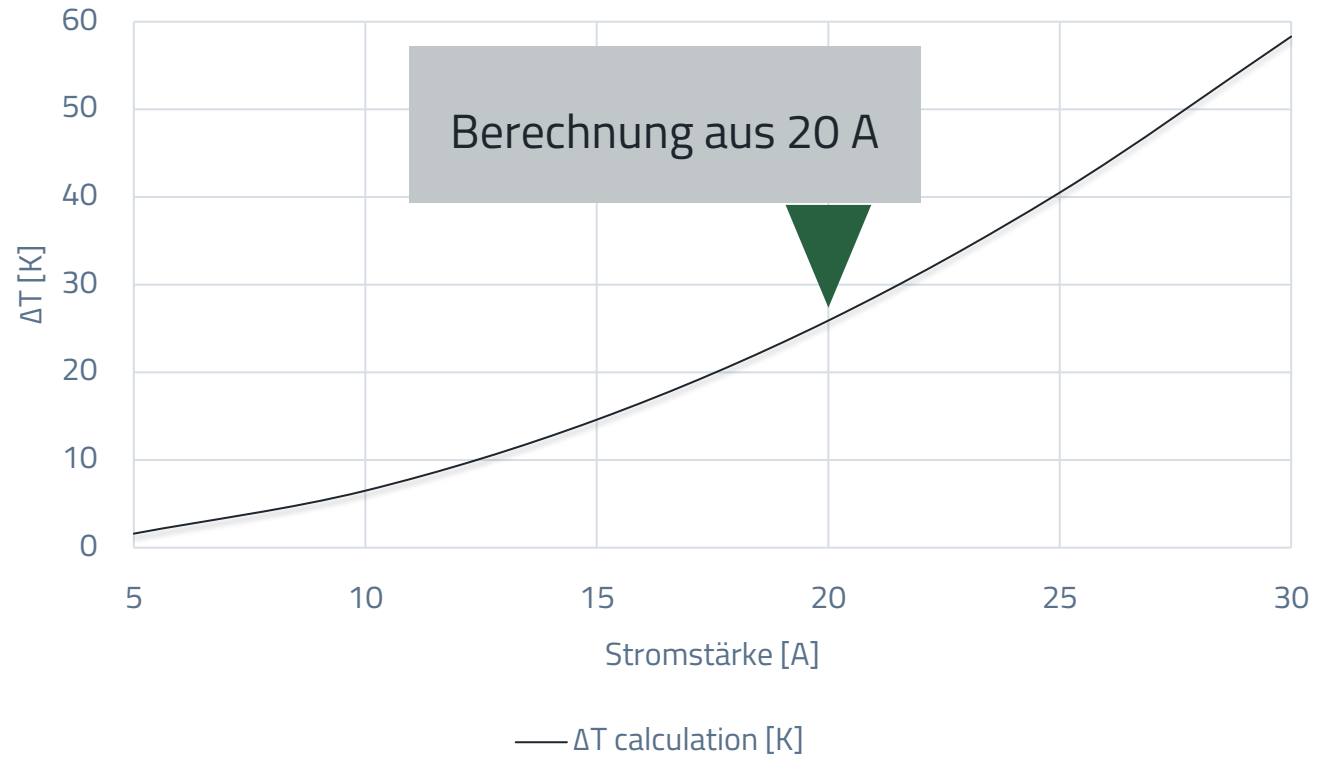
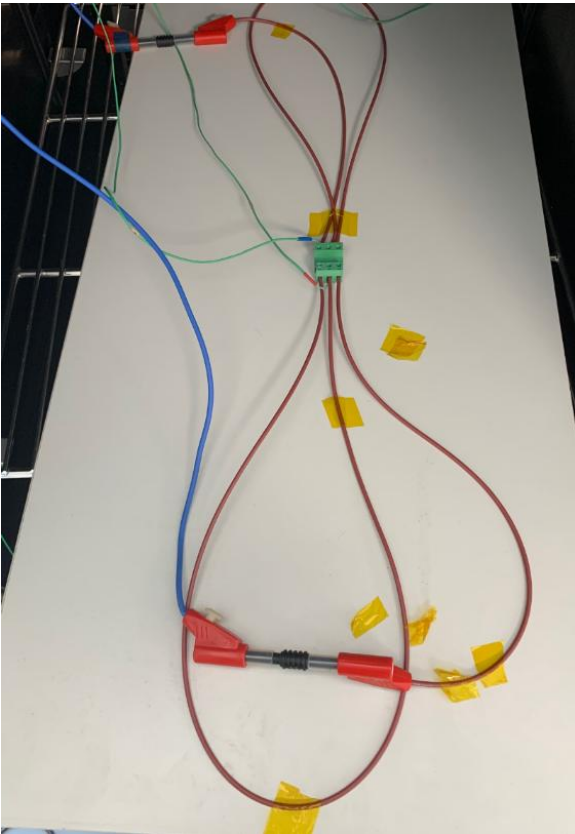
Strom x 2  $\rightarrow$   $\Delta T$  x 4



# FORMELN FÜR DEN TEMPERATUR-ANSTIEG

## Theoretische Berechnung

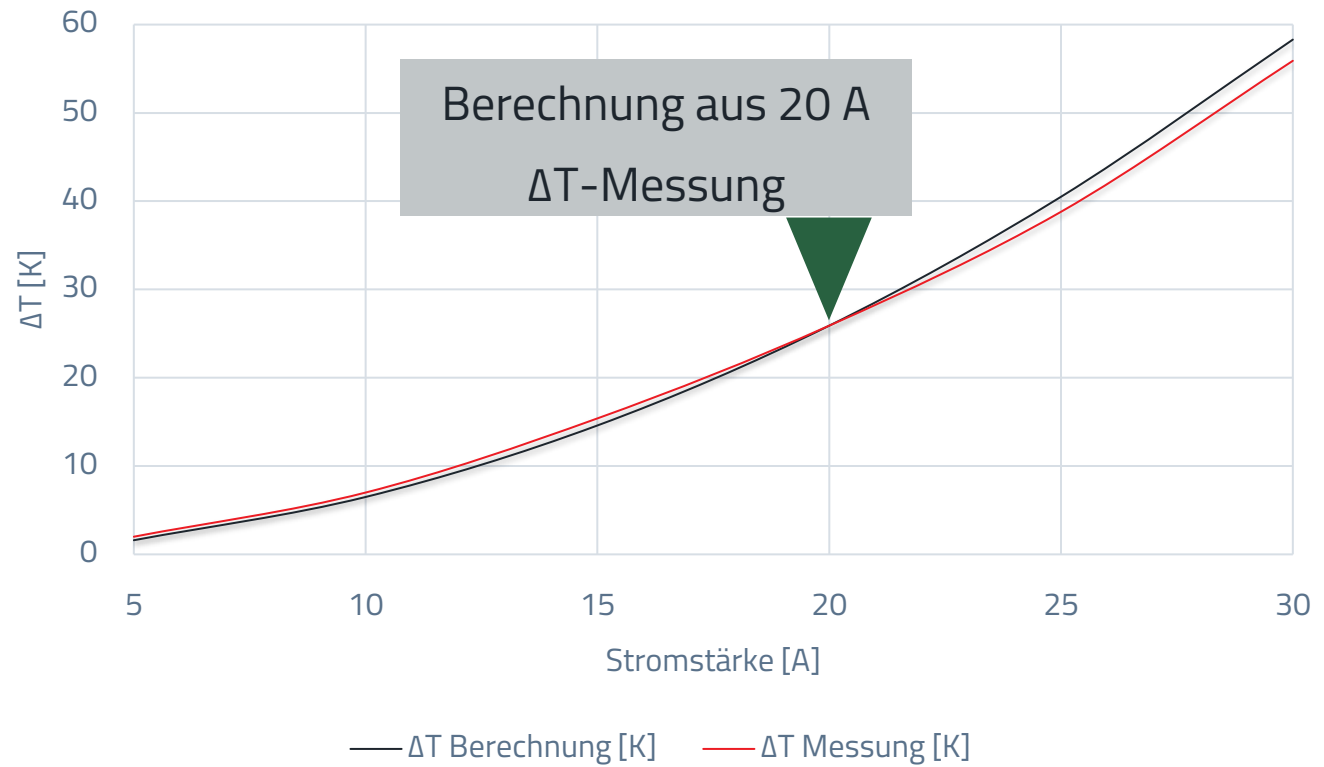
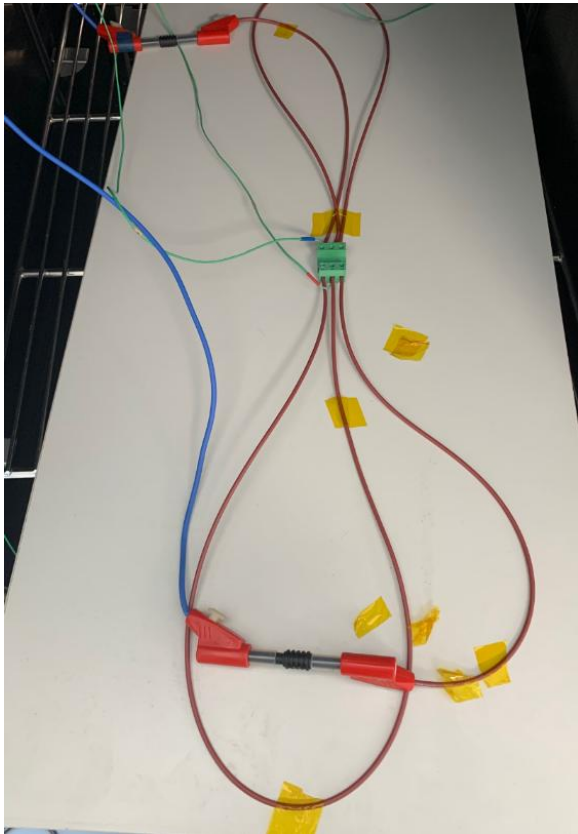
- Temperaturanstieg bei 20 A
- $\Delta T$ -Berechnung vs. Messung



# FORMELN FÜR DEN TEMPERATUR-ANSTIEG

## Theoretische Berechnung

- Temperaturanstieg bei 20 A
- $\Delta T$ -Berechnung vs. Messung

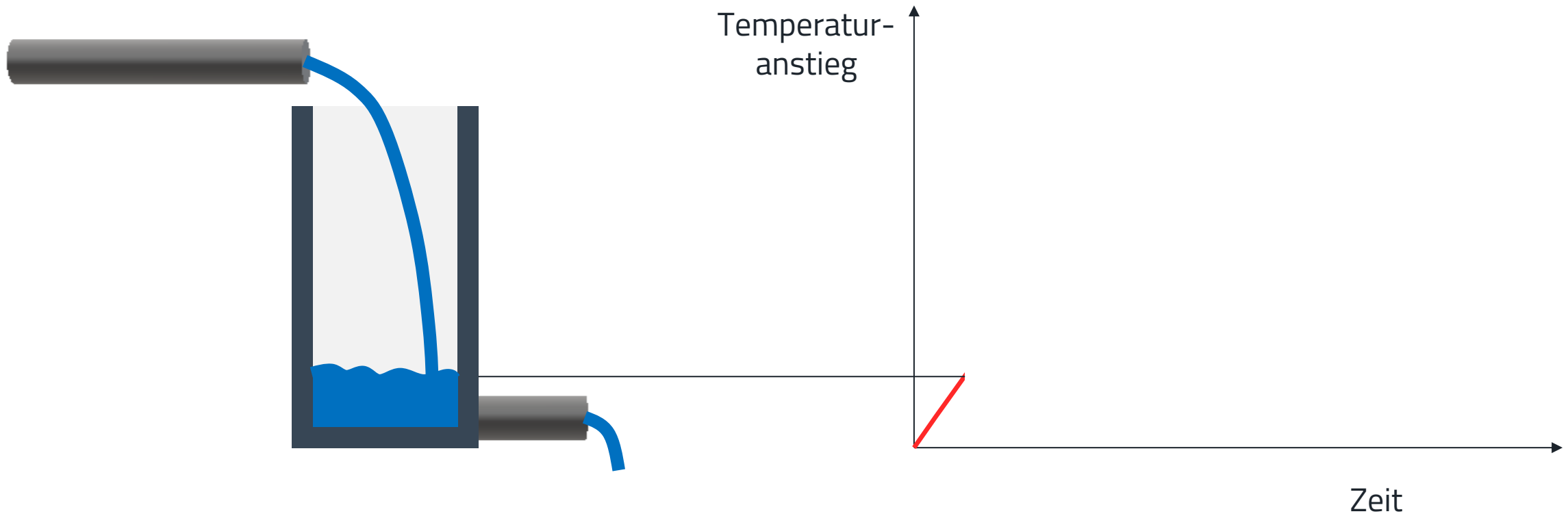


# MÖGLICHKEITEN DER WÄRMEABLEITUNG

# MÖGLICHKEITEN DER WÄRMEABLEITUNG

« Ersatzschaltbild » Wassermodell

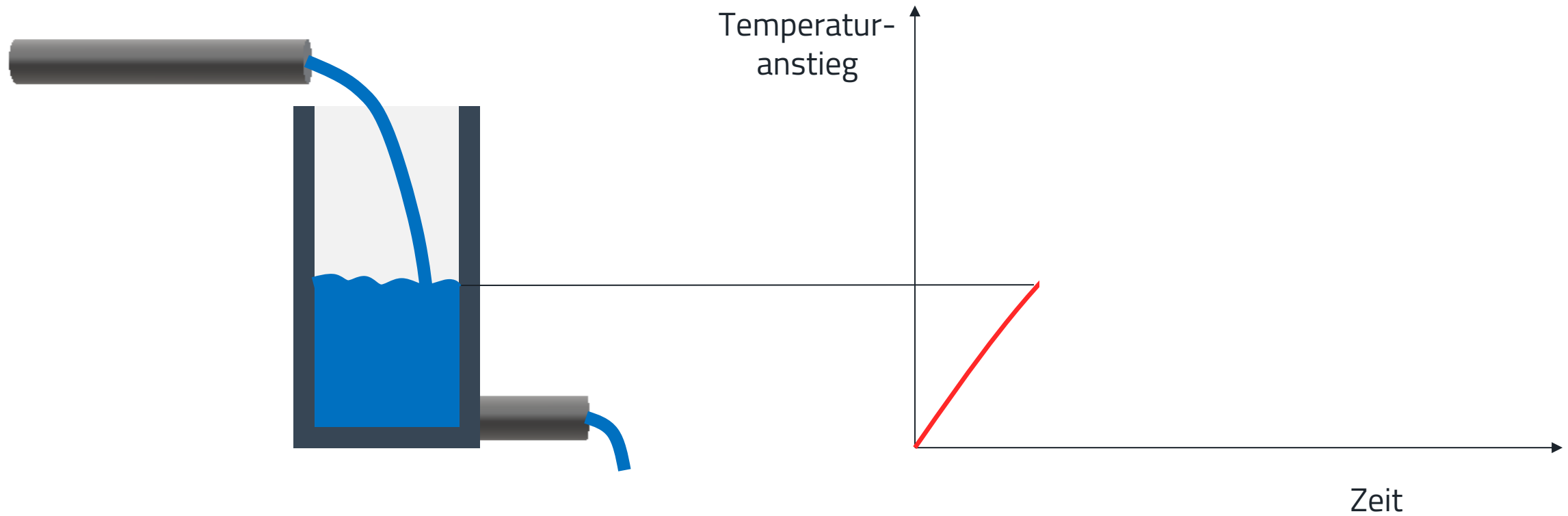
Temperaturanstieg analog zur Tankbefüllung



# MÖGLICHKEITEN DER WÄRMEABLEITUNG

« Ersatzschaltbild » Wassermodell

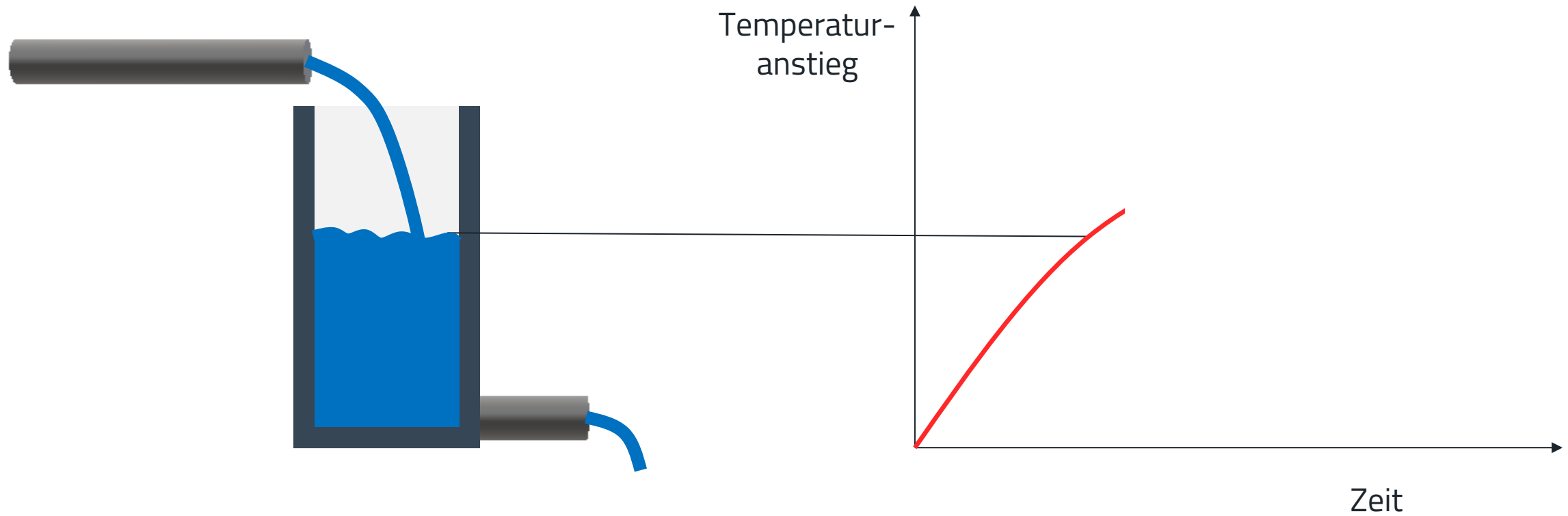
Temperaturanstieg analog zur Tankbefüllung



# MÖGLICHKEITEN DER WÄRMEABLEITUNG

« Ersatzschaltbild » Wassermodell

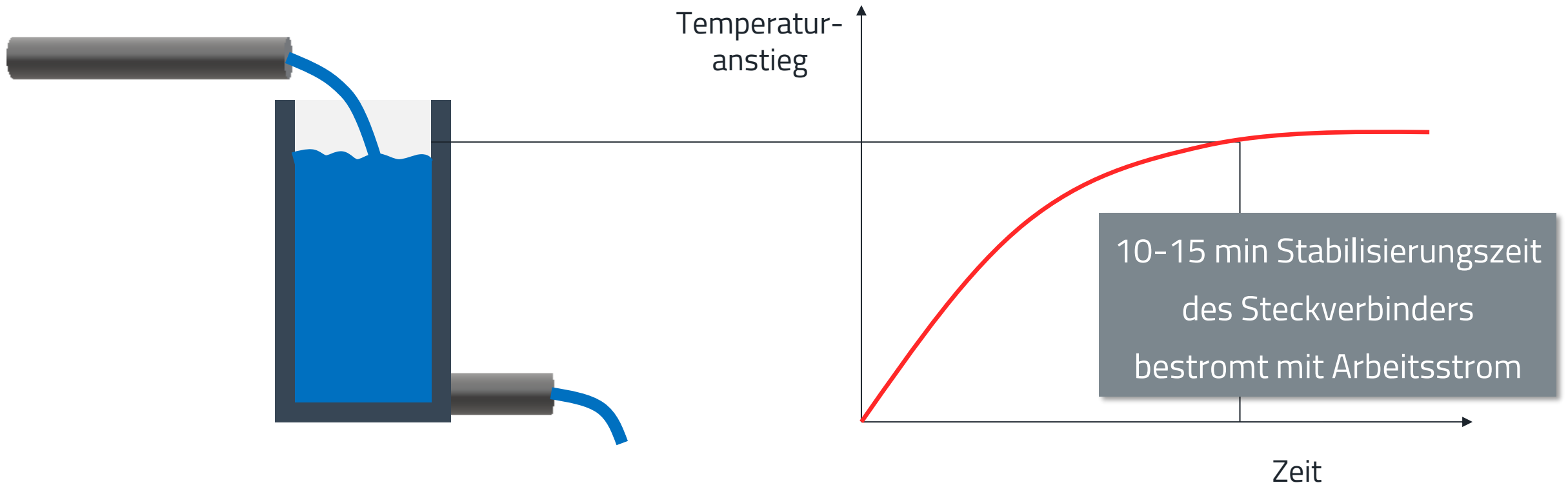
Temperaturanstieg analog zur Tankbefüllung



# MÖGLICHKEITEN DER WÄRMEABLEITUNG

« Ersatzschaltbild » Wassermodell

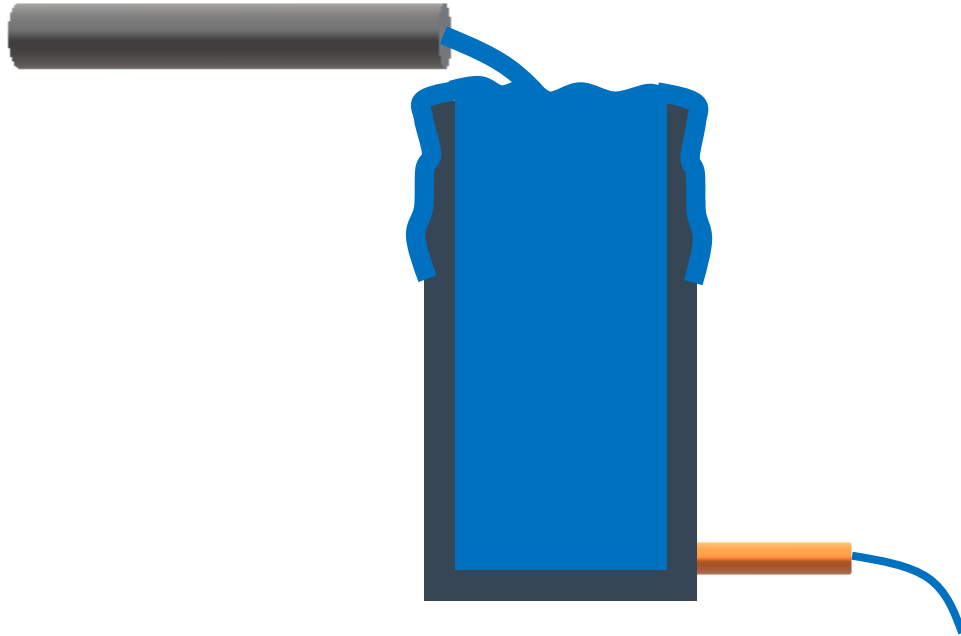
Temperaturanstieg analog zur Tankbefüllung



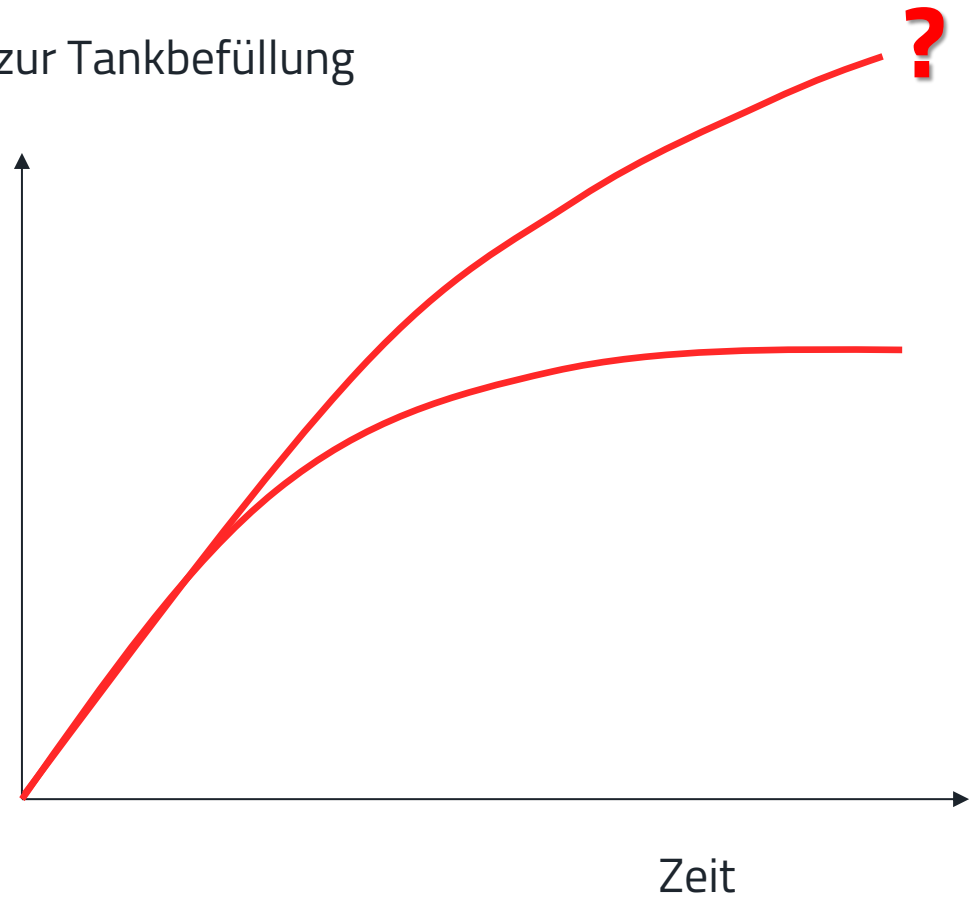
# MÖGLICHKEITEN DER WÄRMEABLEITUNG

« Ersatzschaltbild » Wassermodell

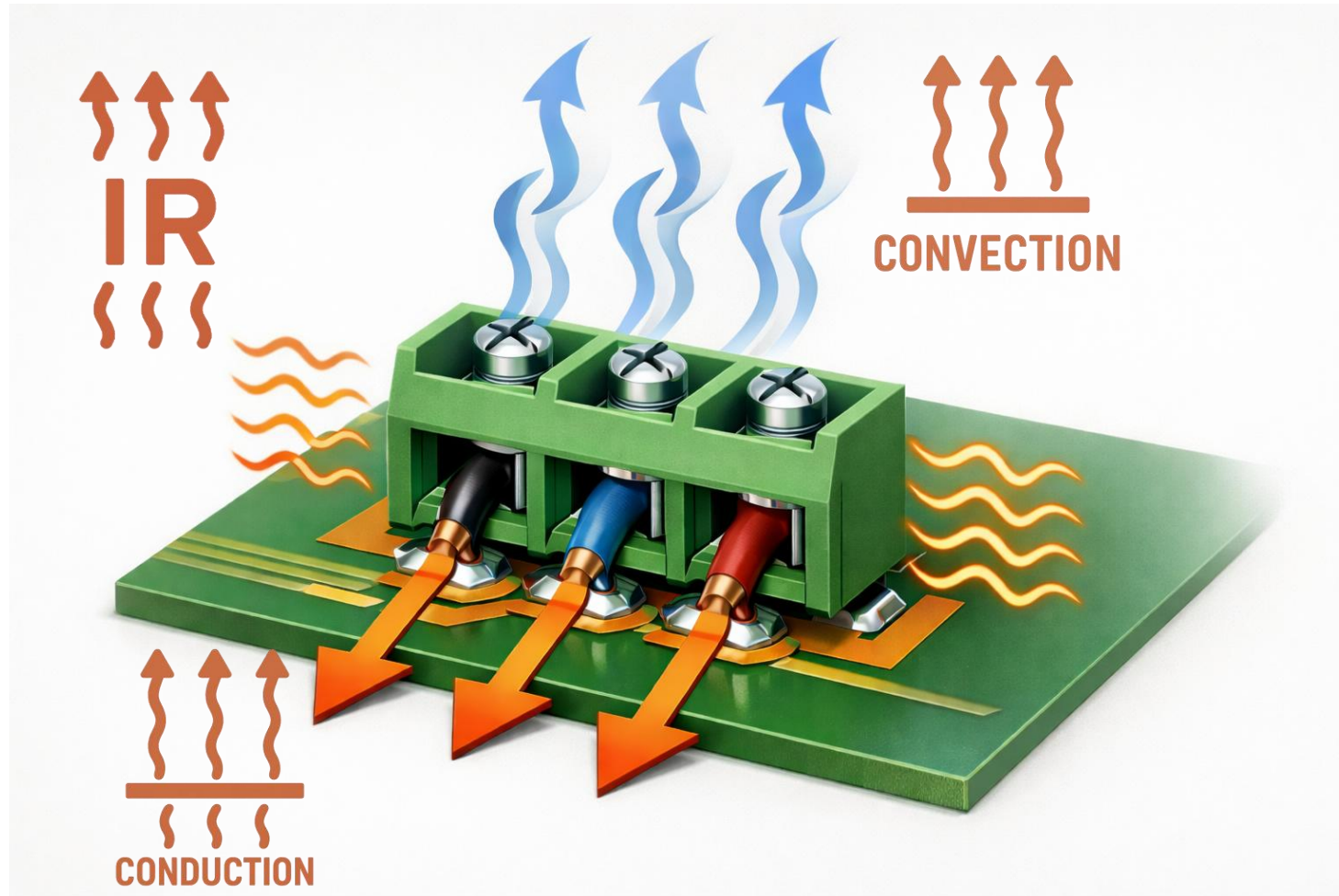
Temperaturanstieg analog zur Tankbefüllung



Temperatur-  
anstieg



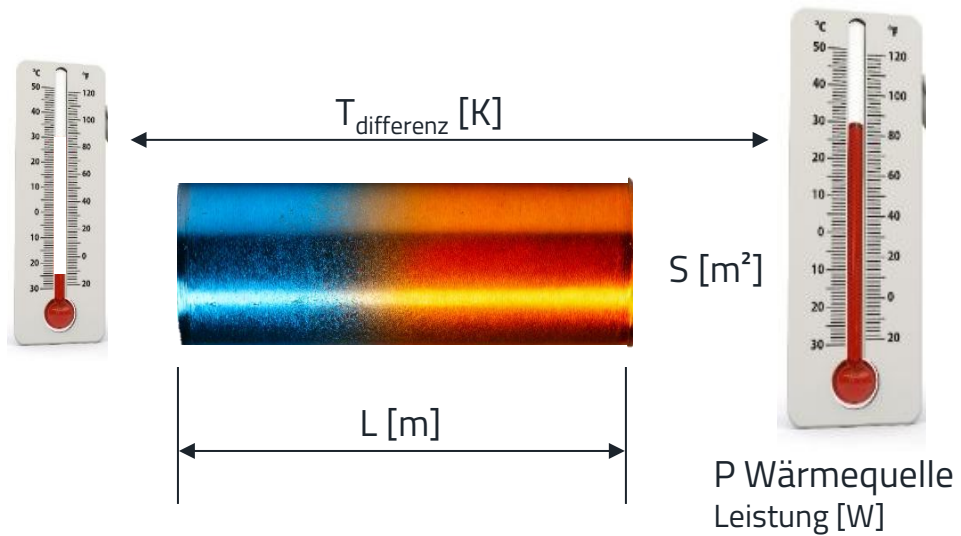
# MÖGLICHKEITEN DER WÄRMEABLEITUNG



Copilot picture creator eiCan

# MÖGLICHKEITEN DER WÄRMEABLEITUNG

## Leitung



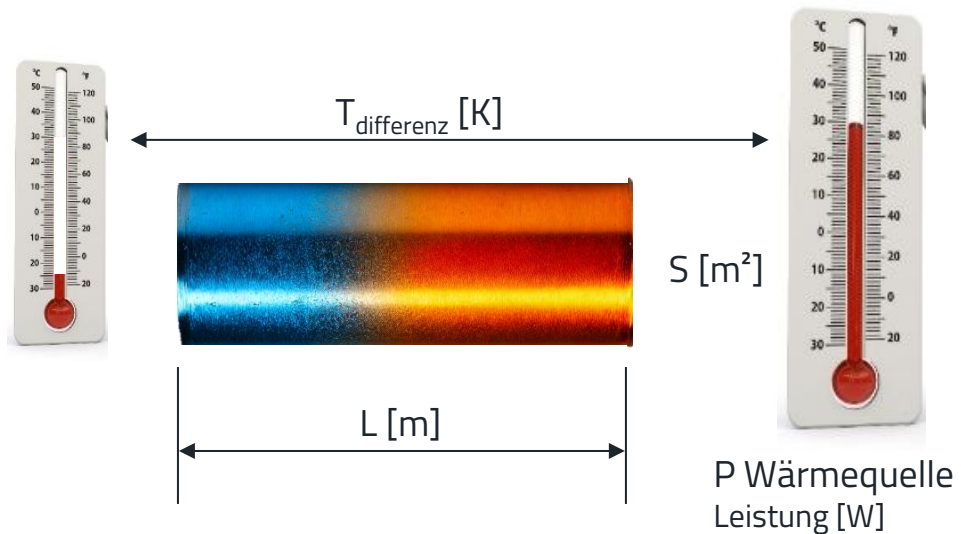
- Fourriersches Gesetz

$$T_{\text{differenz}} = - \left( \frac{L}{\lambda \cdot S} \right) \cdot P$$

Adobe picture creator eiCan

# MÖGLICHKEITEN DER WÄRMEABLEITUNG

## Leitung

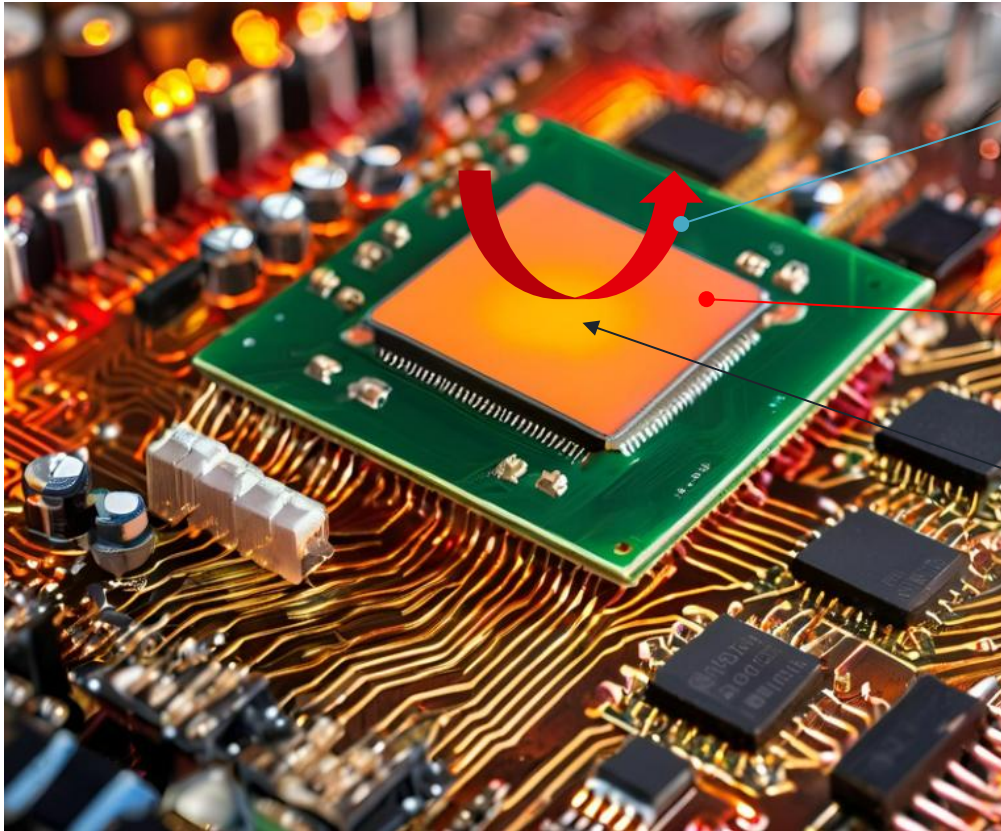


Adobe picture creator eiCan

Material	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ [Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
<b>Kupfer</b>	<b>380</b>
Aluminium	220
<b>Messing</b>	<b>120</b>
Glas	0,8
Wasser	0,6
LCP	0,5
PBT	0,33
<b>FR4</b>	<b>0,3</b>
<b>Polyamid</b>	<b>0,25</b>
PTFE [Teflon]	0,25
Holz	0,15
<b>Luft</b>	<b>0,025</b>

# MÖGLICHKEITEN DER WÄRMEABLEITUNG

## Konvektion



Konvektionsbewegung der Luft:  
Temperatur  $T_f$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Feste Oberfläche:  
▪ Temperatur  $T_p$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
▪ Fläche  $S$  [ $\text{m}^2$ ]

P Wärmequelle  
Leistung [W]

## Newtonsches Gesetz

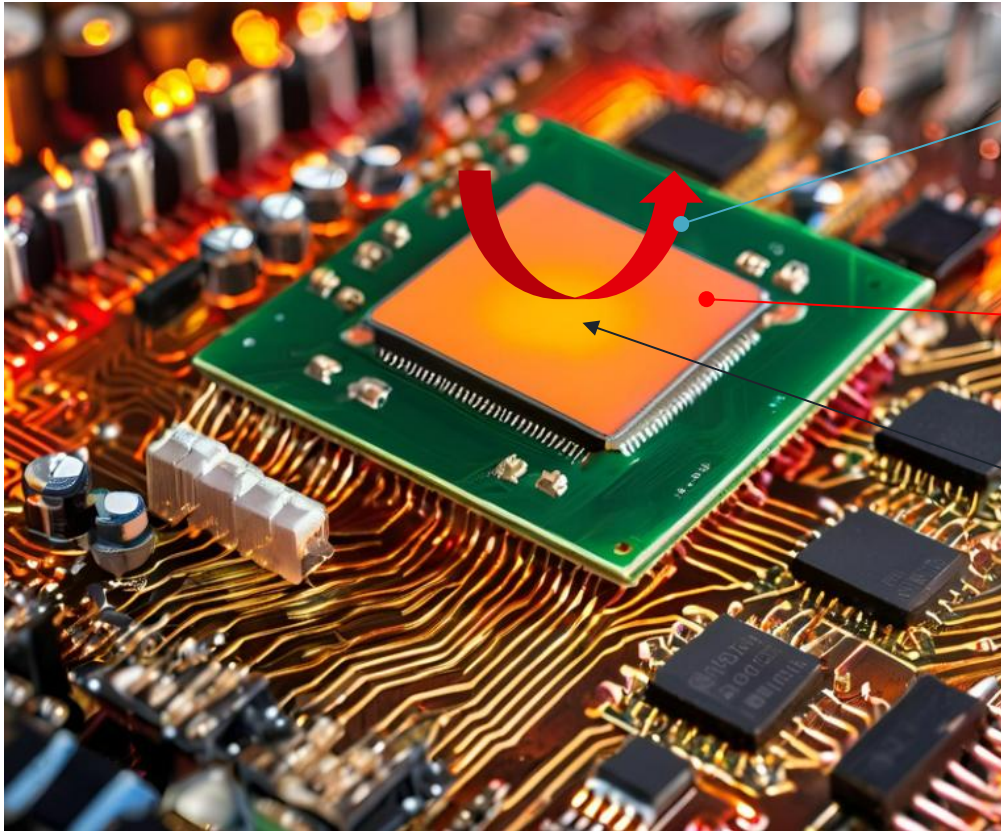
$$\Phi = h \cdot S \cdot (T_p - T_f)$$

- $\Phi$ : Wärmestrom [W]
- $h$ : Konvektionskoeffizient [ $\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

Adobe picture creator eiCan

# MÖGLICHKEITEN DER WÄRMEABLEITUNG

## Konvektion



Konvektionsbewegung der Luft:

Temperatur  $T_f$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Feste Oberfläche:

- Temperatur  $T_p$  [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- Fläche  $S$  [ $\text{m}^2$ ]

$P$  Wärmequelle Leistung [W]

## Newtonsches Gesetz

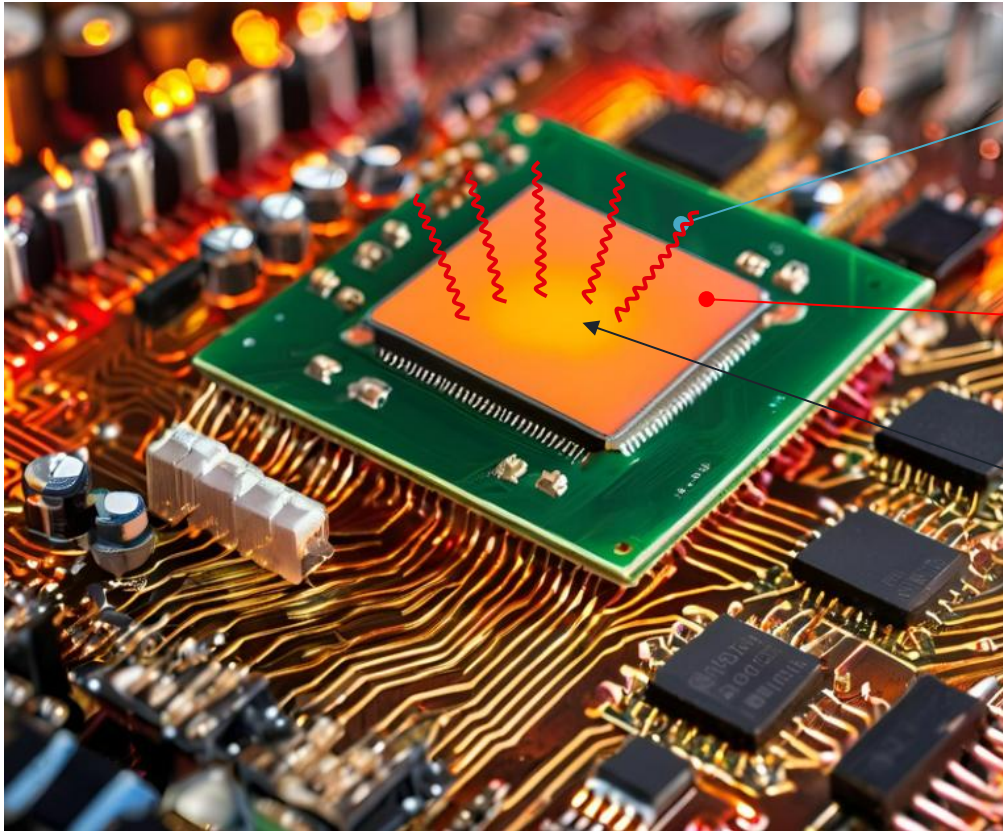
$$\Phi = h \cdot S \cdot (T_p - T_f)$$

Material	$h$ [ $\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ ]
Luft natürliche Konvektion der	~5
Luft erzwungene Konvektion	~50
Wasser natürliche Konvektion	~150
Wasser erzwungene Konvektion	~3000

Adobe picture creator eiCan

# MÖGLICHKEITEN DER WÄRMEABLEITUNG

## Strahlung



Adobe picture creator eiCan

Temperatur empfangender Körper  $T_f$  [°C]

abgebender Körper:

- Temperatur  $T_p$  [°C]
- Fläche  $S$  [m<sup>2</sup>]

P Wärmequelle Leistung [W]

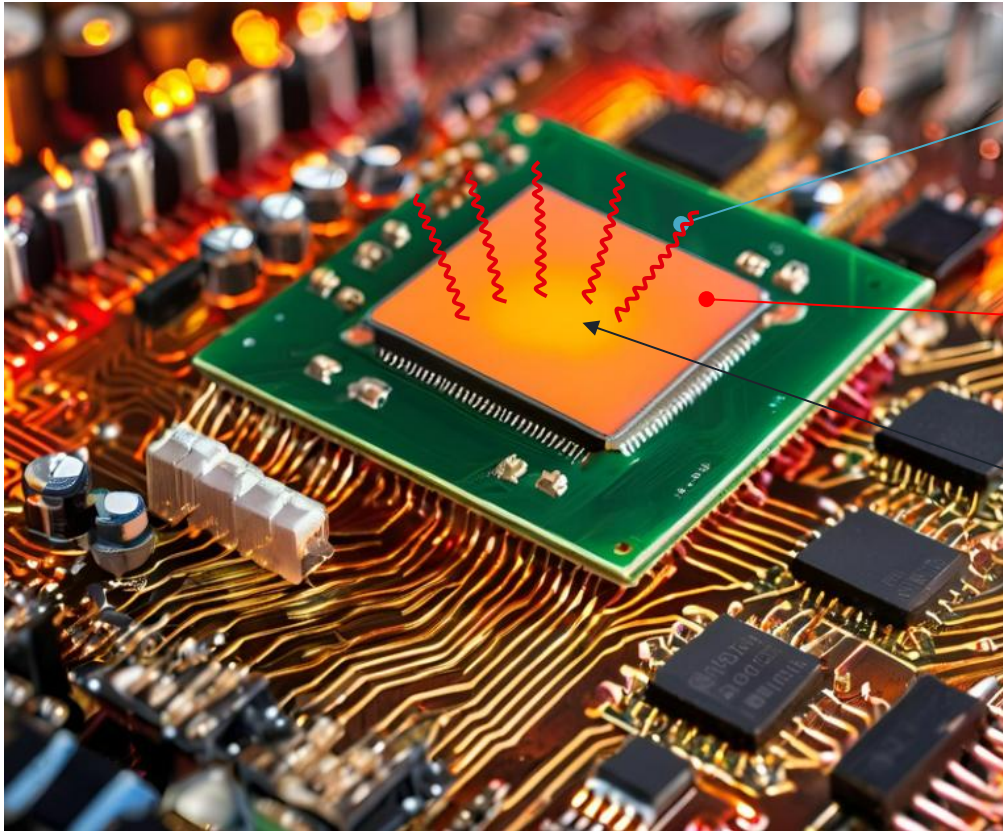
## Gesetz der Strahlung

$$\Phi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_p^4 - T_f^4)$$

- $\Phi$ : Wärmestrom [W]
- $\varepsilon$ : Emissionsfaktor der Oberfläche
- $\sigma$ : Boltzmann-Konstante  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

# MÖGLICHKEITEN DER WÄRMEABLEITUNG

## Strahlung



Adobe picture creator eiCan

Temperatur empfangender Körper  $T_f$  [°C]

abgebender Körper:

- Temperatur  $T_p$  [°C]
- Fläche  $S$  [m<sup>2</sup>]

P Wärmequelle Leistung [W]

## Gesetz der Strahlung

$$\Phi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot S \cdot (T_p^4 - T_f^4)$$

Material	$\varepsilon$
Kunststoffe	0,85 - 0,95
FR4	0,85
Aluminium eloxiert	0,55
Kupfer oxidiert	0,55
Aluminium poliert	0,05
Kupfer poliert	0,05

# WÄRMEABLEITUNG – STECKVERBINDER- SYSTEM

# WÄRMEABLEITUNG – STECKVERBINDER-SYSTEM

max. Arbeitsstrom in Abhängigkeit des Leiterquerschnitts

UL486		
Drahtstärke [AWG]	Querschnitt [mm <sup>2</sup> ]	Strom [A]
18	0,82	7
16	1,3	10
14	2,1	15
12	3,3	20
10	5,3	30
8	8,4	50
6	13,3	65

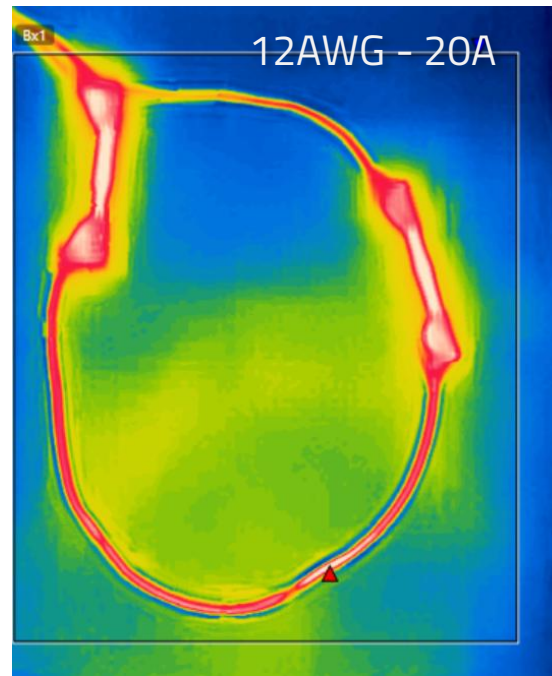
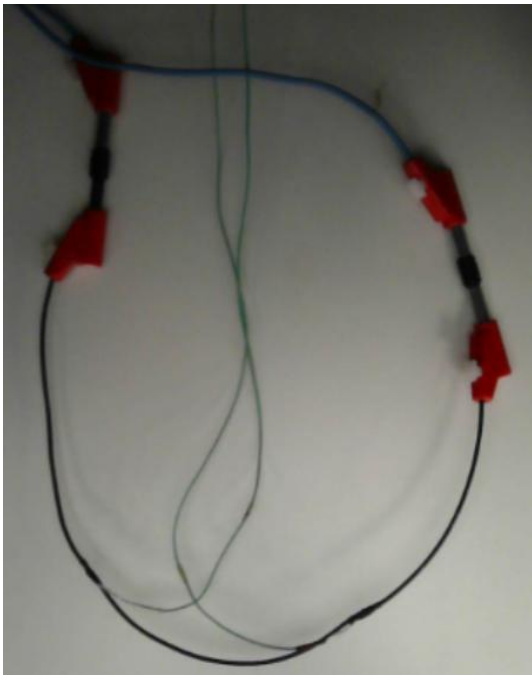
IEC60998-1	
Querschnitt [mm <sup>2</sup> ]	Strom [A]
0,75	9
1	13,5
1,5	17,5
2,5	24
4	32
6	41
10	57

VDE 0298-4	
Querschnitt [mm <sup>2</sup> ]	Strom [A]
0,75	15
1	19
1,5	24
2,5	32
4	42
6	54
10	73

# WÄRMEABLEITUNG – STECKVERBINDER-SYSTEM

Temperaturanstieg bei elektrischen Leitern

- Prüfung: AWG
  - $\Delta T$  von 50 cm Leiter
  - 2 Thermoelemente auf den Kupferleiter befestigt



- Leiter nach AWG-Norm erwärmt sich weniger als Steckverbinder ( $\Delta T < 30$  K)

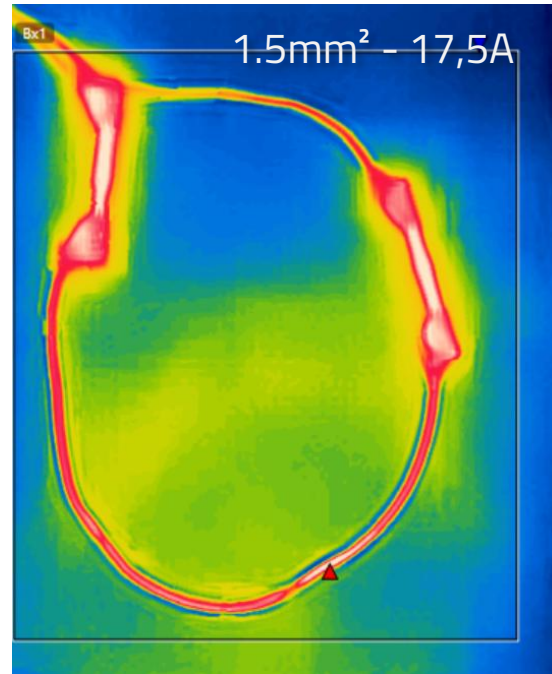
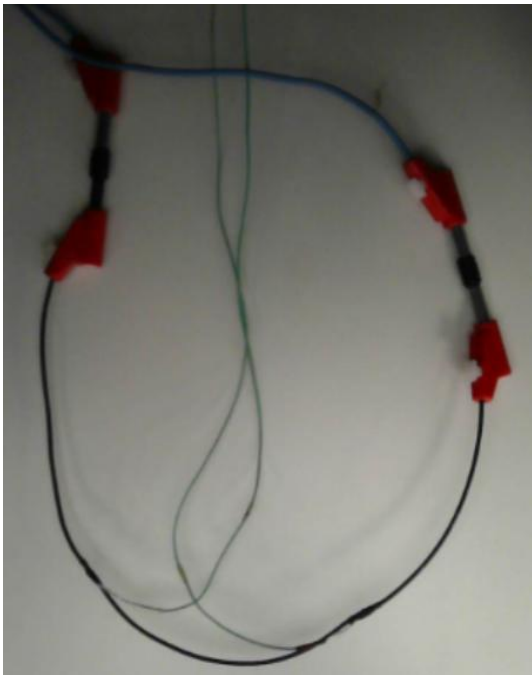
Drahtstärke [AWG]	Strom [A]	$\Delta T$ [K]
20	5	5
18	7	6
16	10	7
14	15	10
12	20	11
10	30	16
8	50	20
6	65	20

WE eiCan

# WÄRMEABLEITUNG – STECKVERBINDER-SYSTEM

Temperaturanstieg bei elektrischen Leitern

- Prüfung: mm<sup>2</sup>
  - $\Delta T$  von 50 cm Leiter
  - 2 Thermoelemente auf den Kupferleiter befestigt



- mm<sup>2</sup>-Leiter nach IEC Norm erwärmt sich weniger als Stecker ( $\Delta T < 45$  K)

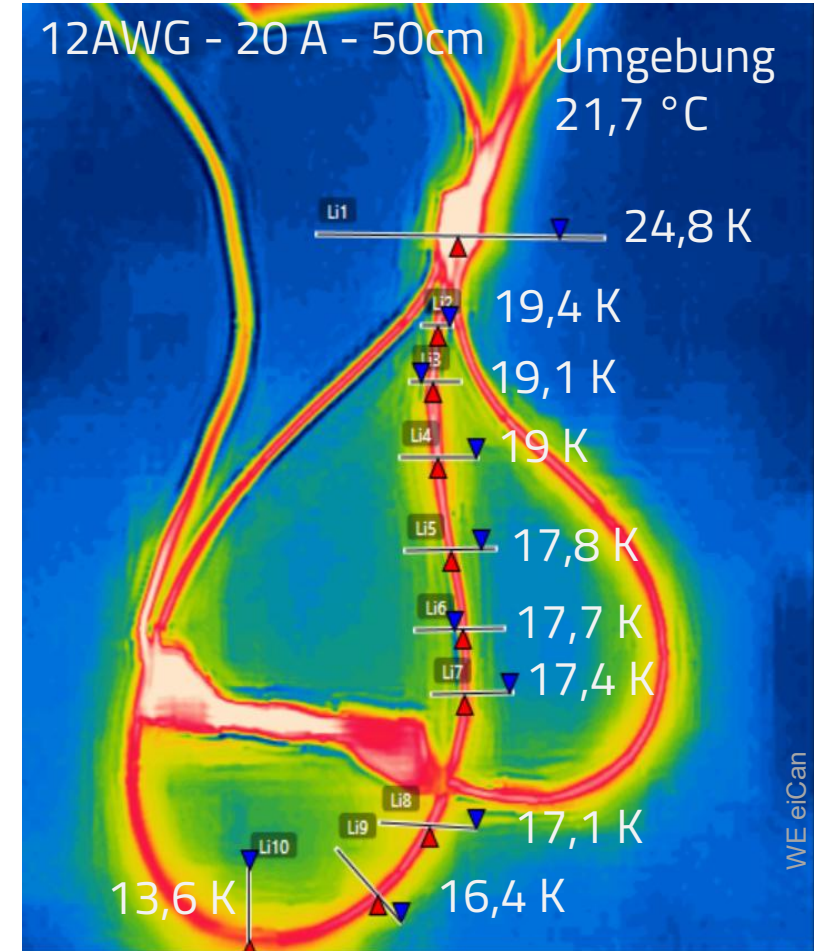
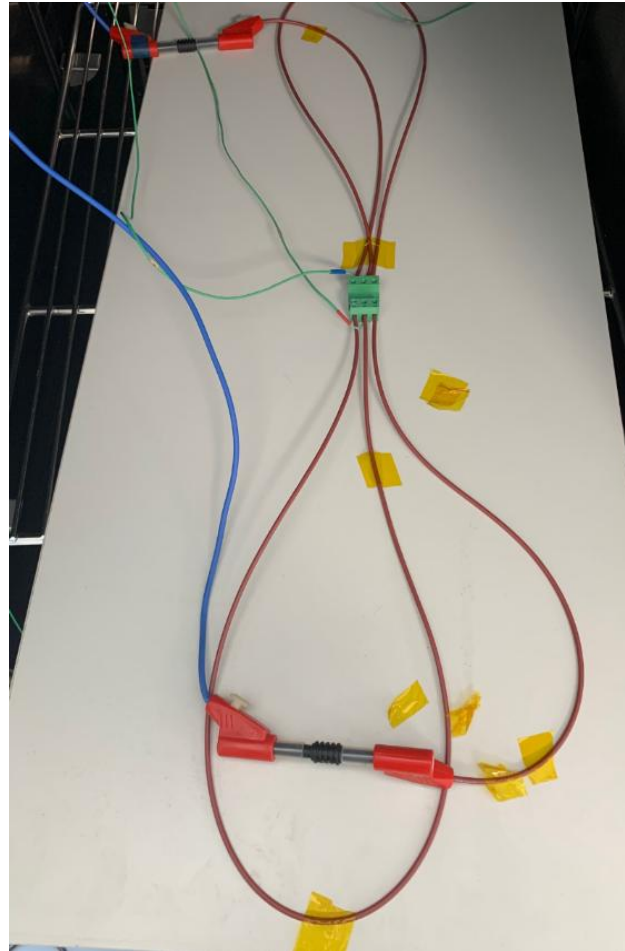
Querschnitt [mm <sup>2</sup> ]	Aktuell [A]	$\Delta T$ [K]
0,2	4	8
0,5	6	7
0,75	9	10
1	13,5	15
1,5	17,5	17
2,5	24	18
4	32	19
6	41	18

WE eiCan

# WÄRMEABLEITUNG – STECKVERBINDER-SYSTEM

Temperaturverlauf über Leiterlänge

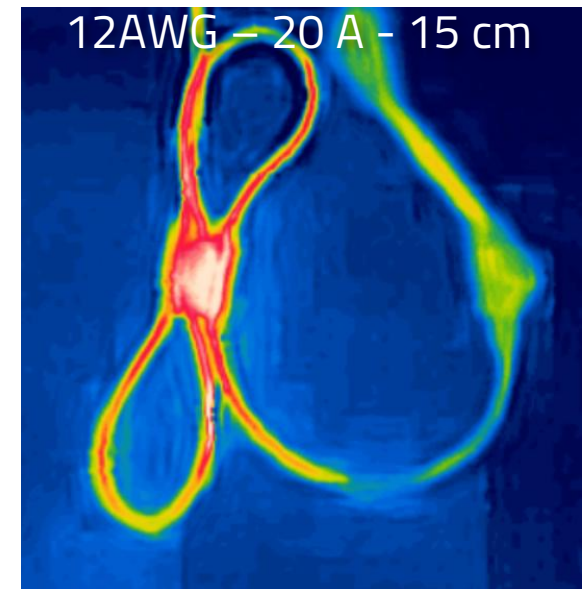
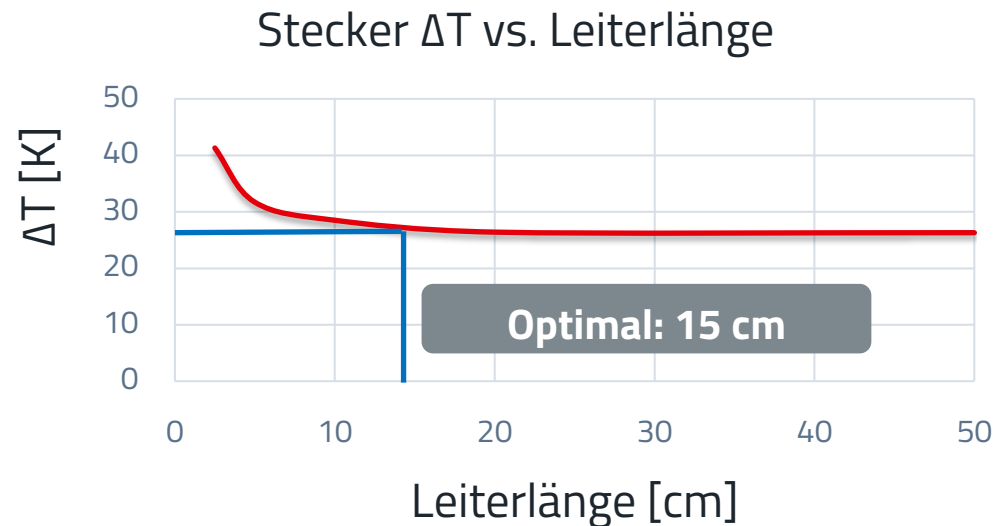
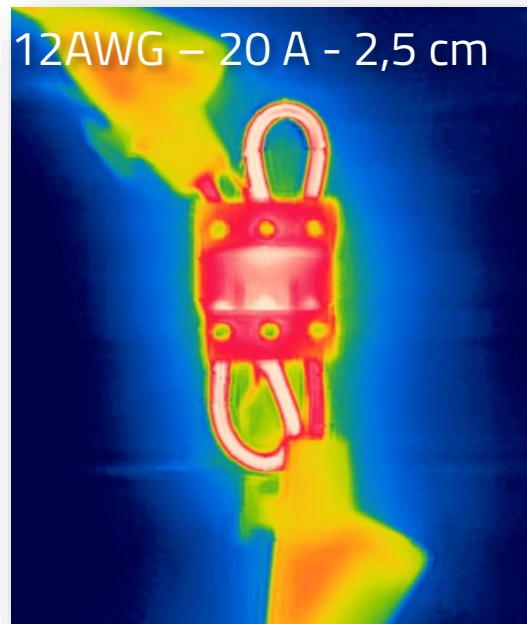
- Testbedingungen
  - $\Delta T$  von 50 cm Leiter
  - $\Delta T$  12AWG-20 A
  - TBL- 3-polig 7,62 mm



# WÄRMEABLEITUNG – STECKVERBINDER-SYSTEM

## Optimale Leiterlänge

- Testbedingungen
  - $\Delta T$  von 2,5 cm Leiter
  - $\Delta T$  12AWG-20 A
  - TBL- 3-polig 7,62 mm
- Leiterlänge:
  - 10 - 15 cm für optimale Wärmeableitung
  - < 10 cm erhöht die interne Steckertemperatur über die zulässigen 30 K
  - 15 – 50 cm kein größerer Einfluss auf die Wärmeableitung



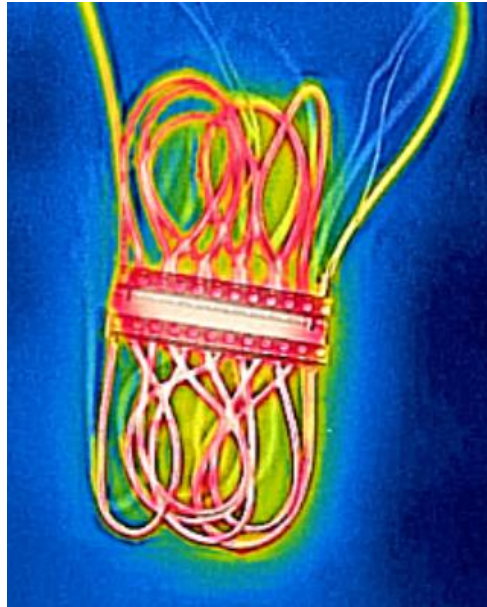
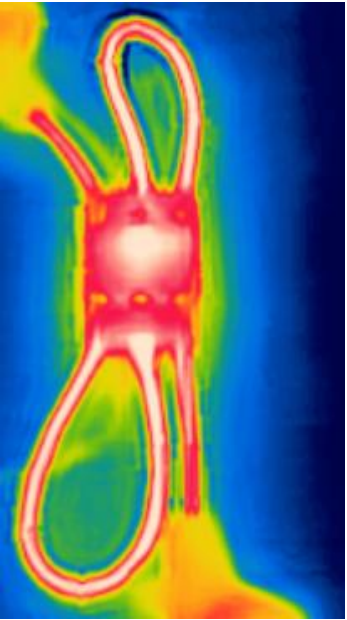
WE eiCan

# PRAKTISCHE BEISPIELE

# PRAKTISCHE BEISPIELE

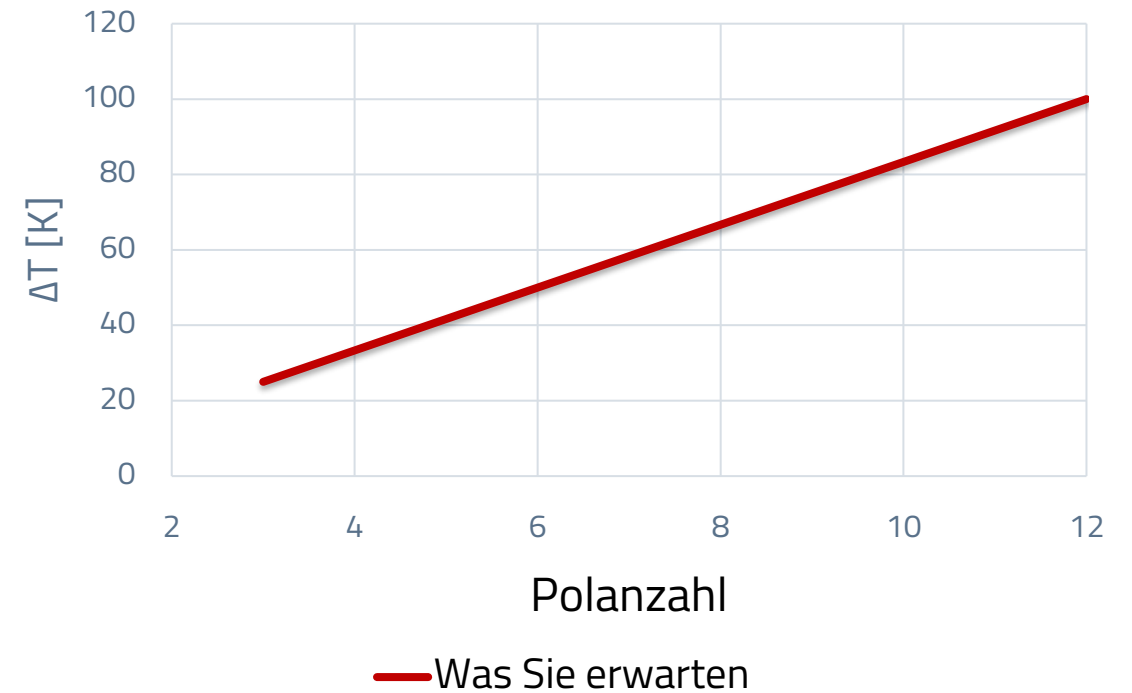
## Terminal Blocks

- Testbedingungen
  - Der Arbeitsstrom wird nach UL für 3-polige Steckverbinder zugelassen
  - AWG12 – 20 A – 10 cm



- Anpassen des Arbeitsstroms bei anderer Polanzahl?

TBL  $\Delta T$  vs. Polanzahl

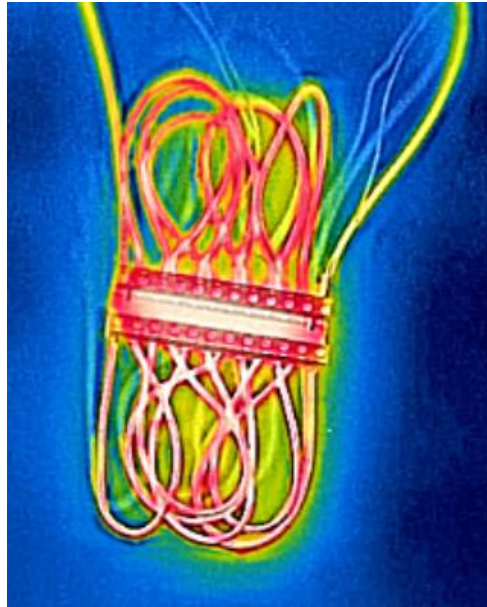
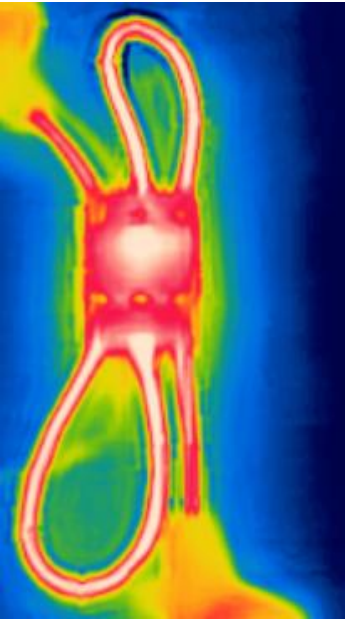


WE eiCan

# PRAKTISCHE BEISPIELE

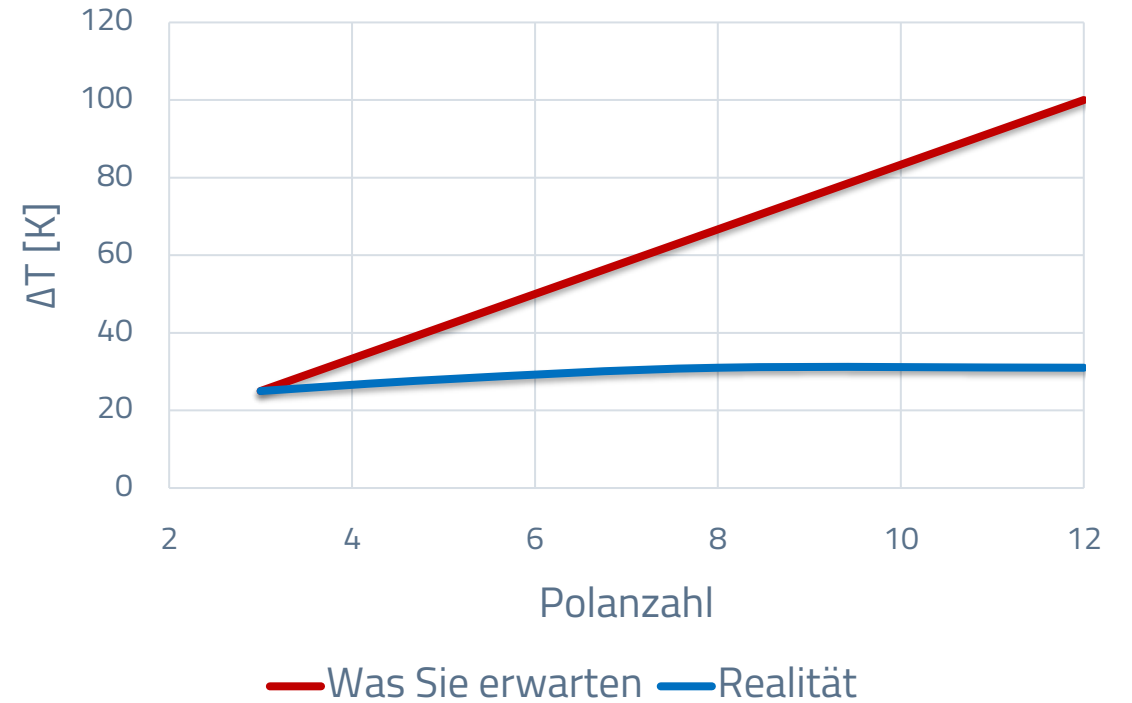
## Terminal Blocks

- Testbedingungen
  - Der Arbeitsstrom wird nach UL für 3-polige Steckverbinder zugelassen
  - AWG12 – 20 A – 10 cm



- Anpassen des Arbeitsstroms bei anderer Polanzahl

TBL  $\Delta T$  vs. Polanzahl

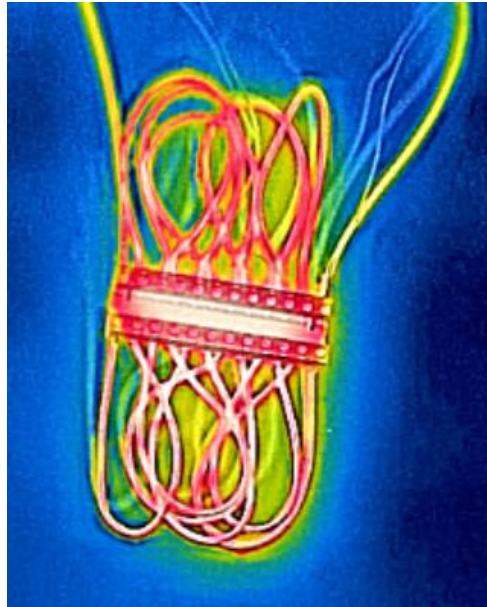
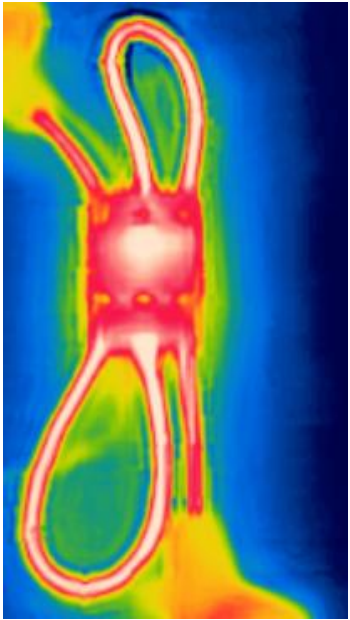


WE eiCan

# PRAKTISCHE BEISPIELE

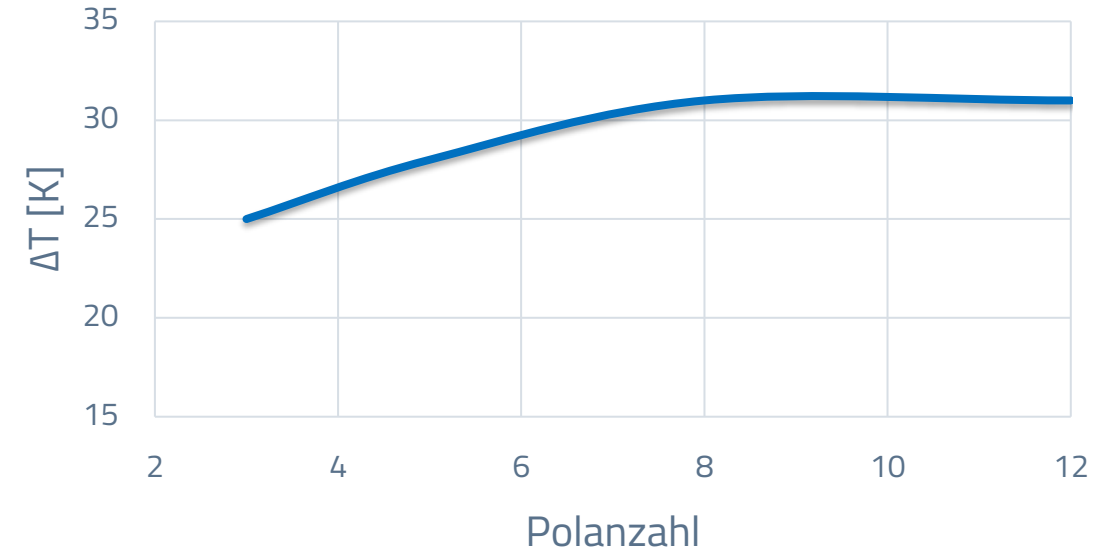
## Terminal Blocks

- Testbedingungen
  - Der Arbeitsstrom wird nach UL für 3-polige Steckverbindern zugelassen
  - AWG12 – 20 A – 10 cm



- Anpassen des Arbeitsstroms bei anderer Polanzahl
  - Y-Achse Zoom

TBL  $\Delta T$  vs. Polanzahl

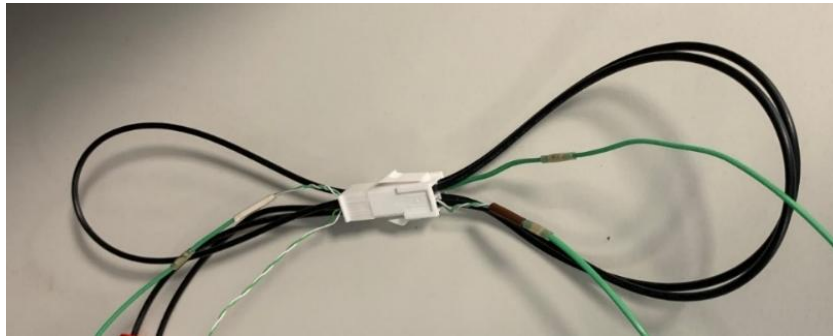


WE eiCan

# PRAKTISCHE BEISPIELE

## MPC4 Steckverbinder

- Testbedingungen
  - Ignorieren des polzahlabhängigen Arbeitsstroms
  - Auswirkung auf das Derating
  - AWG16 – 9 A -15 cm

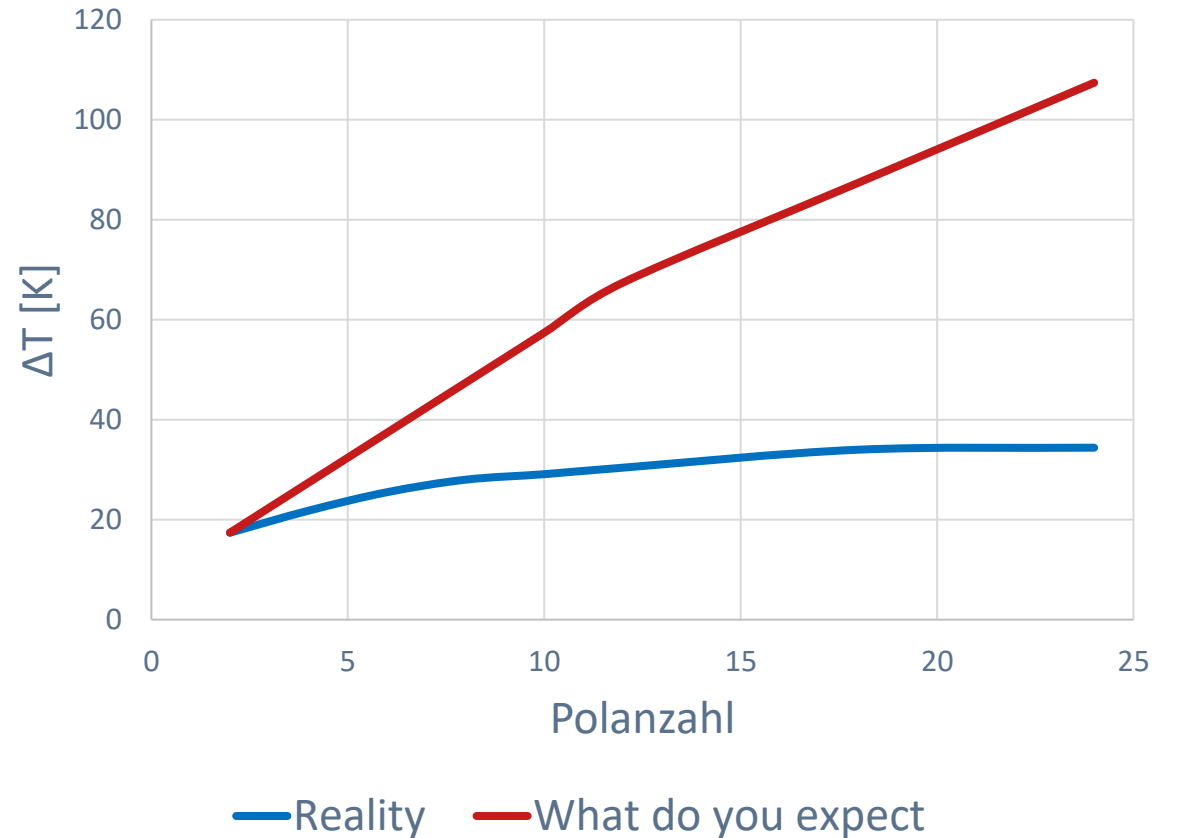


ELECTRICAL

■ Current rating: 6 to 9 A

No. Circuits	2-3	4-6	7-10	12-24
Amps	9	8	7	6

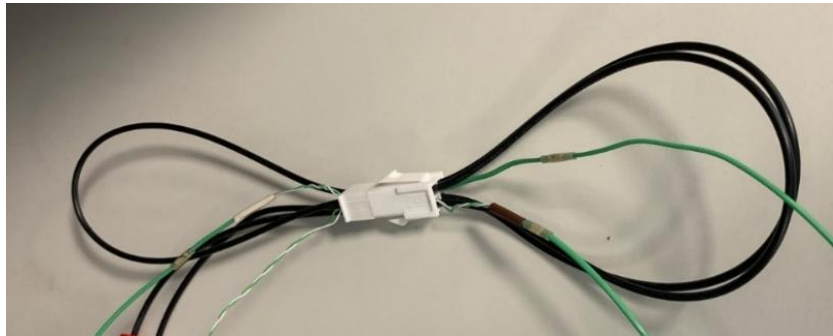
MPC4  $\Delta T$  vs. Polanzahl



# PRAKTISCHE BEISPIELE

## MPC4 Steckverbinder

- Testbedingungen
  - Ignorieren des polzahlabhängigen Arbeitsstroms
  - Auswirkung auf das Derating
  - AWG16 – 9 A -15 cm

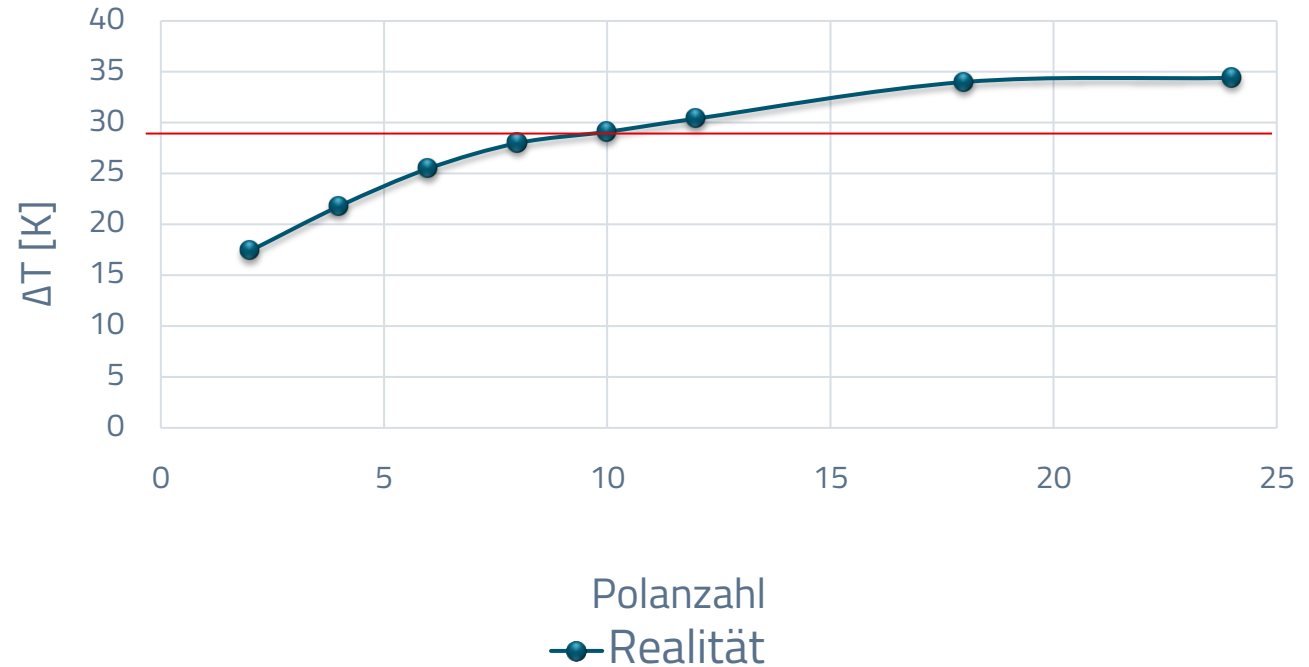


ELECTRICAL

■ Current rating: 6 to 9 A

No. Circuits	2-3	4-6	7-10	12-24
Amps	9	8	7	6

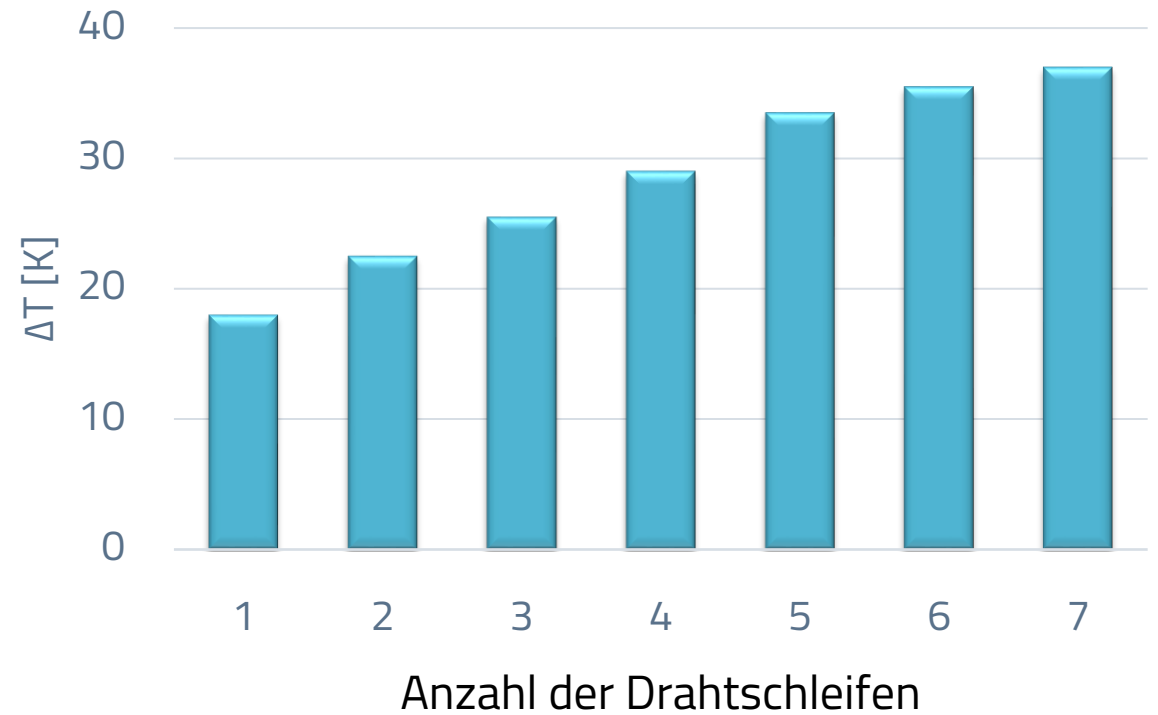
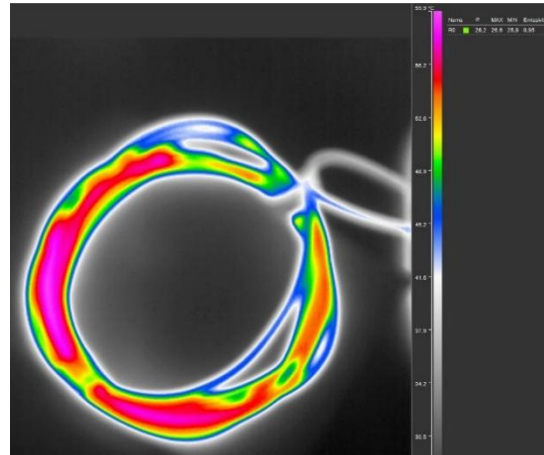
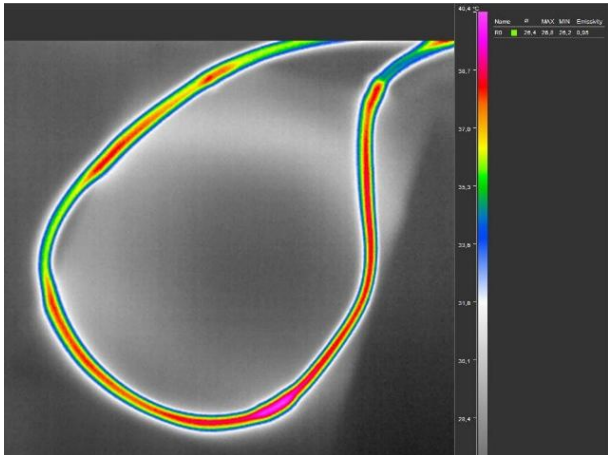
MPC4 dT vs. Polanzahl



# PRAKTISCHE BEISPIELE

## Leiterschlaufen

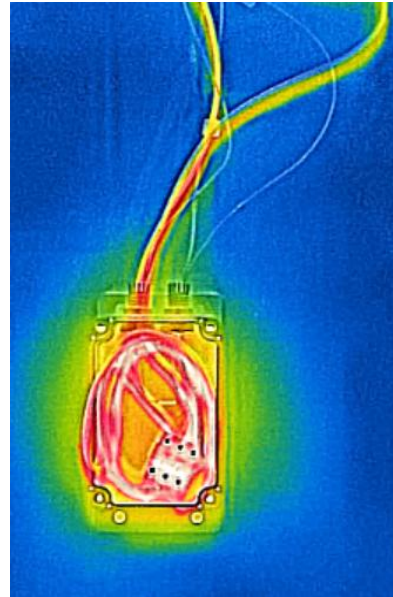
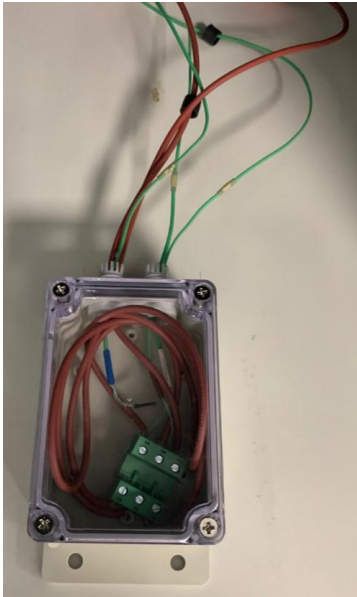
- Testbedingungen
  - Derating in Abhängigkeit der Leiterschleifenanzahl
  - 6 mm<sup>2</sup> @ 41 A



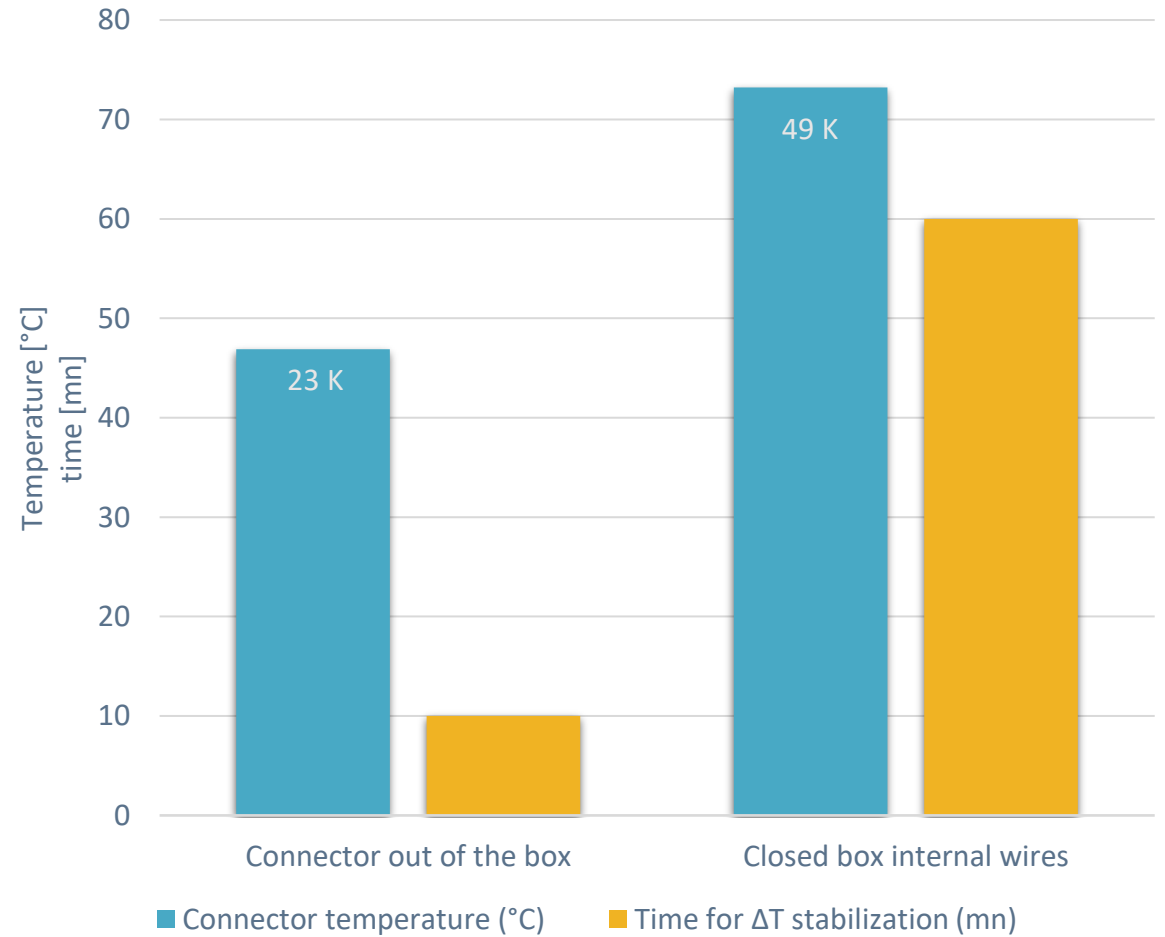
# PRAKTISCHE BEISPIELE

## TBL in einem geschlossenen Gehäuse

- Testbedingungen
  - TBL 3 polig 7,62 mm
  - AWG12 – 20 A / Leiterlänge 10 cm
  - Thermoelemente für TBL & Gehäuse



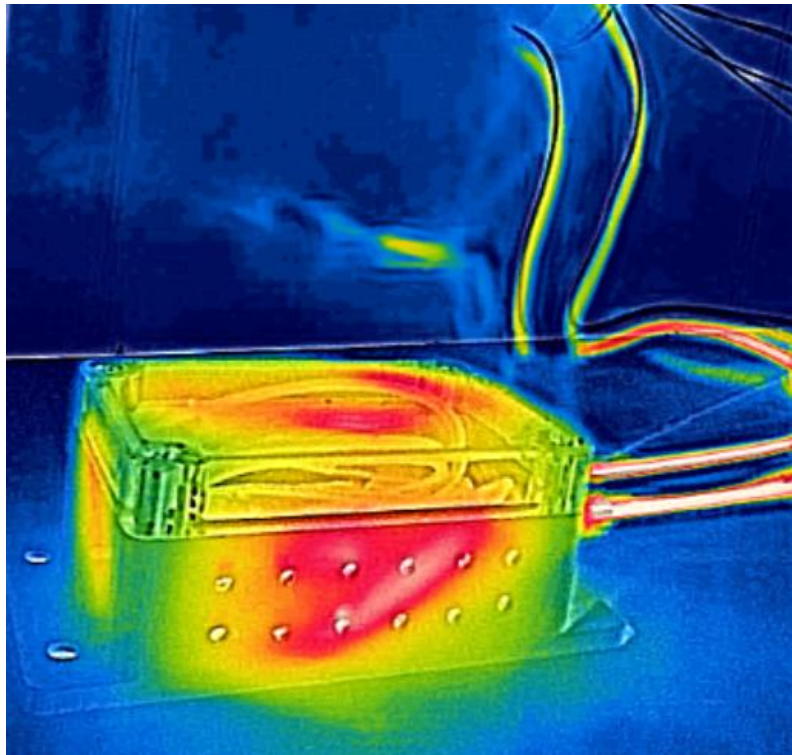
WE eiCan



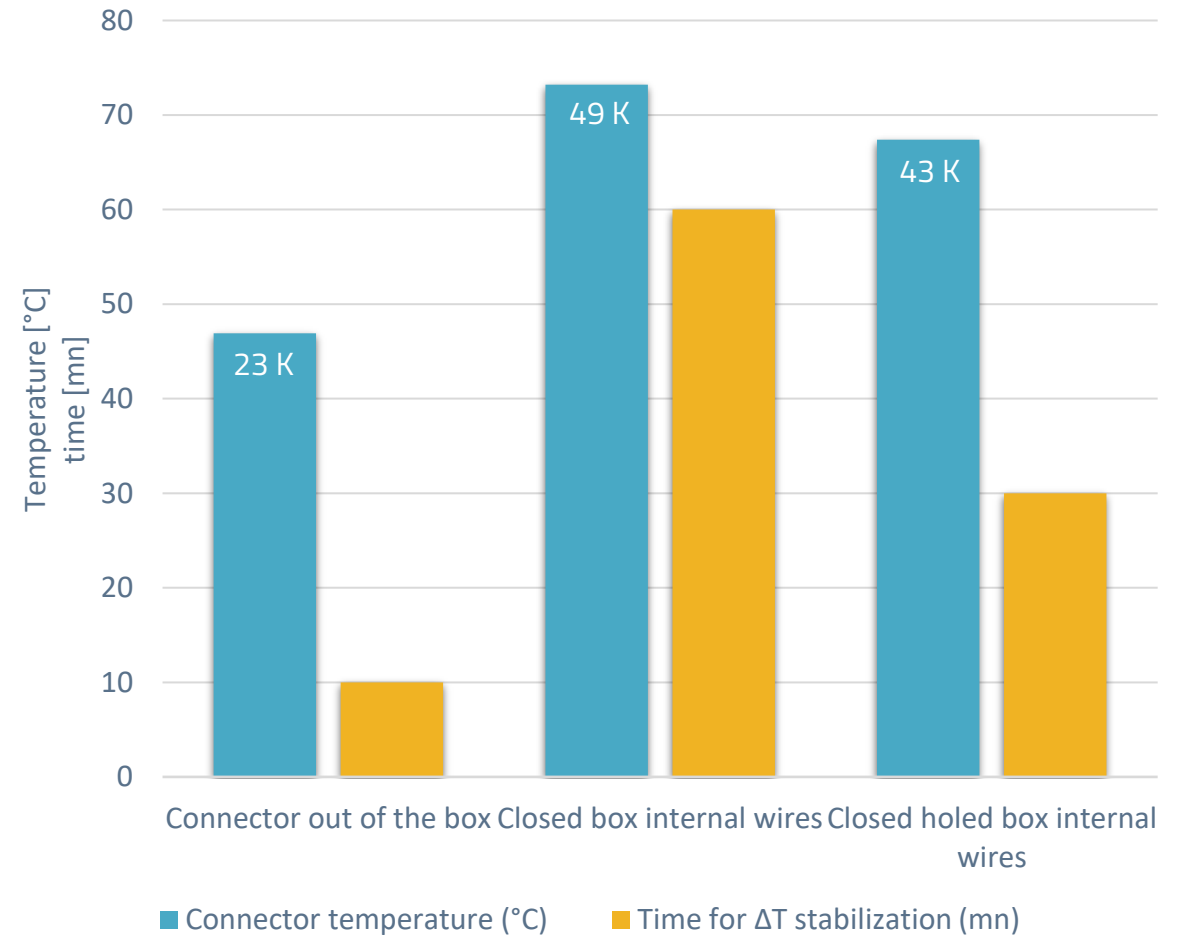
# PRAKTISCHE BEISPIELE

## TBL in einem geschlossenen Gehäuse

- Testbedingungen
  - Geschlossenes Gehäuse mit seitlichen Löchern



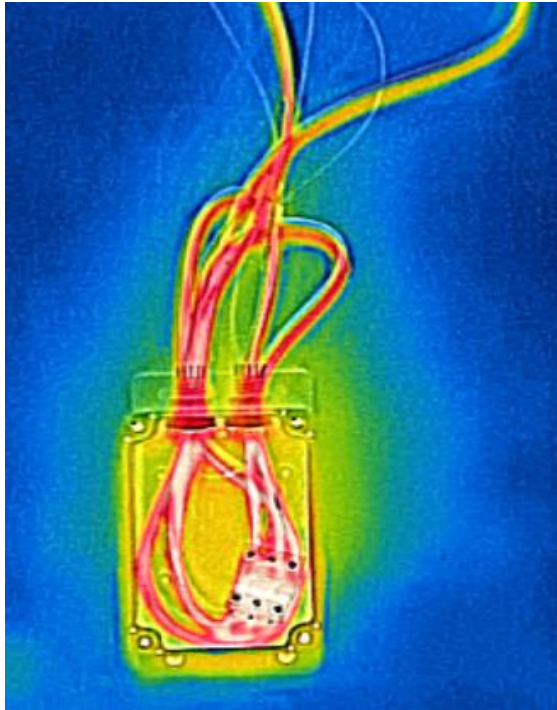
WE eiCan



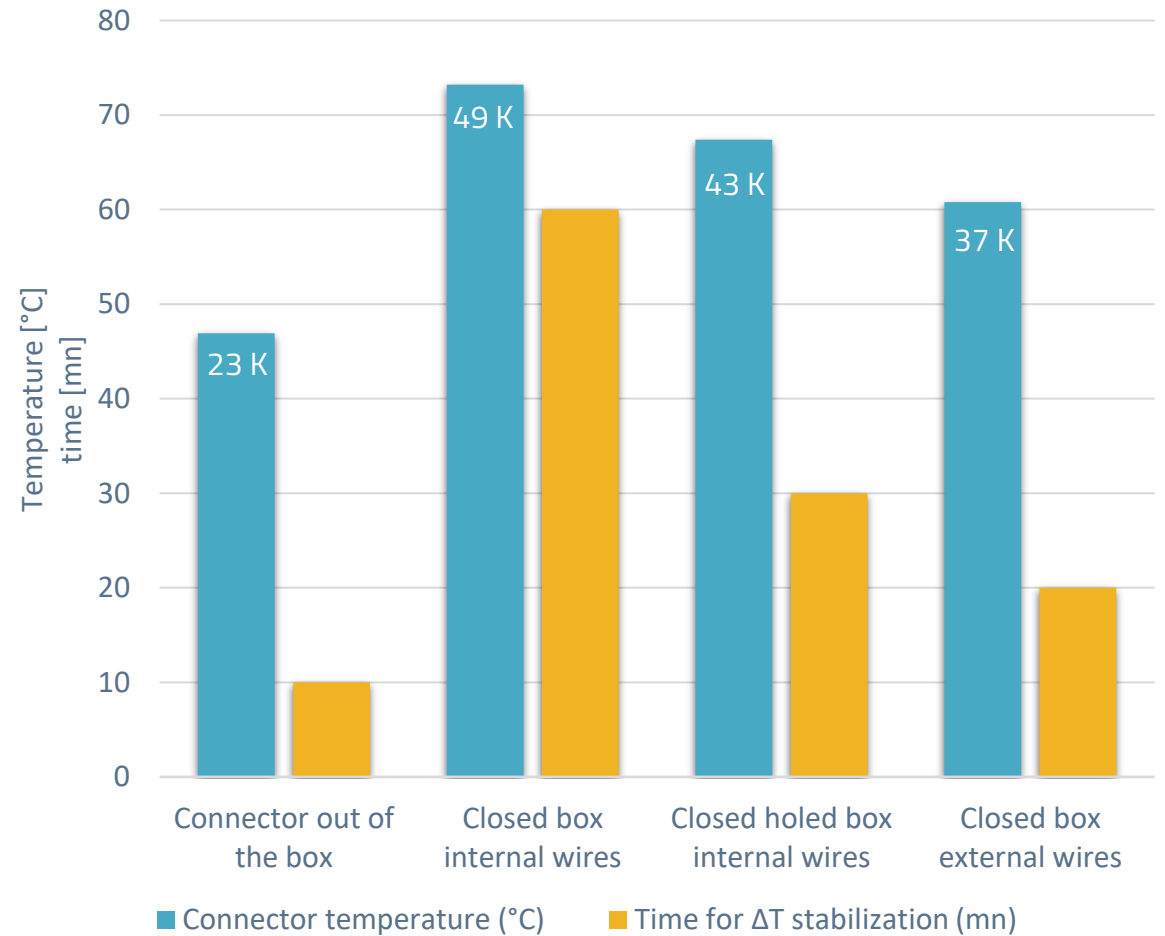
# PRAKTISCHE BEISPIELE

TBL in einem geschlossenen Gehäuse

- Testbedingungen
  - Geschlossenes Gehäuse ohne Löcher
  - Leiter aus dem Gehäuse herausgeführt



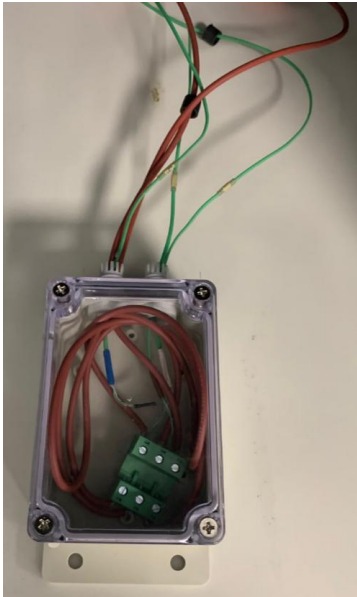
WE eiCan



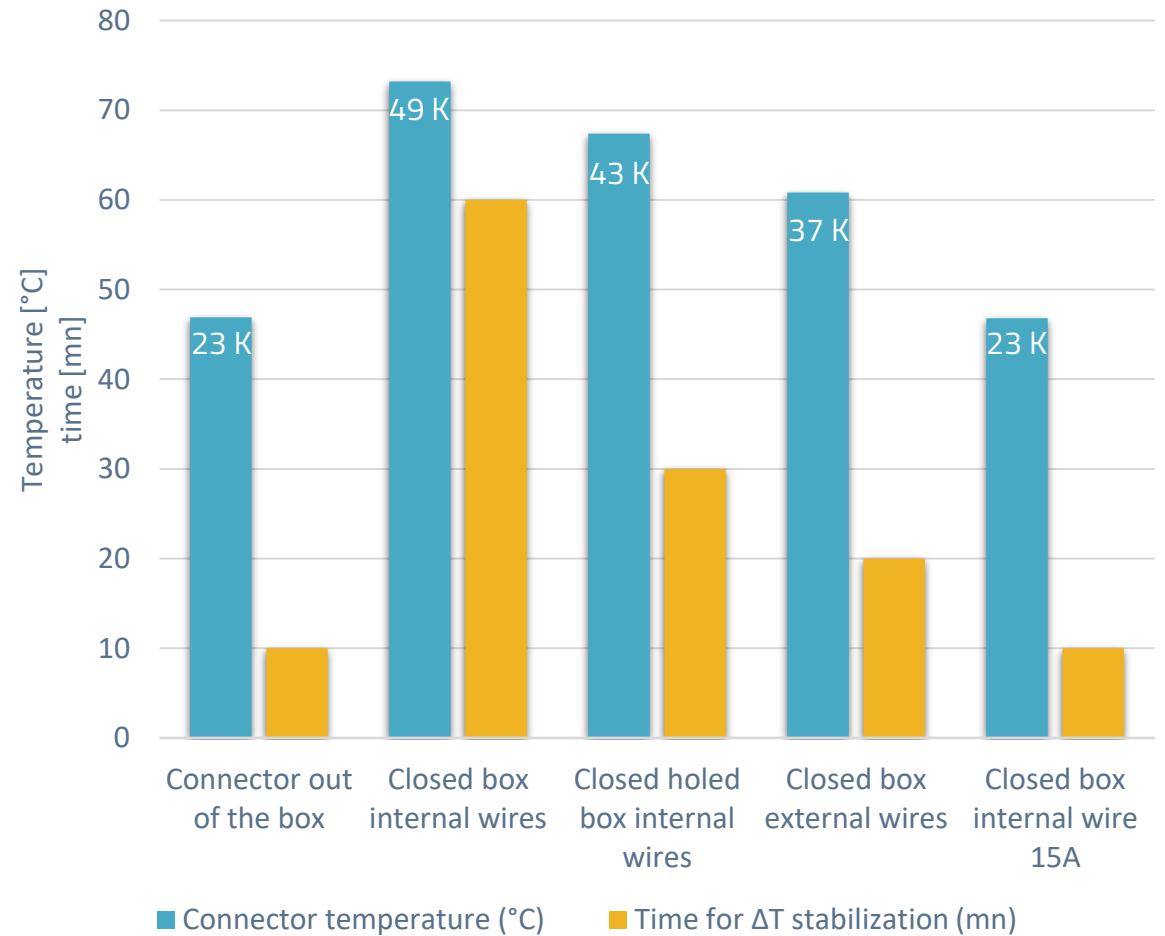
# PRAKTISCHE BEISPIELE

## TBL in einem geschlossenen Gehäuse

- Testbedingungen
  - Geschlossenes Gehäuse ohne Löcher
  - AWG12 / Leiterlänge 10 cm
  - Stromderating von 20 A auf 15 A



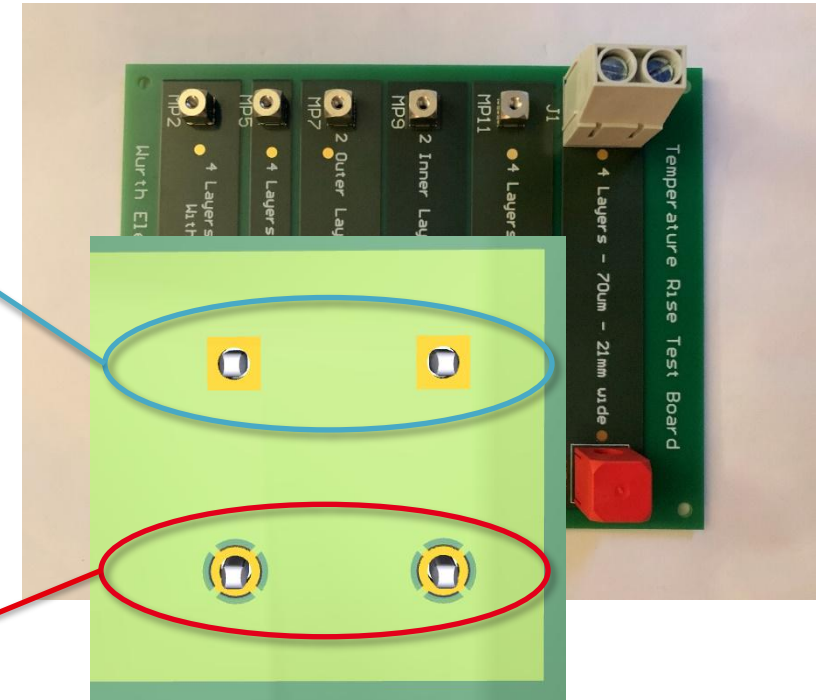
WE eiCan



# PRAKTISCHE BEISPIELE

## Auswirkung von Wärmefallen auf PCB`s

- Testbedingungen
  - TBL-Leiterplattenklemme 57 A
  - Bestromt mit 73 A
  - Leiterquerschnitt 16 mm<sup>2</sup>
  
- Die Wärmefalle hat keinen signifikanten Einfluss auf die Erwärmung



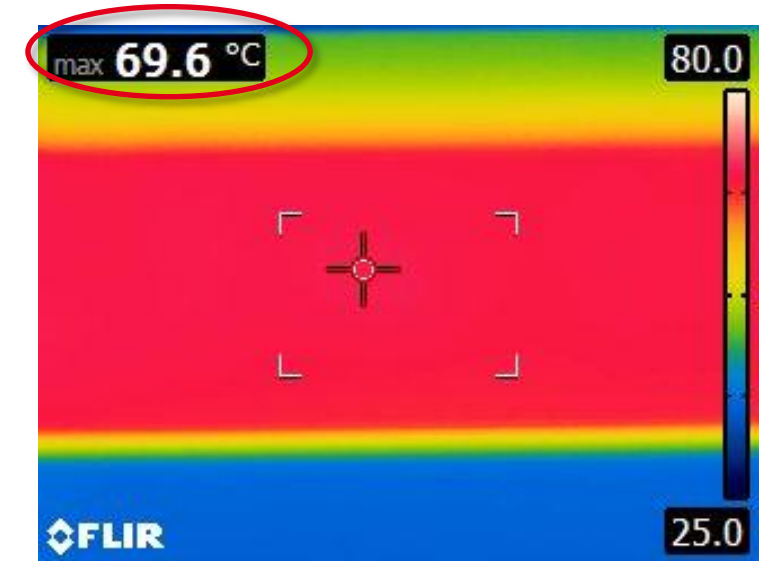
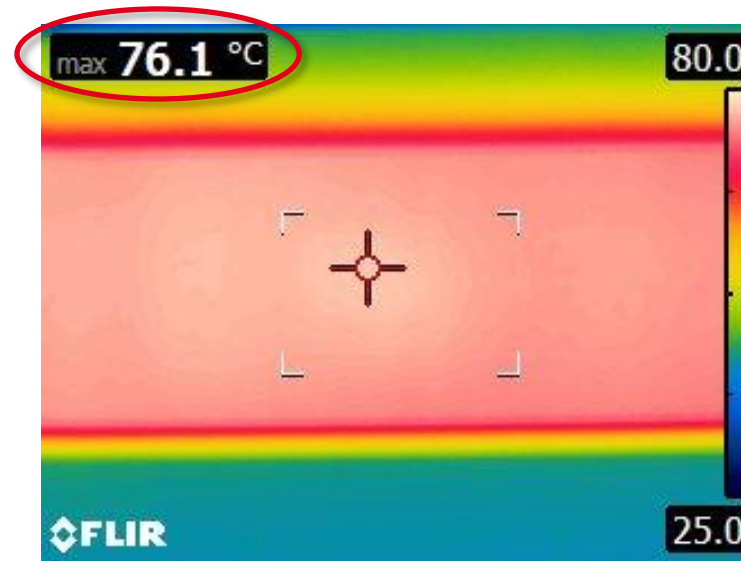
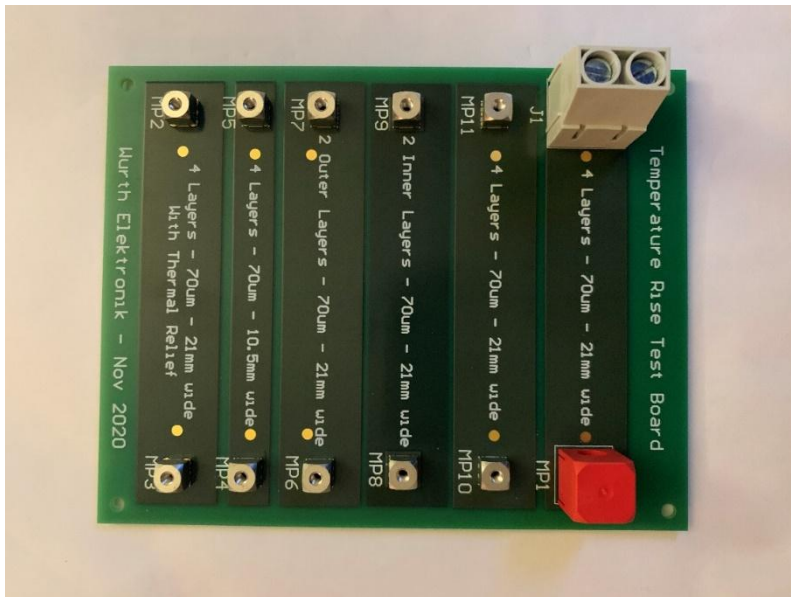
# PRAKTISCHE BEISPIELE

## Temperaturverhalten in Abhängigkeit der Einbaulage

- Testbedingungen
  - TBL-Leiterplattenklemme 57 A
  - Bestromt mit 73 A
  - Leiterquerschnitt 16 mm<sup>2</sup>

- Horizontale PCB

- Vertikale PCB

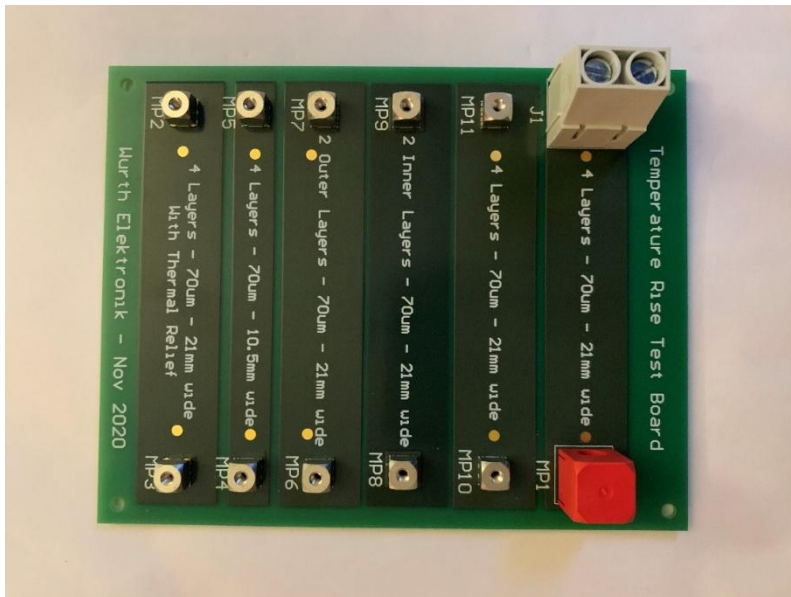


Alle Bilder WE eiCan

# PRAKTISCHE BEISPIELE

## Temperaturverhalten in Abhängigkeit der Einbaulage

- Testbedingungen
  - TBL-Leiterplattenklemme 57 A
  - Bestromt mit 73 A
  - Leiterquerschnitt 16 mm<sup>2</sup>
  - Aktiv gekühlt (Lüfter)
- Horizontale Leiterplatte mit Lüfter
- Vertikale Leiterplatte mit Lüfter

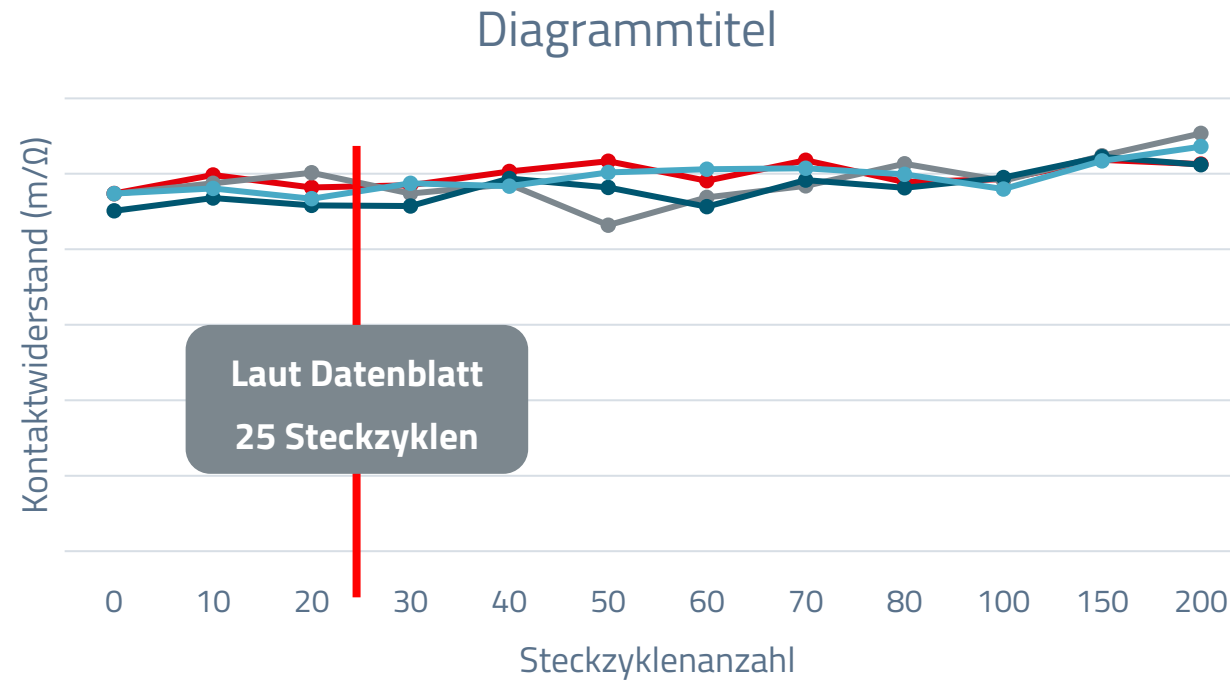


Alle Bilder WE eiCan

# PRAKTISCHE BEISPIELE

Abhängigkeit des Kontaktwiderstands bezogen auf Steckzyklen bei einem MiniModul

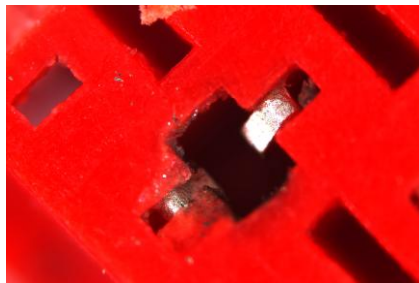
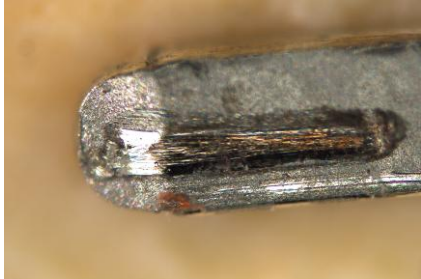
- Kontaktwiderstandsänderung ohne Alterung des Steckverbinders
- Kontaktwiderstandserhöhung durch Oxidation bei Alterung !
- Kontaktwiderstand vs. Steckzyklen



# PRAKTISCHE BEISPIELE

Abhängigkeit des Kontaktwiderstands bezogen auf Steckzyklen bei einem MiniModul

- 500 Steckzyklen
  - Abtrag Ni & Zinn
  - Übergangswiderstand  $< 12 \text{ m}\Omega$



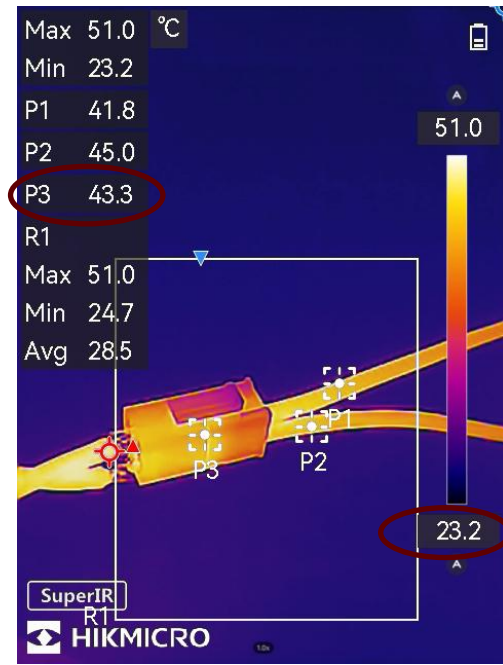
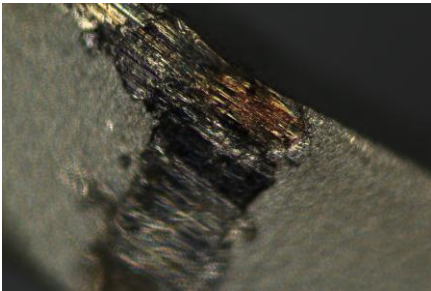
- 500 Steckzyklen und Salzsprühnebeltest 24 h
  - Abtrag Ni & Zinn / Ni-Korrosion (schwarz)
  - Übergangswiderstand ca.  $900 \text{ m}\Omega$



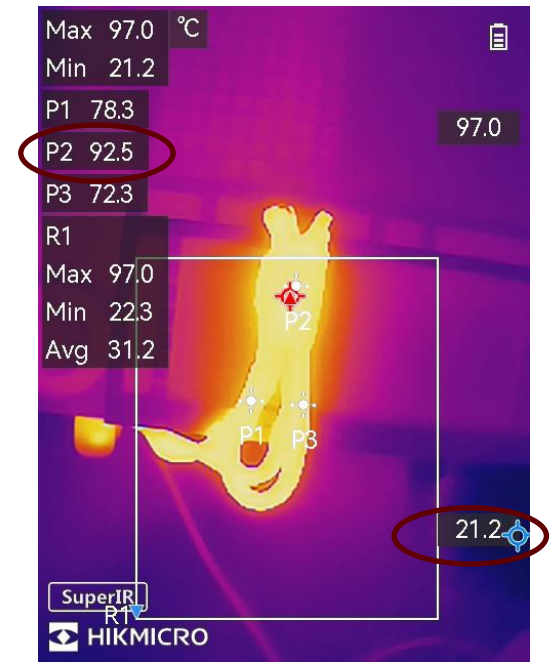
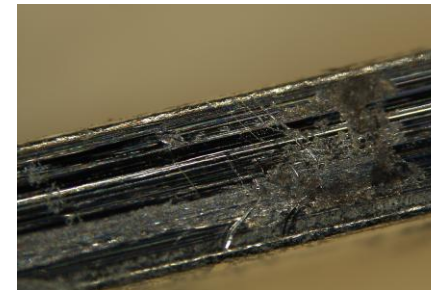
# PRAKTISCHE BEISPIELE

Abhängigkeit des Kontaktwiderstands bezogen auf Steckzyklen bei einem MPC 5

- 500 Steckzyklen
  - Abtrag Ni & Zinn
  - Übergangswiderstand <2 mOhm
  - Eigenerwärmung bei 26 A ca. 20 K



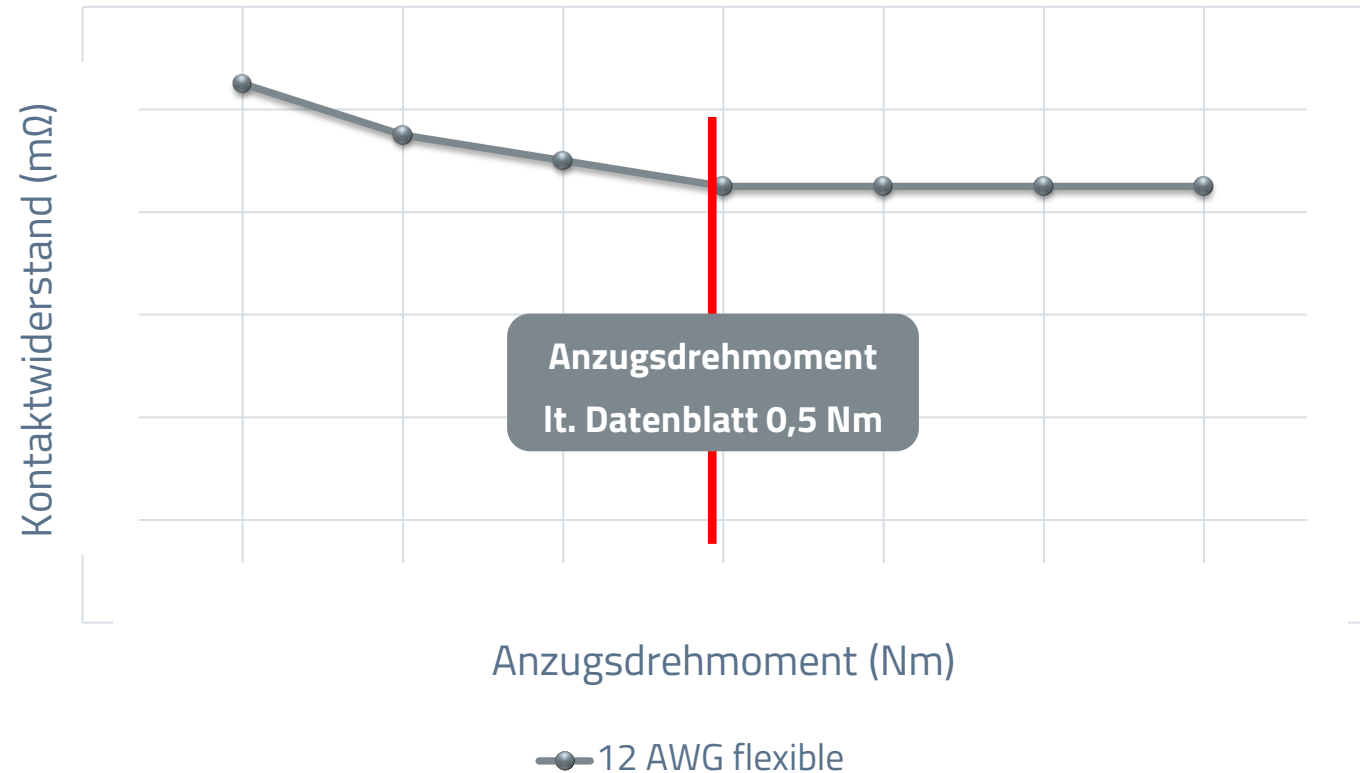
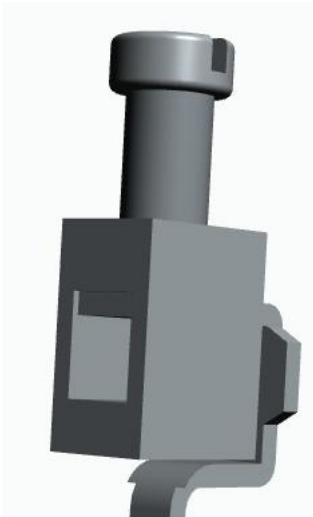
- 500 Steckzyklen und Salzsprühnebeltest 24 h
  - Abtrag Ni & Zinn / Ni-Korrosion (schwarz)
  - Übergangswiderstand ca. 28 mOhm
  - Eigenerwärmung bei 26 A ca. 70 K



# PRAKTISCHE BEISPIELE

Kontaktwiderstandsänderung bezogen auf das Anzugsdrehmoment

- Kontaktwiderstand optimal bei angegebenen Anzugsdrehmoment gemäß Datenblatt
- Kontaktwiderstand vs. Drehmoment



# UL / VDE DERATING- KURVE

# UL / VDE DERATING-KURVE

## UL Derating-Kurve

- Derating des Stroms in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur bei 100 °C



WE eiCan

### ENVIRONMENTAL

OPERATING TEMPERATURE: -30°C UP TO +120°C

COMPLIANCE: LEAD FREE AND ROHS

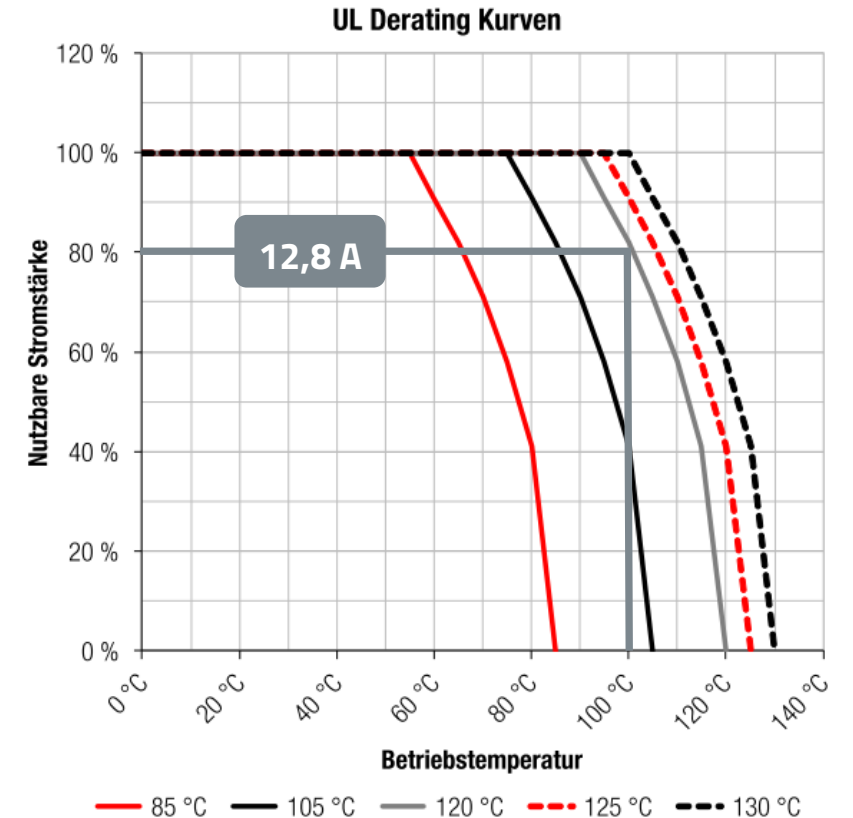
### ELECTRICAL

	UL	VDE
CURRENT RATING:	16A	24A

WORKING VOLTAGE:	300VAC	750VAC
------------------	--------	--------

WITHSTANDING VOLTAGE:	1,6KV	3KV
-----------------------	-------	-----

CONTACT RESISTANCE: 20 mΩ MAX



# UL / VDE DERATING-KURVE

## VDE Derating-Kurve

- Derating des Stroms in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur bei 100 °C



WE eiCan

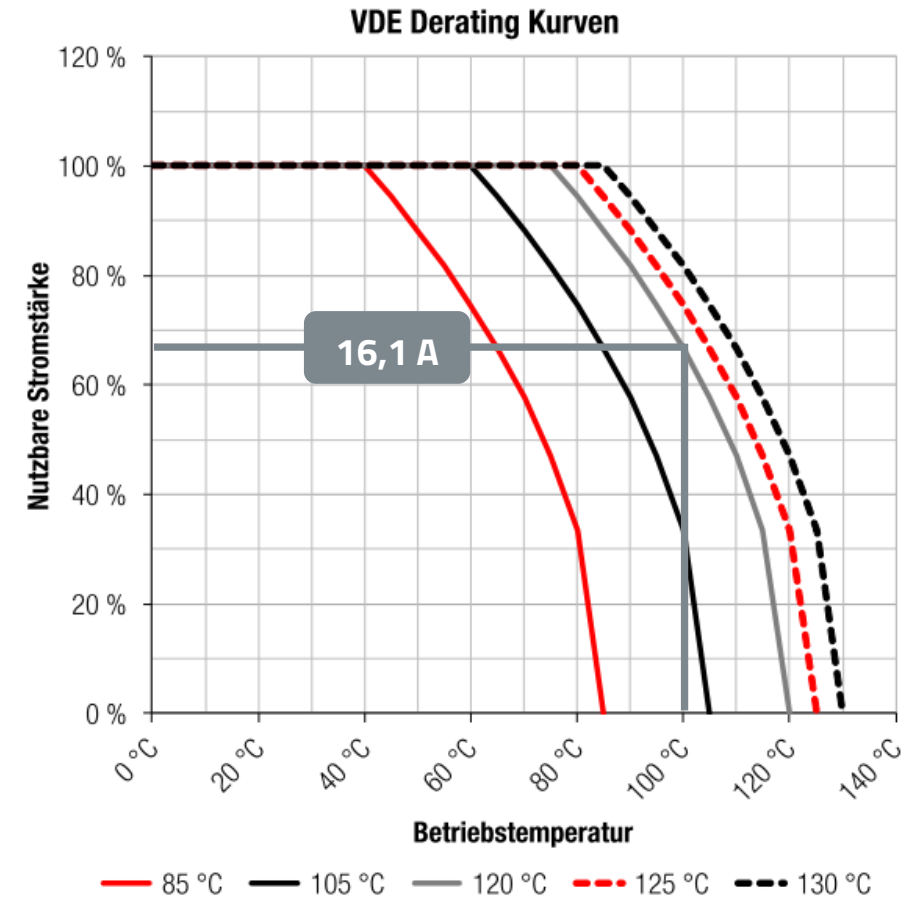
### ENVIRONMENTAL

OPERATING TEMPERATURE: -30°C UP TO +120°C

COMPLIANCE: LEAD FREE AND ROHS

### ELECTRICAL

	UL	VDE
CURRENT RATING:	16A	24A
WORKING VOLTAGE:	300VAC	750VAC
WITHSTANDING VOLTAGE:	1,6KV	3KV
CONTACT RESISTANCE:	20 mΩ MAX	

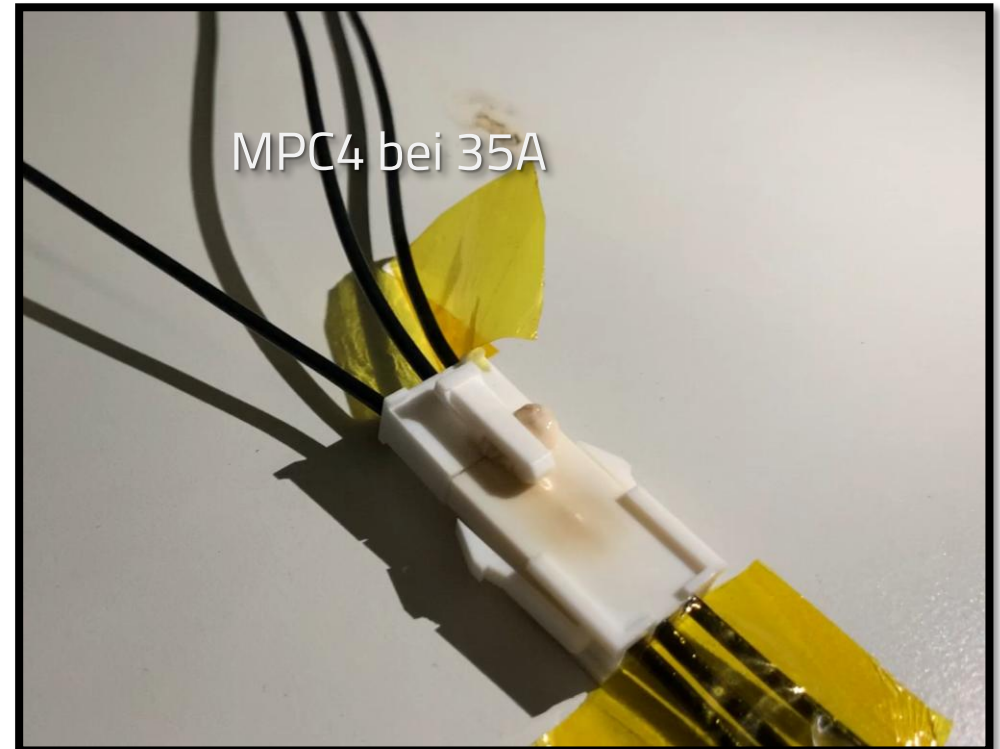
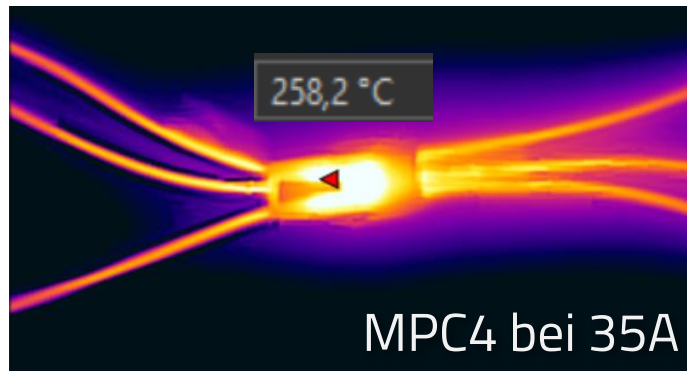
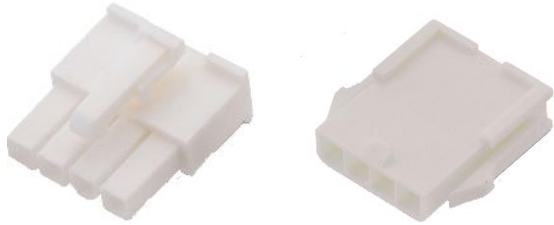


# ÜBERLASTUNG VON STECKVERBINDERN

# ÜBERLASTUNG VON STECKVERBINDERN

Nur die Angaben im Datenblatt sind gültig

- MPC4:
  - Statt 9 A werden 35 A angelegt

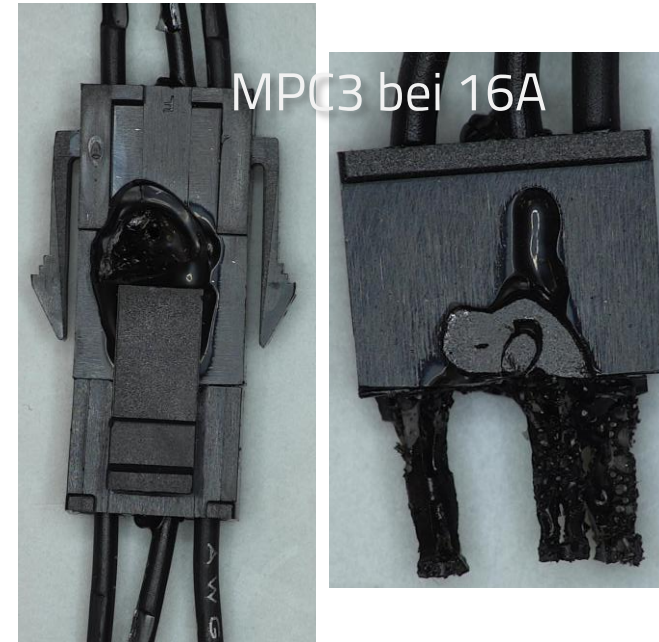


Alle Bilder: WE eiCan

# ÜBERLASTUNG VON STECKVERBINDERN

Nur die Angaben im Datenblatt sind gültig

- MPC3:
  - Statt 5 A werden 16 A angelegt



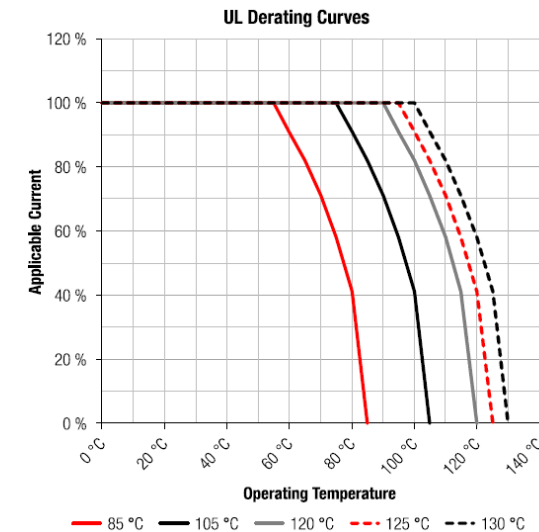
Alle Bilder: WE eiCan

# ZUSAMMENFASSUNG

# ZUSAMMENFASSUNG

- Arbeitsstrom für TBL ist ausgelegt gemäß:
  - UL  $\Delta T \leq 30K$
  - VDE  $\Delta T \leq 45K$
- Mindestleiterlänge 10 cm bei maximalen Leiterquerschnitt
- Derating des Stroms in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \approx \frac{I_1^2}{I_2^2}$$



# ZUSAMMENFASSUNG

Schlussfolgerung



WE eiCan

Wärmeaustausch mit der Umgebung herstellen

