



STECKVERBINDER – TEMPERATURERHÖHUNG & DERATING

Thomas Heß _ Field Application Engineer

EXTERNAL

WÜRTH ELEKTRONIK MORE THAN YOU EXPECT

Agenda

- Aktuelles Design für Steckverbinder
- Einflüsse einer zu hohen Temperatur
- Formeln zur Temperaturänderung
- Möglichkeiten der Wärmeableitung
- Wärmeentwicklung in einem Kabel
- Einige Tricks
- Derating Kurve
- Einschaltstrom (Inrush current)
- Fehlerbilder Steckverbinder
- Zusammenfassung



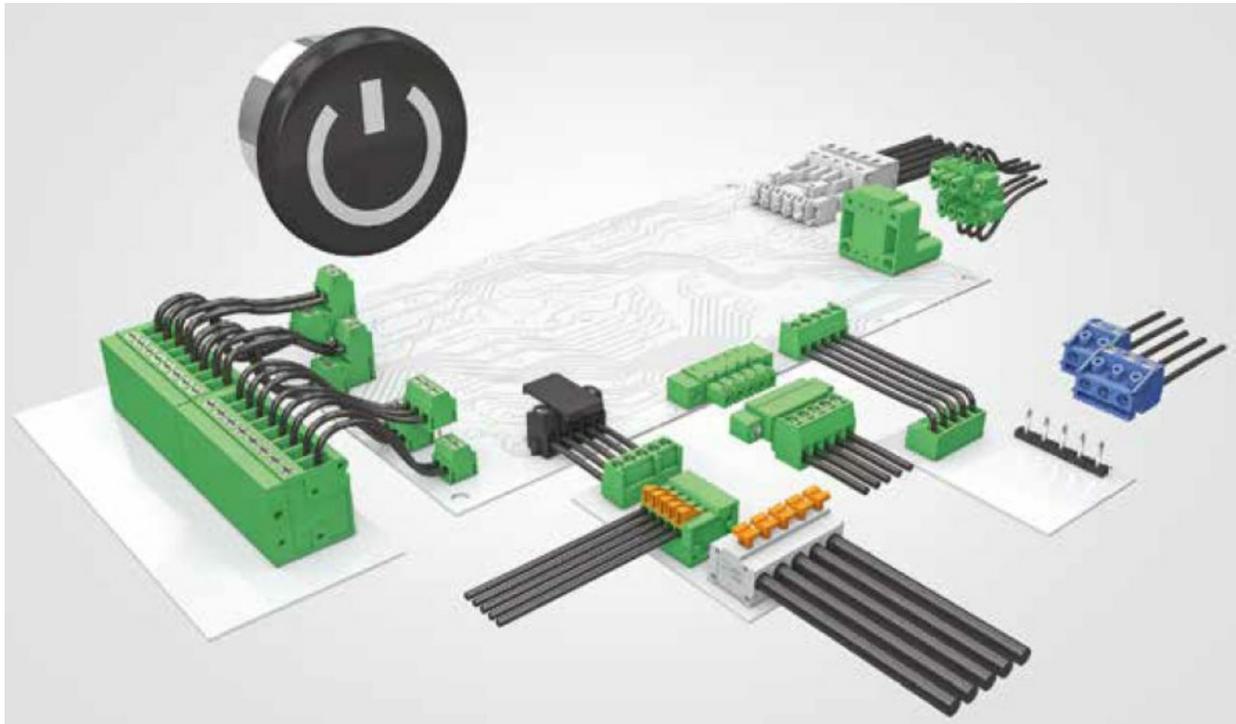


Agenda

- Aktuelles Design für Steckverbinder
- Einflüsse einer zu hohen Temperatur
- Formeln zur Temperaturänderung
- Möglichkeiten der Wärmeableitung
- Wärmeentwicklung in einem Kabel
- Einige Tricks
- Derating Kurve
- Einschaltstrom (Inrush current)
- Fehlerbilder Steckverbinder
- Zusammenfassung



Grundlegende Verwendung eines Steckverbinders



WE eiCan



ENVIRONMENTAL

COMPLIANCE: LEAD FREE AND ROHS

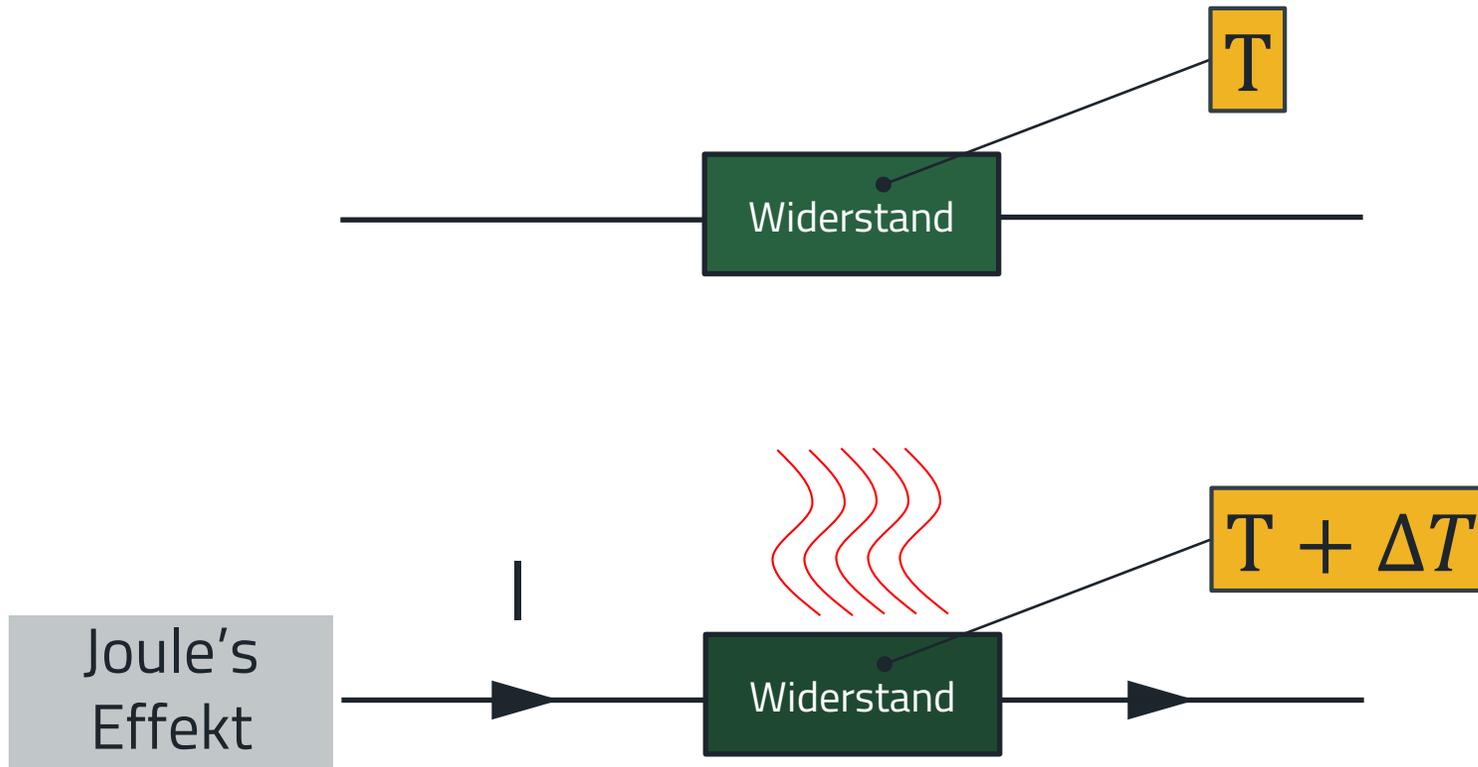
ELECTRICAL

cULus

STRANDED WIRE:

24-12 AWG / 0.205-3.31 MM²

Strom – und Temperaturanstieg



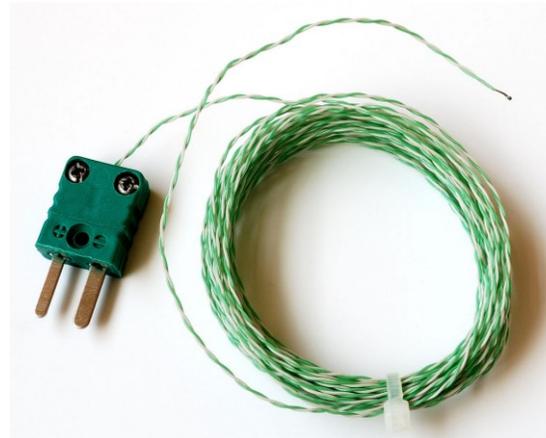
WE eiCan

Wie der Arbeitsstrom bei WE ausgelegt ist

□ Temperaturanstiegstest:

- Standard nach EIA364-70
- 3 polig (gemäß UL1059)
- Arbeitsstrom in Reihenschaltung
- Erreichen einer stabilen Temperatur (3 Messungen a 5 min gleich $\pm 1^\circ\text{C}$ Temperaturänderung)
- **Am heißesten Punkt**
 - **UL: $\Delta T \leq 30\text{K}$** (gemäß UL1059)
 - **VDE: $\Delta T \leq 45\text{K}$** (VDE063)

Thermokoppler



WE eiCan

Klimakammer

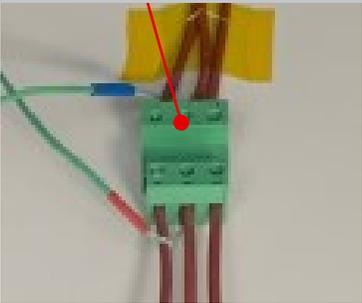


WE eiCan

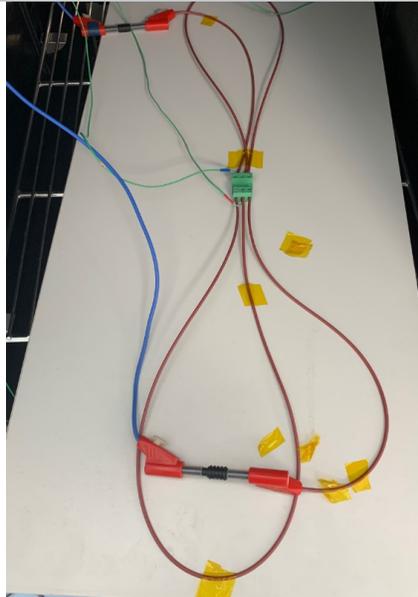
Wie der Arbeitsstrom bei WE ausgelegt ist

■ Testmethode

Heißester Punkt



Verdrahtung



$\Delta T < 30K$ am heißesten Punkt



Sp1

46,5 °C

Umgebung = 21,7 °C

→ $\Delta T = 24,8K$

Agenda

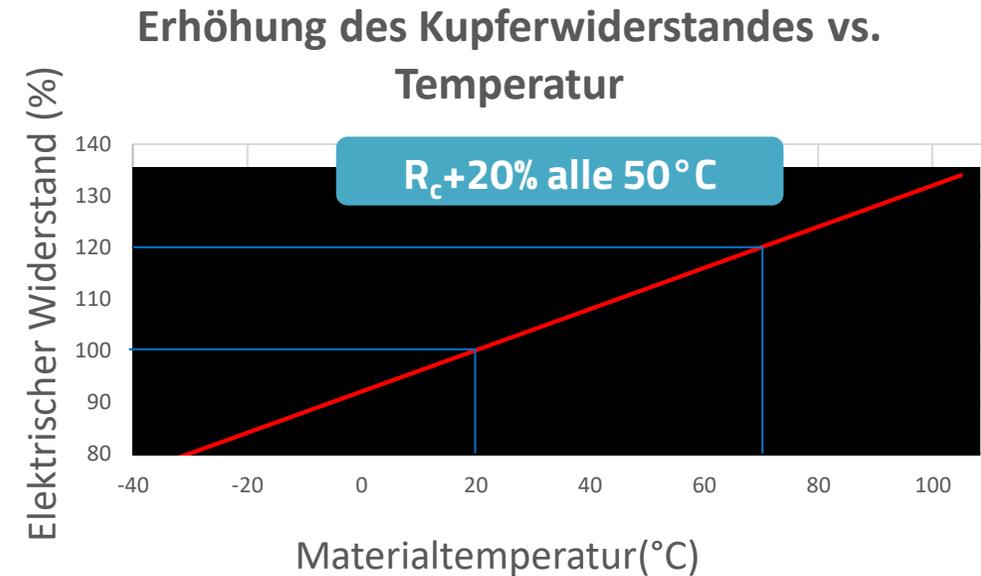
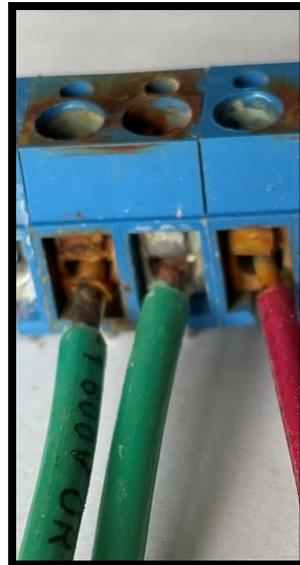
- Aktuelles Design für Steckverbinder
- Einflüsse einer zu hohen Temperatur
- Formeln zur Temperaturänderung
- Möglichkeiten der Wärmeableitung
- Wärmeentwicklung in einem Kabel
- Einige Tricks
- Derating Kurve
- Einschaltstrom (Inrush current)
- Fehlerbilder Steckverbinder
- Zusammenfassung



Temperaturerhöhung und Steckverbinder

Einflüsse von hoher Temperatur

- ❑ Erhöhung der Korrosionsgefahr
- ❑ Natürlicher Anstieg des Übergangswiderstandes

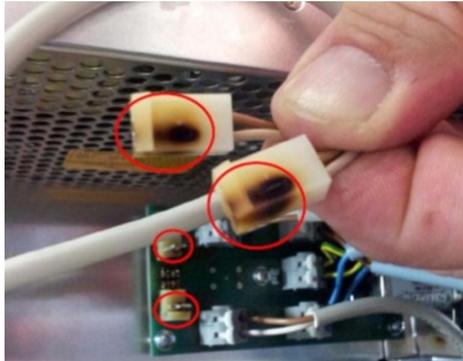


Temperaturerhöhung und Steckverbinder

Einflüsse hoher Temperaturen:

❑ Beschleunigte Kunststoffalterung:

- Farbänderung
- Versprödung



WE eiCan

○ **R**elative **T**hermal **I**ndex

- Mechanische Festigkeit
- Elektrische Eigenschaften

Zur Information – Werte können variieren	Material	RTI (°C) Stärke 1mm
	PA	125
	PC	125
	PBT	130
	FR4 (PCB)	130-150
	PTFE (Teflon)	180
	LCP	220

Temperaturerhöhung und Steckverbinder

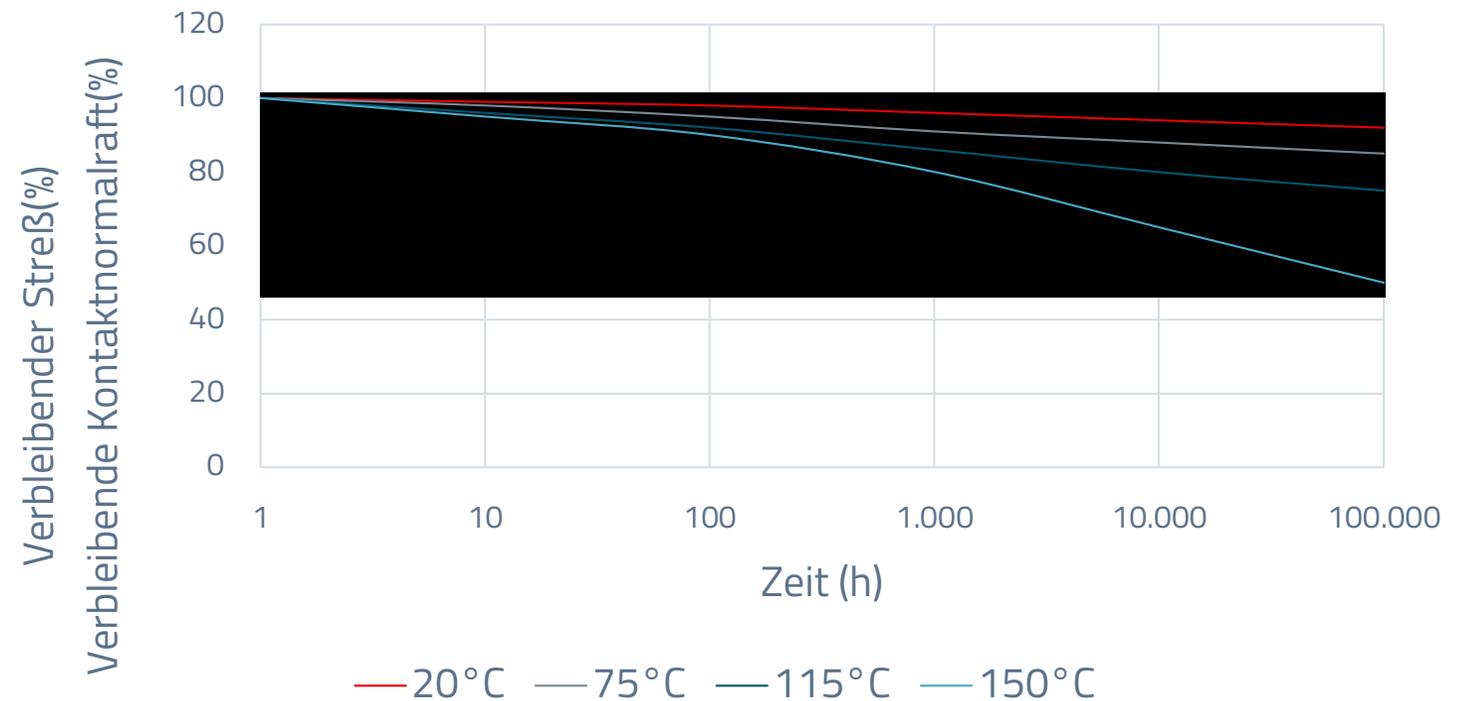
Einflüsse hoher Temperaturen:

- ☐ Metallermüdung (Relaxion)



WE eiCan

Ermüdungsbeispiel Messing

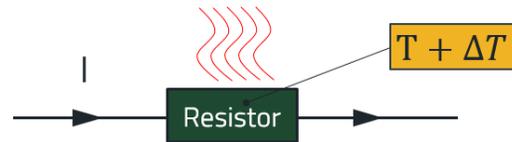


Agenda

- Aktuelles Design für Steckverbinder
- Einflüsse einer zu hohen Temperatur
- Formeln zur Temperaturänderung
- Möglichkeiten der Wärmeableitung
- Wärmeentwicklung in einem Kabel
- Einige Tricks
- Derating Kurve
- Einschaltstrom (Inrush current)
- Fehlerbilder Steckverbinder
- Zusammenfassung



Strom –und Temperaturanstieg



Joule's Gesetz

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

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



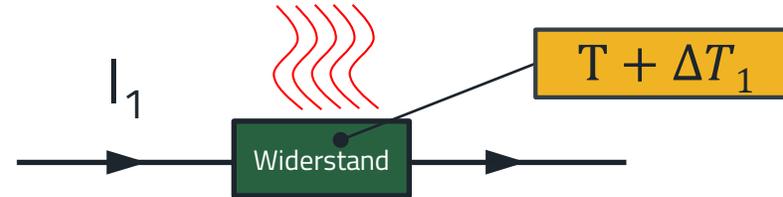
WE eiCan

- P (W): Verlustleistung am Widerstand
- R (Ω)
- I (A)
- ΔT (K): Angaben in der Regel in Kelvin
- k: Materialkonstante und Umwelteinflüsse

Der Temperaturanstieg ist proportional zum Quadrat des Stromes

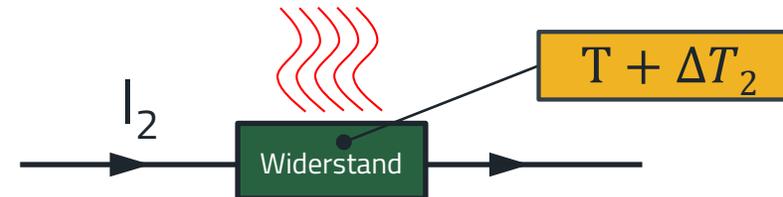
Theoretische Berechnung

Test



$$\Delta T_1 = k \cdot R \cdot I_1^2$$

Frage: ΔT_2 zu I_2 ?



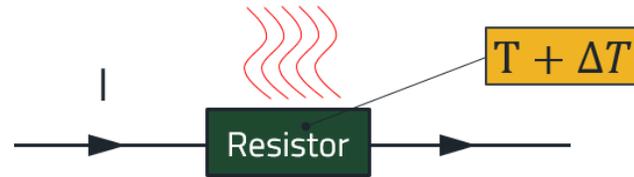
$$\Delta T_2 = k \cdot R \cdot I_2^2$$

Gleiche Konditionen
(Widerstand u. Umgebung)

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{k \cdot R \cdot I_1^2}{k \cdot R \cdot I_2^2}$$

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

Theoretische Berechnung

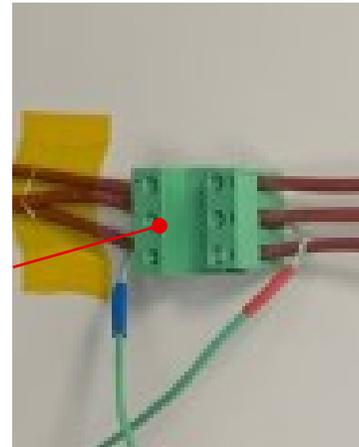


Beispiel:

- Messung: $I_1=15\text{A}$ ergibt $\Delta T_1 \approx 15\text{K}$

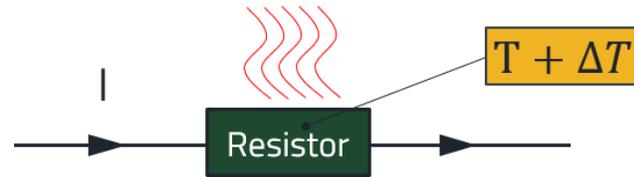
$$\Delta T = k \cdot R \cdot I^2$$

- bei $I_2=30\text{A} \rightarrow \Delta T_2 \approx \frac{30^2}{15^2} \cdot 15 \approx \mathbf{60\text{K}}$



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

Theoretische Berechnung



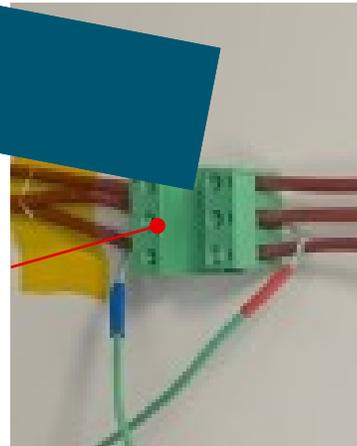
Beispiel:

- Messung: $I_1 = 15\text{A}$ ergibt

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

- bei $I_2 = 30\text{A} \rightarrow \Delta T_2 \approx \frac{30^2}{15^2} \cdot 15 \approx \mathbf{60K}$

Strom x 2 → ΔT x 4

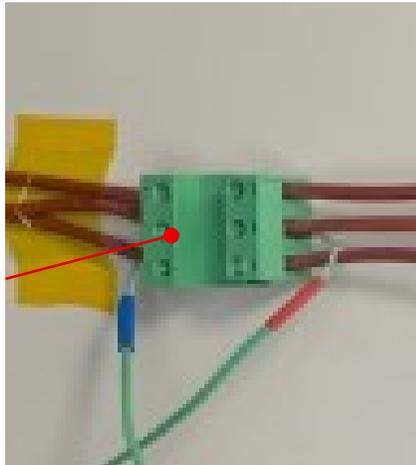


WE eiCan

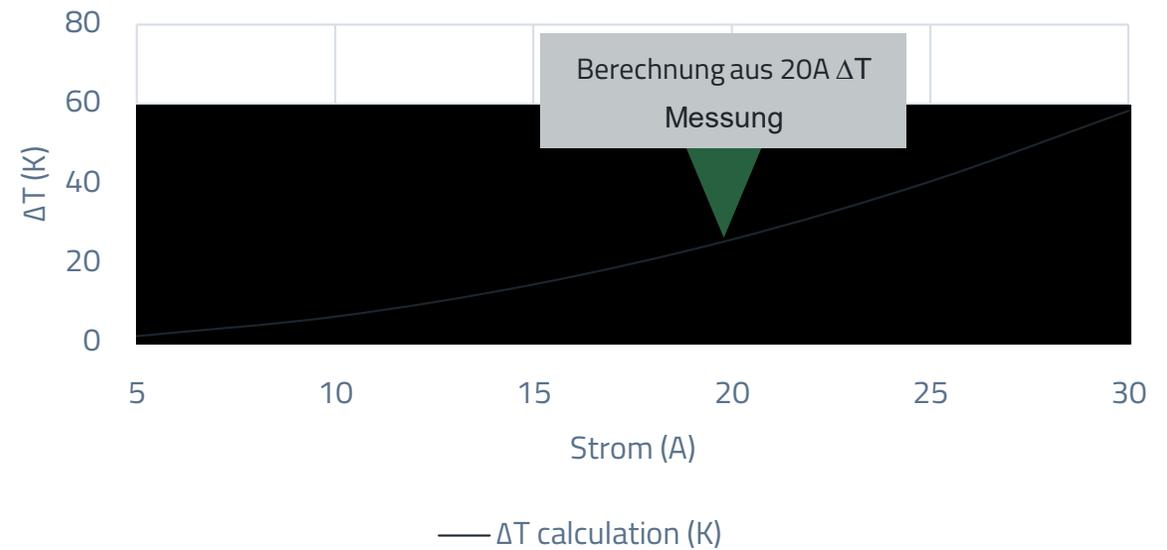
$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \approx \frac{I_1^2}{I_2^2}$$

Theoretische Berechnung: ist das real?

Temperaturanstiegstest
bei 20A

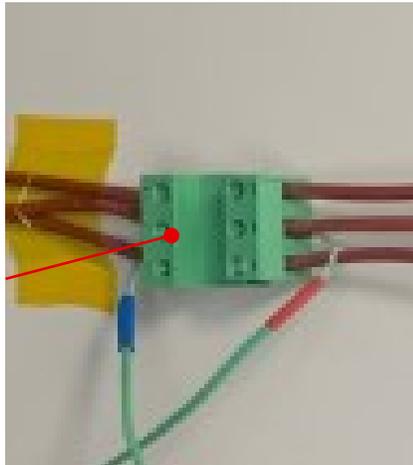


ΔT Berechnung vs. Messung

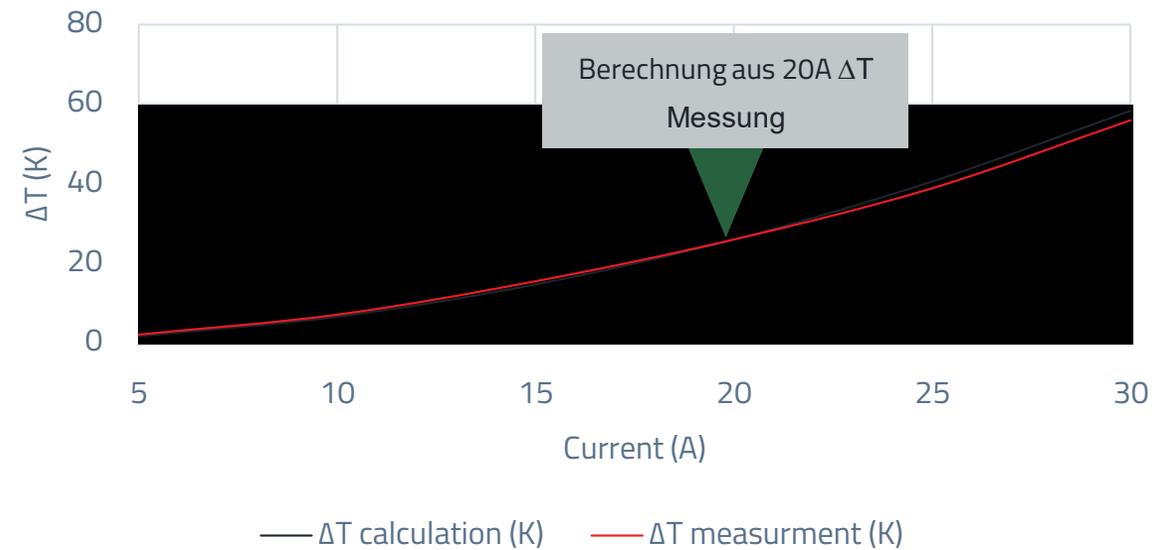


Theoretische Berechnung: ist das real?

Temperaturanstiegstest
bei 20A



ΔT Berechnung vs. Messung



Zusammenfassung

- Jeder bestromte Widerstand erzeugt Wärme
- Arbeitsstrom ist definiert durch:
 - UL $\Delta T \leq 30K$
 - VDE $\Delta T \leq 45K$
- Respektiere die maximale Arbeitstemperatur

Der Temperaturanstieg ist proportional zum Quadrat des Stroms

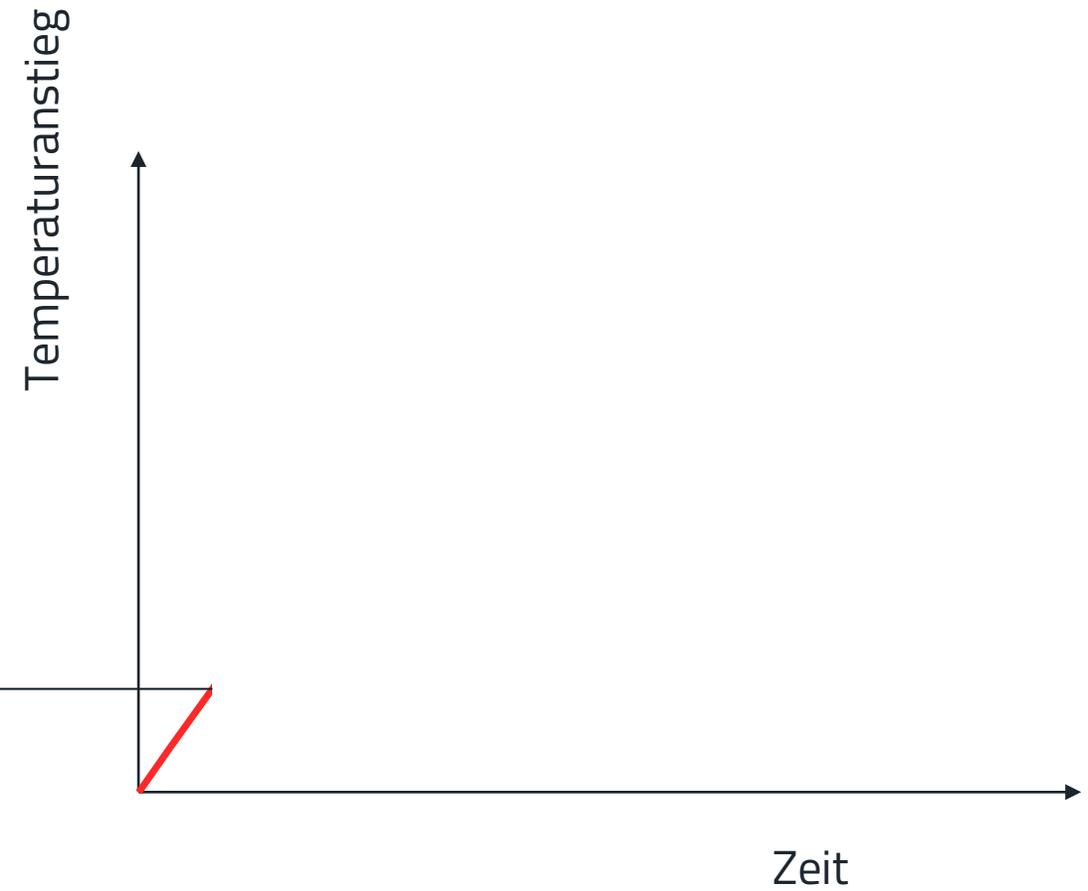
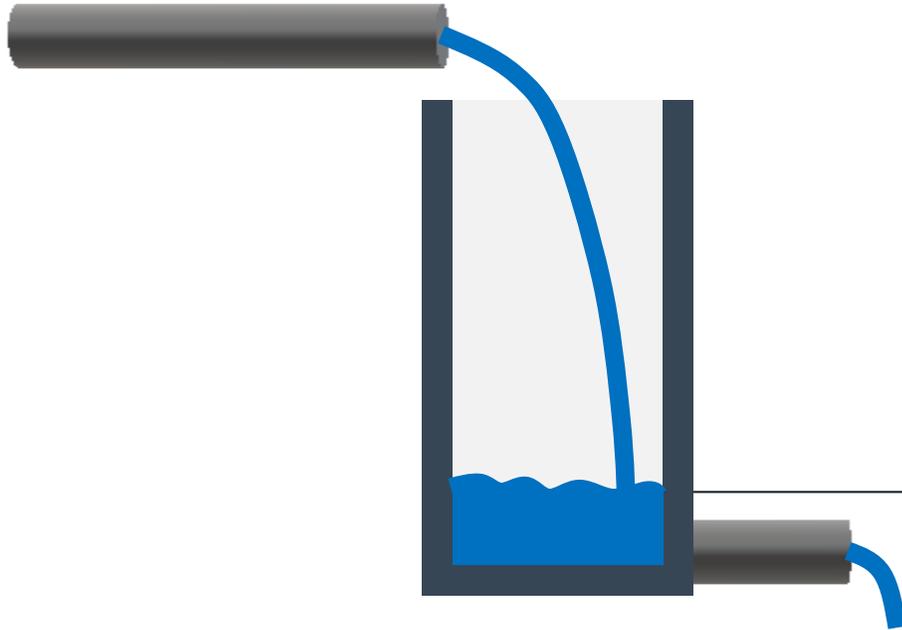
Agenda

- Aktuelles Design für Steckverbinder
- Einflüsse einer zu hohen Temperatur
- Formeln zur Temperaturänderung
- Möglichkeiten der Wärmeableitung
- Wärmeentwicklung in einem Kabel
- Einige Tricks
- Derating Kurve
- Einschaltstrom (Inrush current)
- Fehlerbilder Steckverbinder
- Zusammenfassung



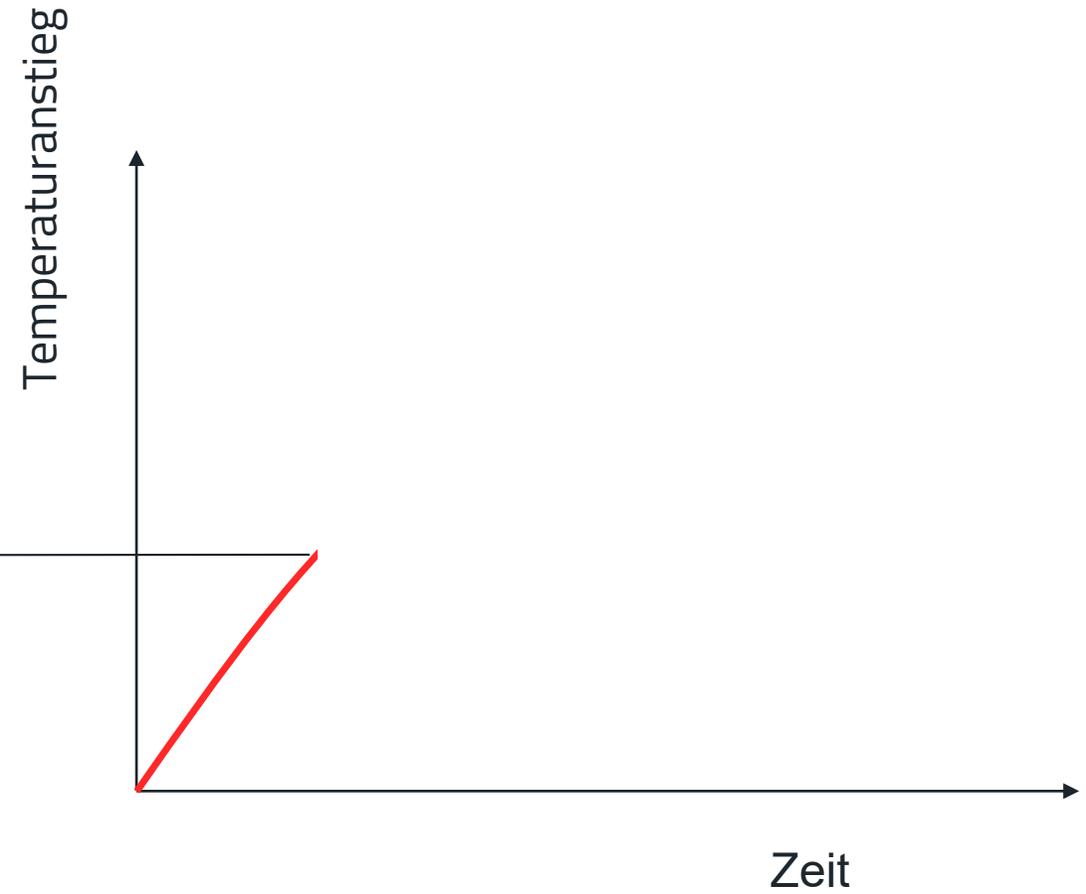
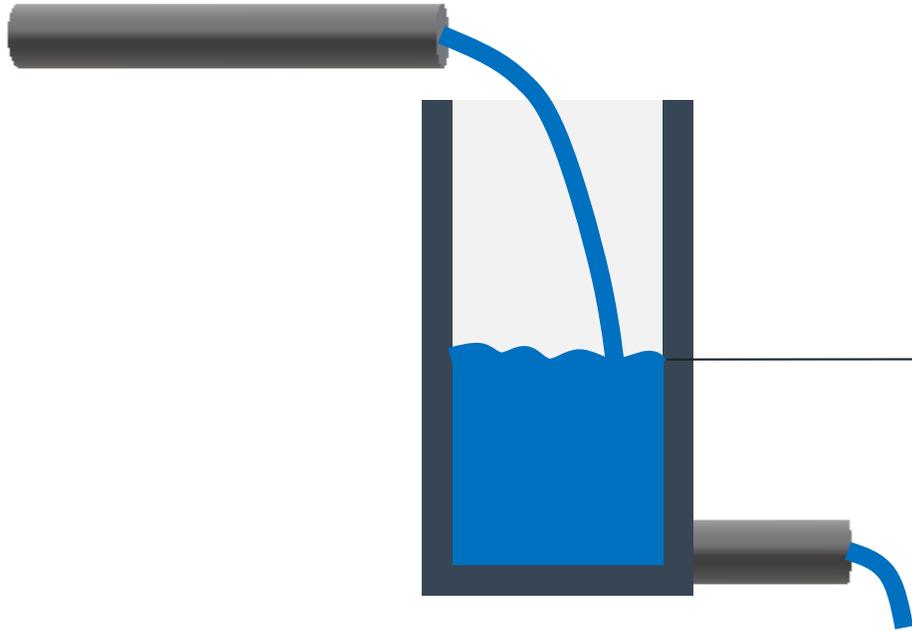
Wie verteilt sich die Wärme (ΔT)

Temperaturanstieg analog
Tankfüllung



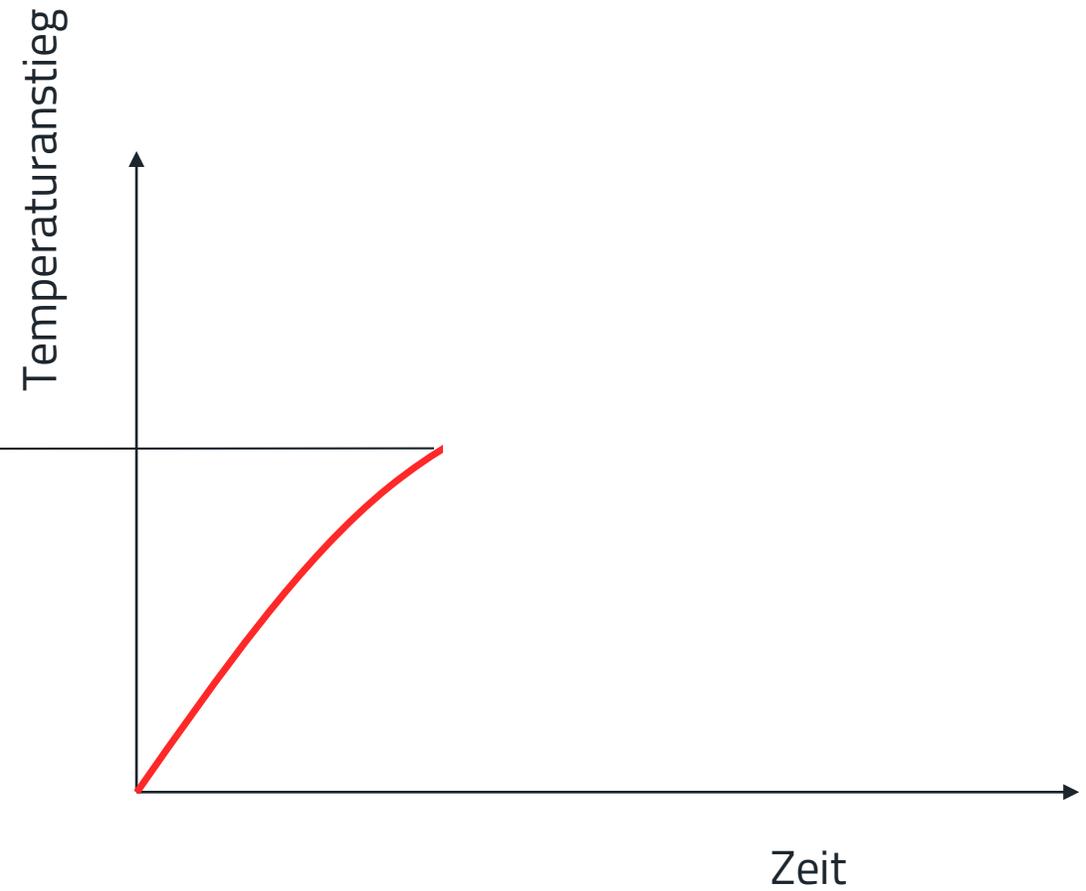
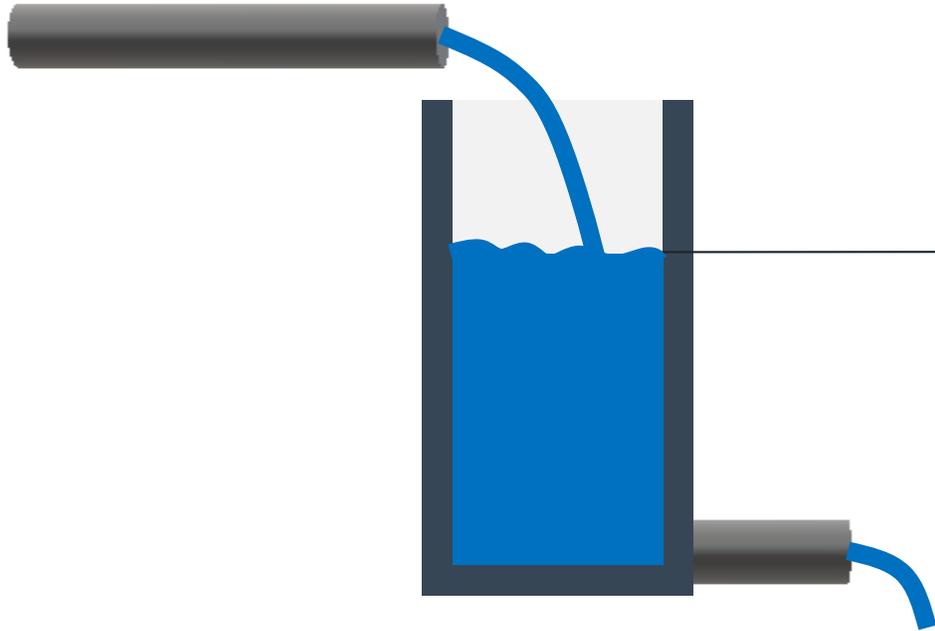
Wie verteilt sich die Wärme (ΔT)

Temperaturanstieg analog
Tankfüllung



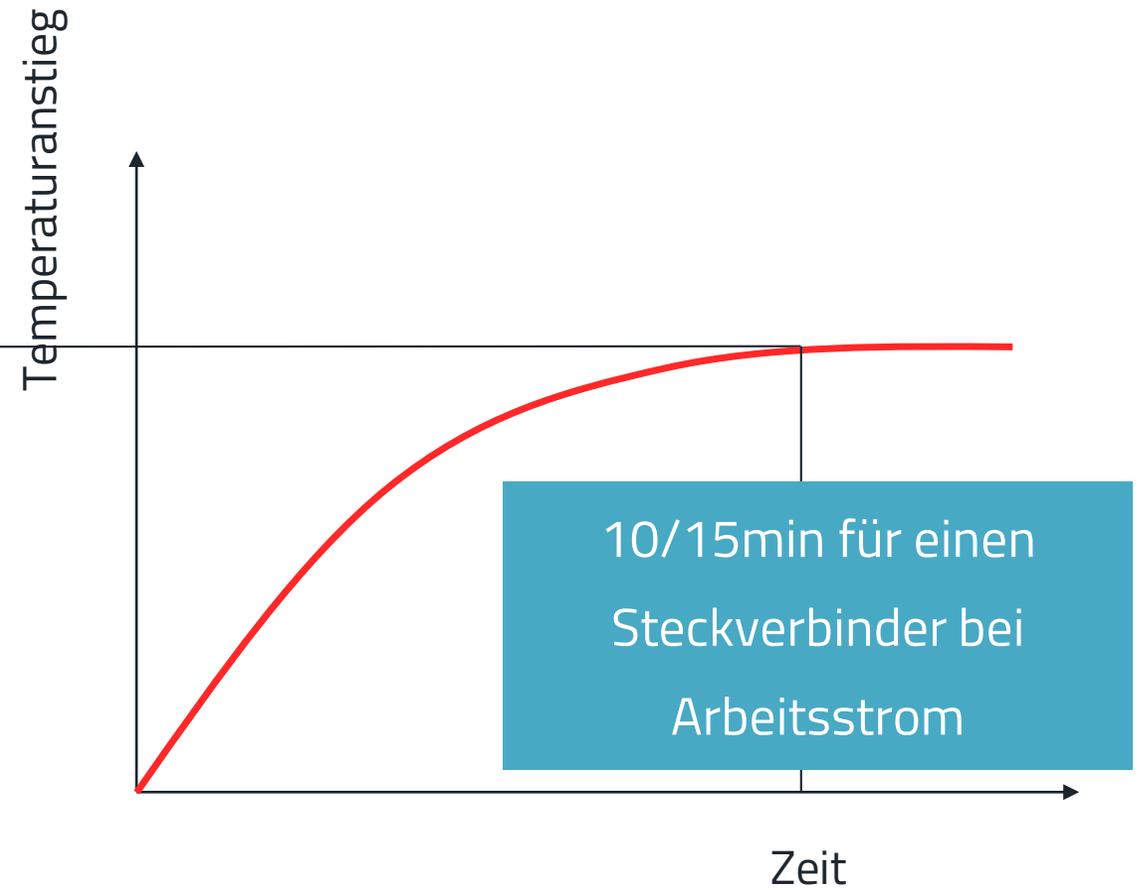
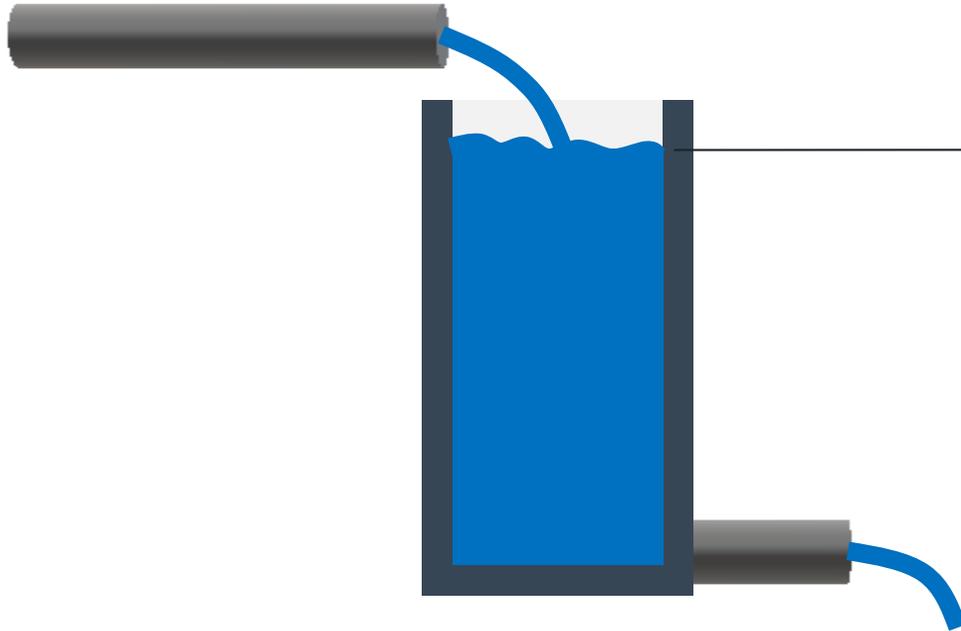
Wie verteilt sich die Wärme (ΔT)

Temperaturanstieg analog
Tankfüllung



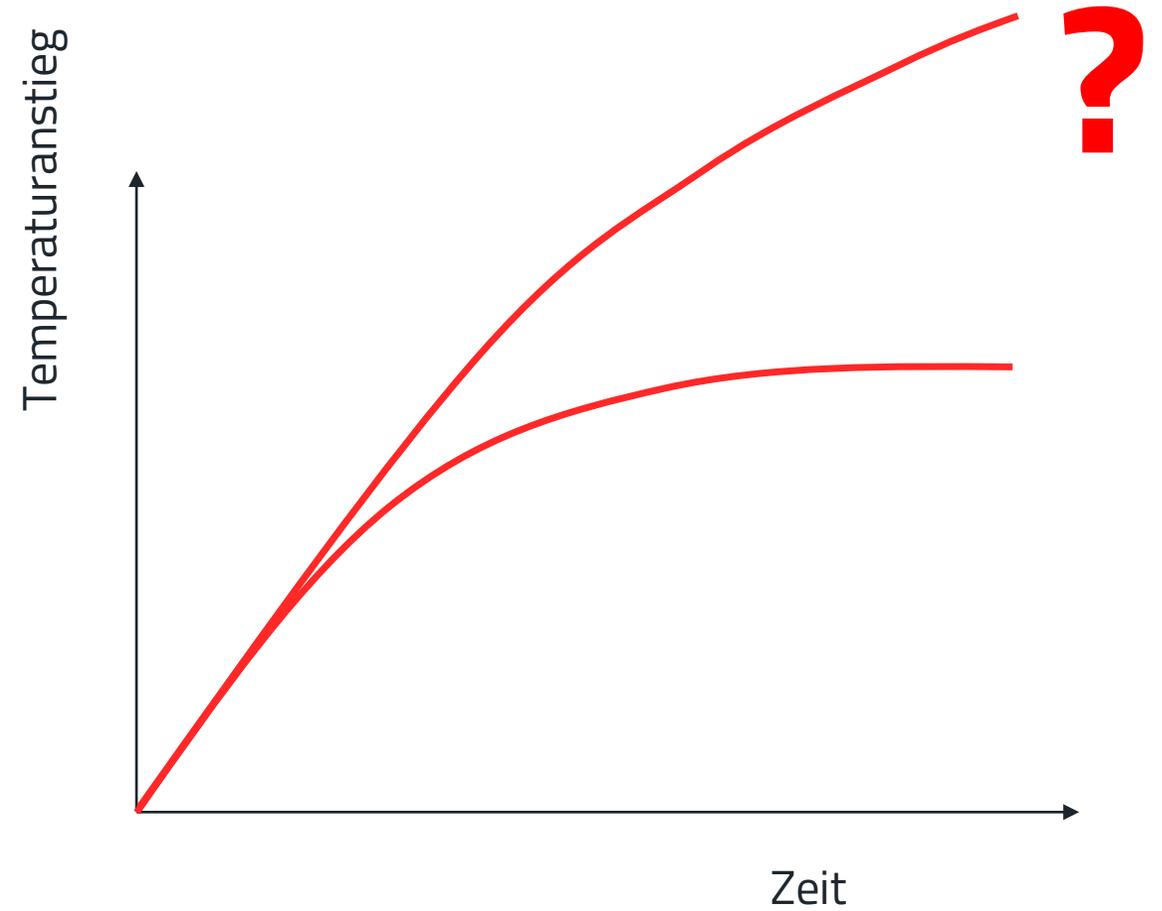
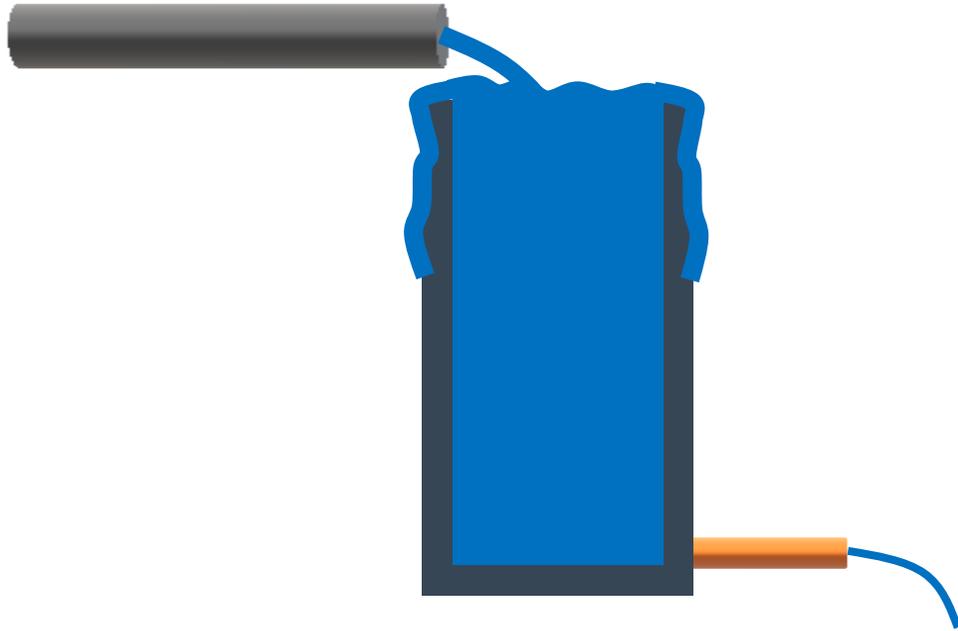
Wie verteilt sich die Wärme (ΔT)

Temperaturanstieg analog
Tankfüllung

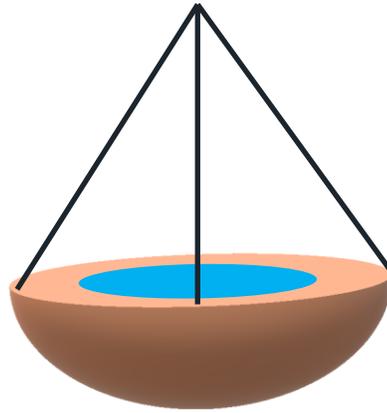


Wie verteilt sich die Wärme (ΔT)

Temperaturanstieg analog
Tankfüllung



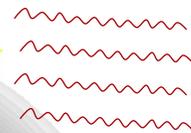
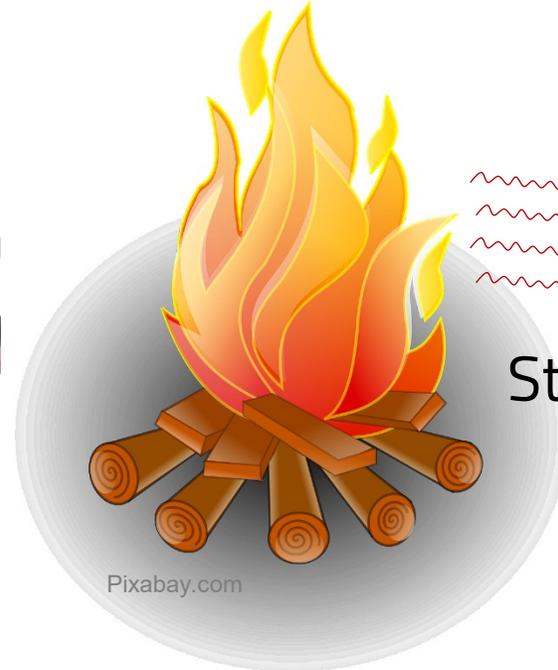
Wie verteilt sich die Wärme (ΔT)



Konvektion



Wärmeleit

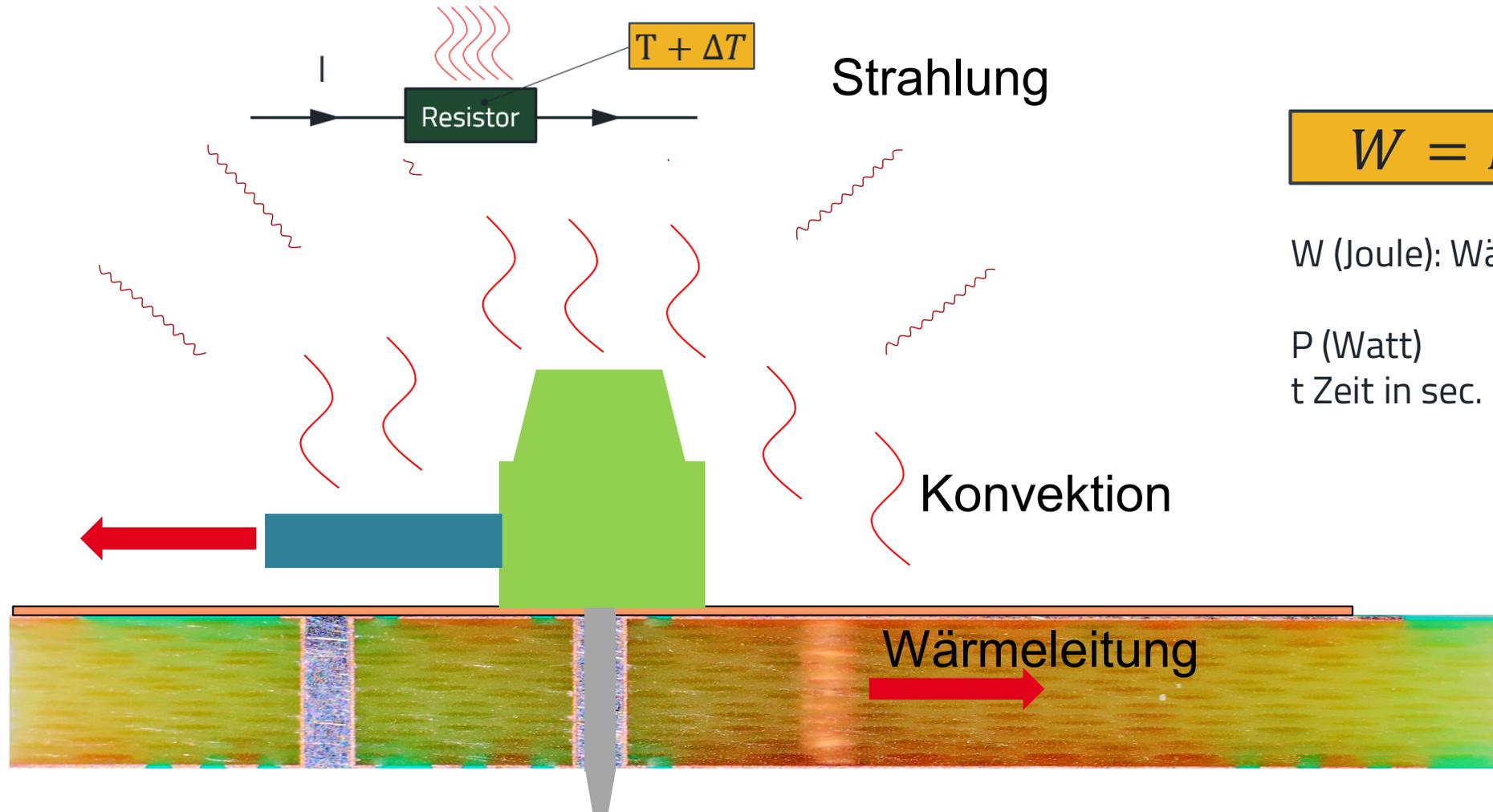


Strahlung



WE eiCan

Wie verteilt sich die Wärme (ΔT)



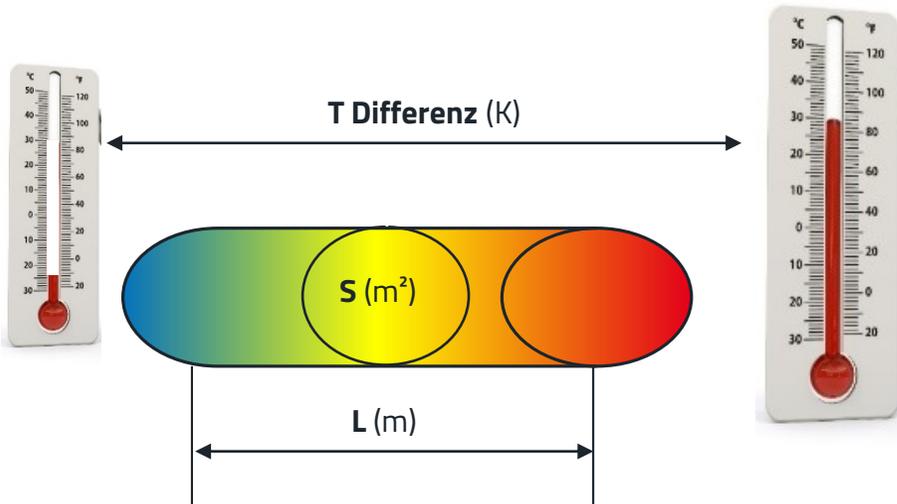
$$W = P \cdot t$$

W (Joule): Wärmeenergie

P (Watt)
t Zeit in sec.

Wärmeleitung

Fourier's Gesetz



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

Zur Information – Werte können variieren

	Material	Therm. Leitfähigkeit λ (Wm ⁻¹ K ⁻¹)
Metall	Kupfer	380
	Aluminum	220
	Messing	120
Plastik	Glas	0,8
	Wasser	0,6
	LCP	0,5
	PBT	0,33
	FR4	0,3
	Polyamide	0,25
	PTFE (Teflon)	0,25
	PC	0,2
	Luft	0,025

Wärmeleitungseffekt

Wärmeleitung

Fourier's Gesetz

T Differenz (K)

L (m)

S (m²)

önnen variieren

Zur Info

1. Kupfer hat höchste Wärmeleitfähigkeit
2. Je größer der Kupferquerschnitt desto besser
3. Kunststoff hat eine schlechte Wärmeleitfähigkeit

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

	Material	Therm. Leitfähigkeit λ (Wm ⁻¹ K ⁻¹)
Metall	Kupfer	380
	Aluminium	220
	Messing	100
Kunststoff	Polystyrol	0,03
	Polyamide	0,25
	PTFE (Teflon)	0,25
	PC	0,2
	Luft	0,025

Wärmeleitungseffekt

Konvektion

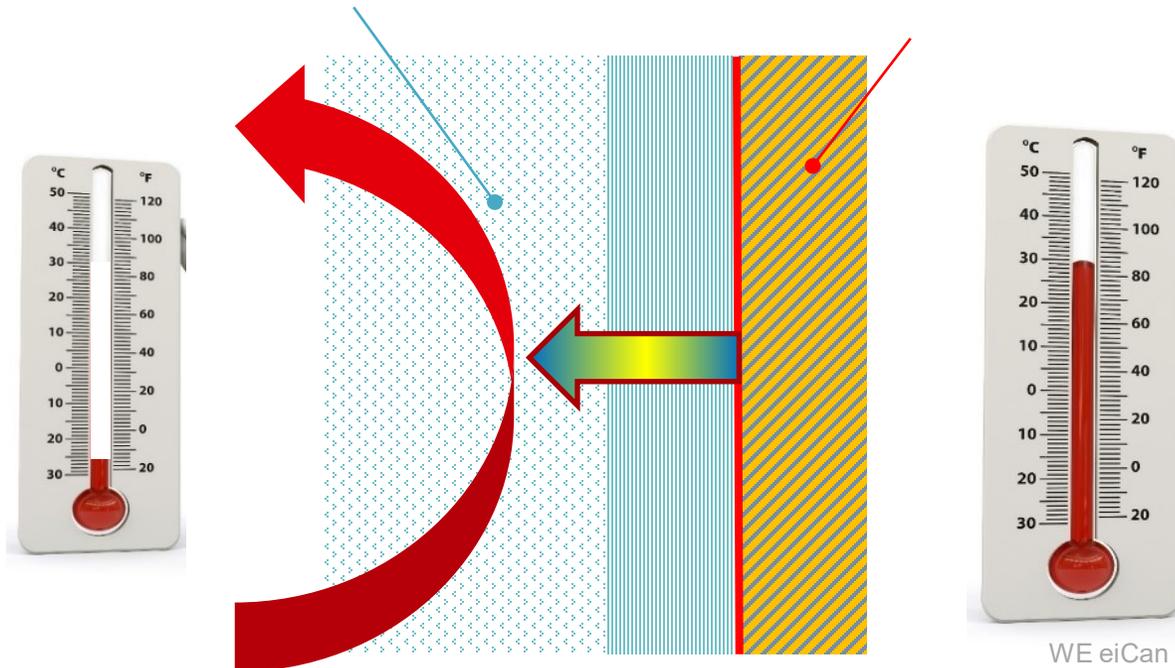
Luftbewegung:
Temperatur T_f (m^2)

Feste Oberfläche:
• Temperatur T_p (K)
• Oberfläche S (m^2)

Newton's Gesetz

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

Φ : Wärmefluss(W)
 h : Konvektionskoeffizient($W/K^{-1}/m^{-2}$)



Konvektion

Luftbewegung:
Temperatur T_f (m²)

Feste Oberfläche:
• Temperatur T_p (K)
• Oberfläche S (m²)

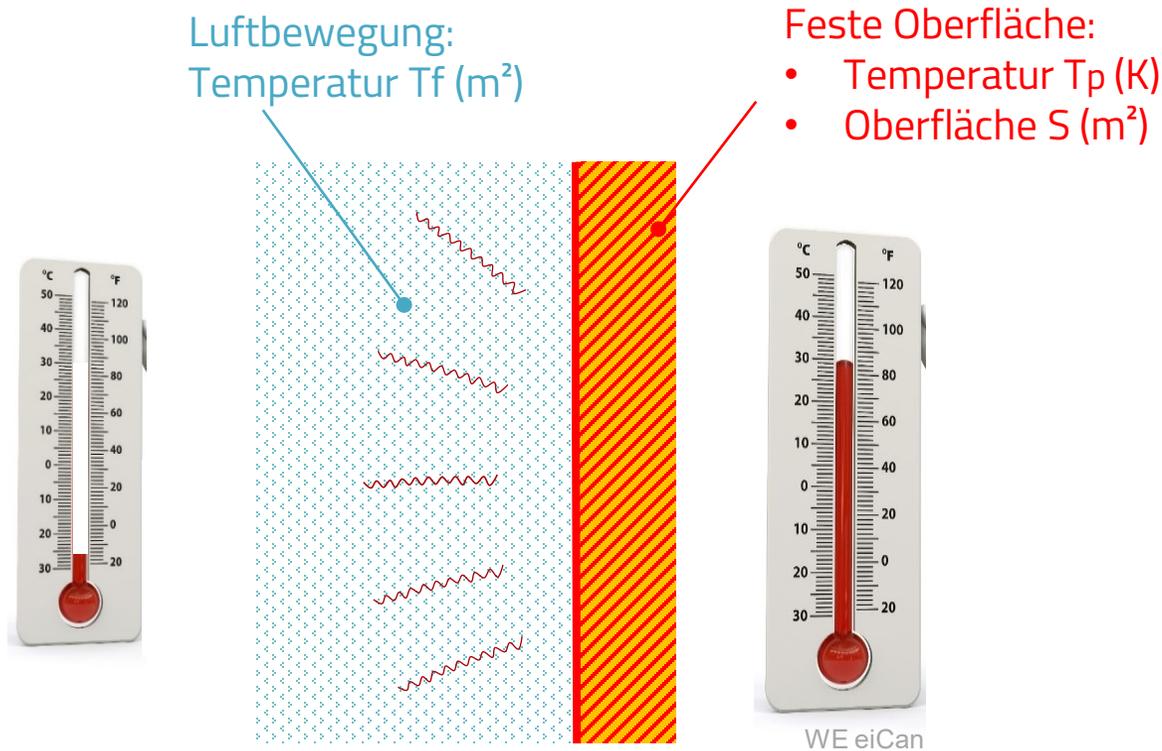
Newton's Gesetz

$$\cdot S(T_p - T_f)$$

1. Eine größere Oberfläche in Kontakt mit der Luft erhöht die Wärmeableitung

Φ : Wärmefluss(W)
 h : Konvektionskoeffizient(W/K⁻¹/m⁻²)

Strahlung



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

Φ : Wärmefluss (W)

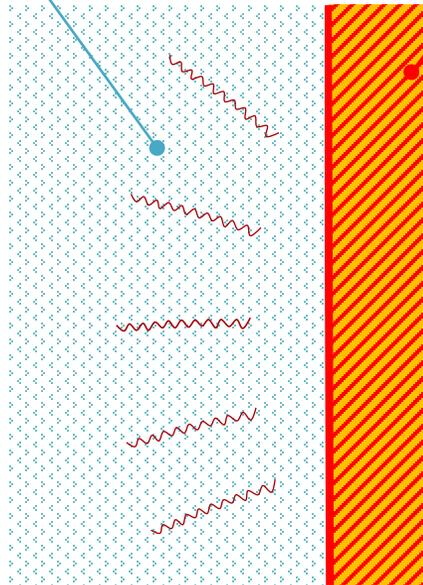
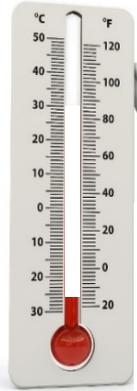
ε : Oberflächenemissionsfaktor

σ : Boltzmann Konstante $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.K}^4 \cdot \text{m}^{-2}$

WE eiCan

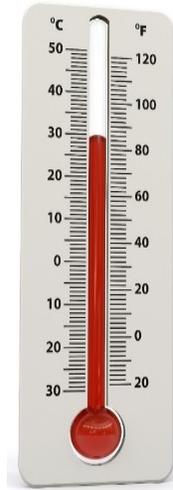
Strahlung

Luftbewegung:
Temperatur T_f (m²)



Feste Oberfläche:

- Temperatur T_p (K)
- Oberfläche S (m²)



WE eiCan

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

Zur Information – Werte
können variieren

Material	ε (max=1)
Kunststoff	0,85 < ε < 0,95
FR4 (<i>dunkel, matte Oberfläche</i>)	0,85
Aluminum eloxiert	0,55
Kupfer oxidiert	0,55
Aluminum poliert	0,05
Kupfer poliert	0,05



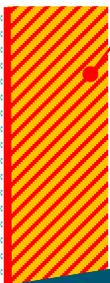
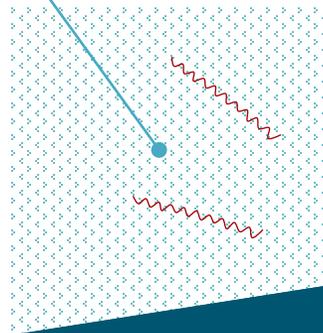
WE eiCan

Strahlung

Luftbewegung:
Temperatur T_f (m²)

Feste Oberfläche:
 • Temperatur T_p (K)
 • Oberfläche S (m²)

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



Material	ε (max=1)
Kunststoff	0,95
poliert	0,05

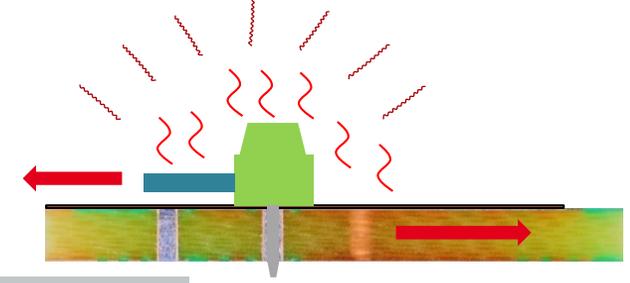


1. Die Strahlungsableitung von Kunststoff ist sehr viel besser als die von Metall

2. Unpoliertes Metall ist viel besser als poliertes

WE eiCan

Zusammenfassung



- Ein elektrisches System **muss** einen Wärmeaustausch haben
- Unter Strom sollte sich die Temperatur nach 10-15 Minuten stabilisieren

➤ Strahlung:

- Kunststoff besser als Metall
- Raue Oberfläche besser als poliert

- Konvektion: Oberfläche in Kontakt mit Luft

➤ Wärmeleitung:

- Kupfer ist das beste Metall für die Wärmeableitung
- Erhöhung der Fläche optimiert den Wärmeaustausch

Agenda

- Aktuelles Design für Steckverbinder
- Einflüsse einer zu hohen Temperatur
- Formeln zur Temperaturänderung
- Möglichkeiten der Wärmeableitung
- **Wärmeentwicklung in einem Kabel**
- Einige Tricks
- Derating Kurve
- Einschaltstrom (Inrush current)
- Fehlerbilder Steckverbinder
- Zusammenfassung



Welches Kabel für welchen Strom?

UL486		
Wire size (AWG)	Wire size (mm ²)	Current (A)
24	0,2	2
22	0,32	3
20	0,52	5
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

Tabelle 1

IEC60998-1	
Wire size (mm ²)	Current (A)
0,2	4
0,34	5
0,5	6
0,75	9
1	13,5
1,5	17,5
2,5	24
4	32
6	41
10	57
16	76

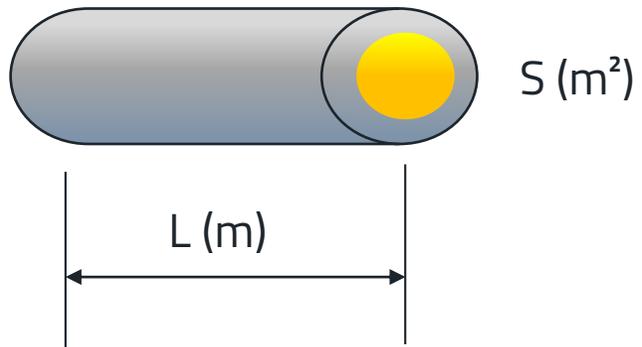
Tabelle 2

VDE0100-100	
Wire size (mm ²)	Current (A)
0,75	15
1	19
1,5	24
2,5	32
4	42
6	54
10	73
16	98

Tabelle 3

Berechnung des Drahtwiderstands

Berechnung Drahtwiderstand



$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

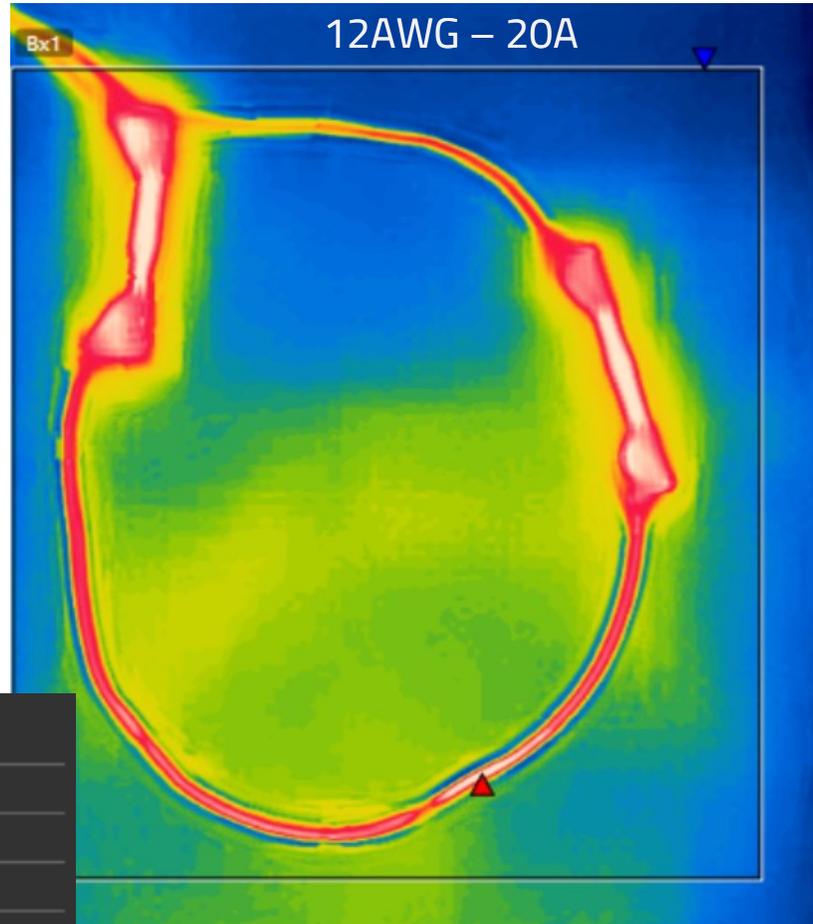
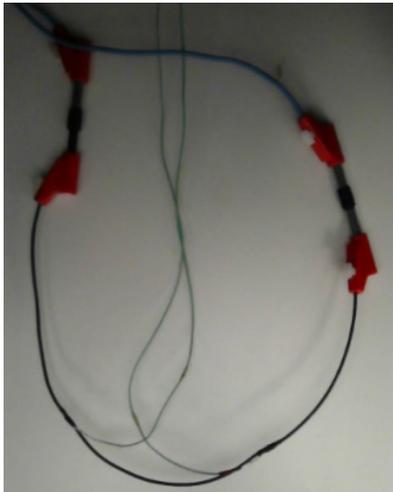
R : Widerstand (Ω)

ρ : Materialwiderstand ($\Omega \cdot m$)

Wie hoch ist der Temperaturanstieg in Leitern?

Test: **AWG**

- ΔT bei 50cm Leiter
- 2 Thermokoppler am Leiter befestigt



Mesures

Bx1	Max	34,7 °C
	Min	23,5 °C
	Average	25,2 °C

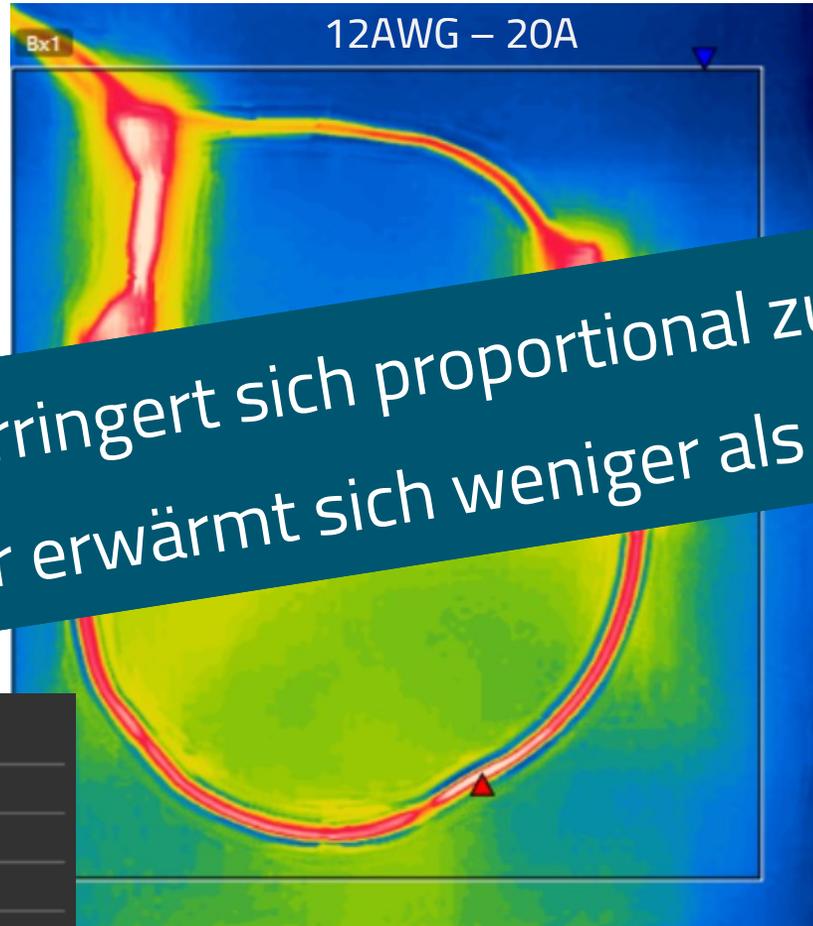
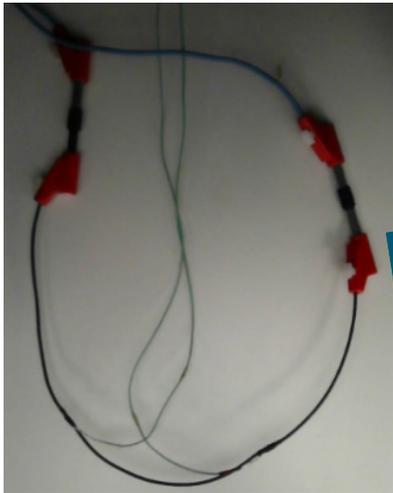
Wire size (AWG)	Current (A)	ΔT (K)
20	5	5
18	7	6
16	10	7
14	15	10
12	20	11
10	30	16
8	50	20
6	65	20

All pictures: WE eiCan

Wie hoch ist der Temperaturanstieg in Leitern?

Test: **AWG**

- ΔT bei 50cm Leiter
- 2 Thermokoppler am Leiter befestigt



1. ΔT verringert sich proportional zum Leiterquerschnitt
 2. Leiter erwärmt sich weniger als Stecker ($\Delta T < 30K$)

Mesures		
Bx1	Max	34,7 °C
	Min	23,5 °C
	Average	25,2 °C

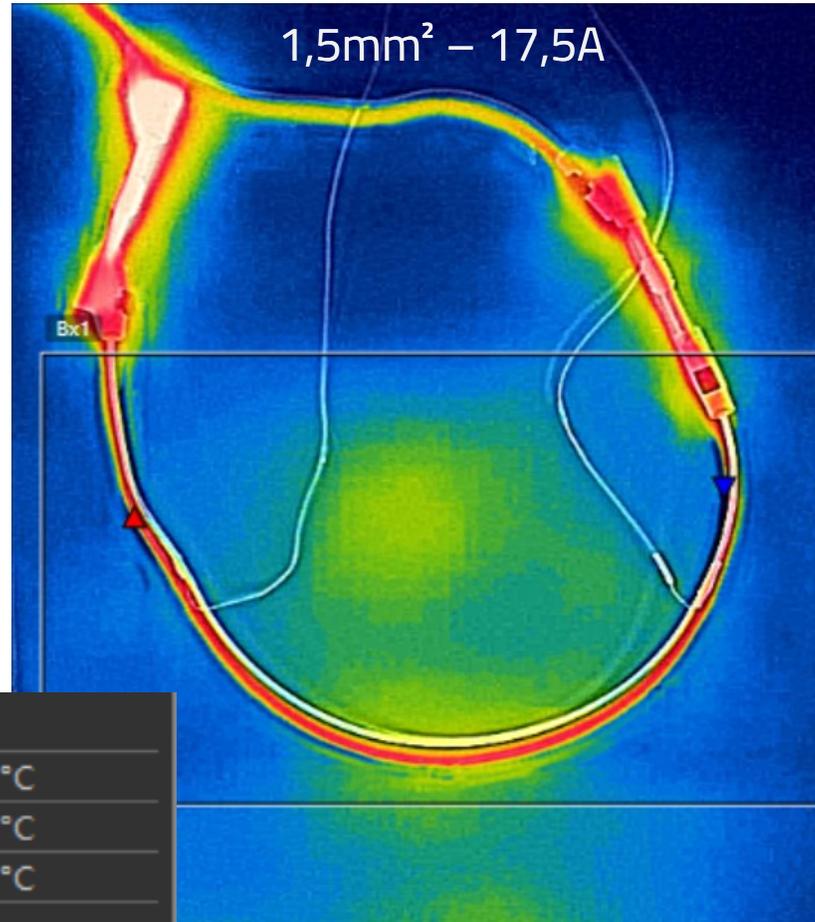
Wire size (AWG)	Current (A)	ΔT (K)
14	15	5
12	20	6
10	30	7
8	50	10
6	65	11
6	65	16
6	65	20

All pictures: WE eiCan

Wie hoch ist der Temperaturanstieg in Leitern?

Test: **mm²**

- ΔT bei 50cm Leiter
- 2 Thermokoppler am Leiter befestigt



Mesures		
Bx1	Max	32,5 °C
	Min	16,1 °C
	Average	19,8 °C

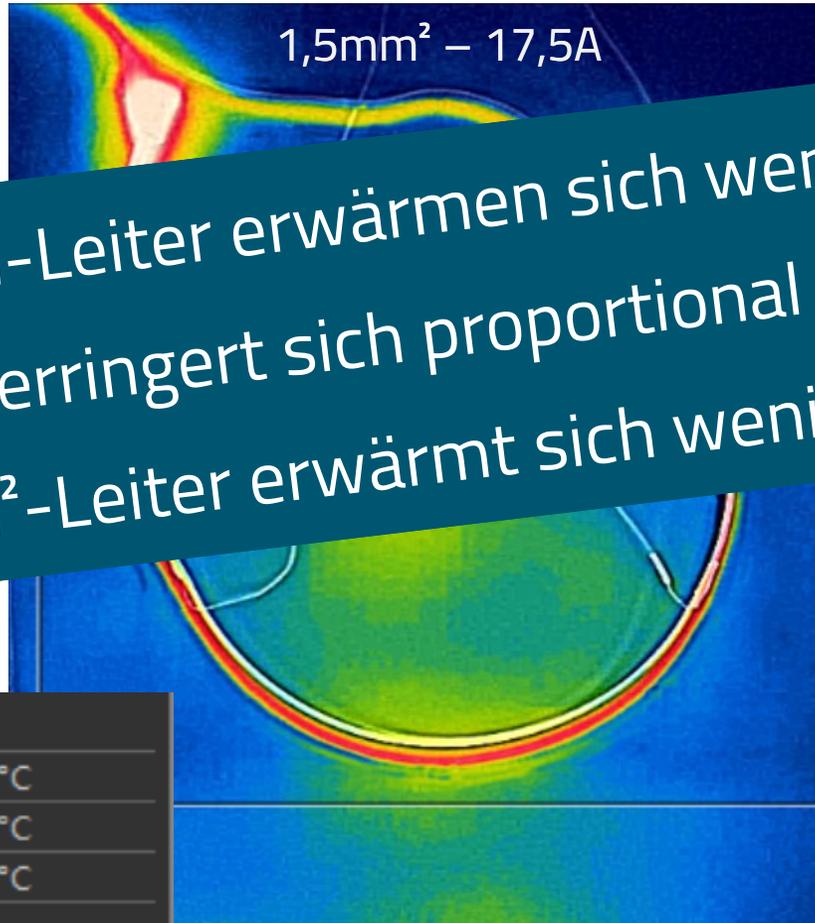
Wire size (mm ²)	Current (A)	ΔT (K)
0,2	4	8
0,5	6	7
0,75	9	10
1	13,5	15
1,5	17,5	17
2,5	24	18
4	32	19
6	41	18
10	57	18
16	76	18

All pictures: WE eiCan

Wie hoch ist der Temperaturanstieg in Leitern?

Test: **mm²**

- ΔT bei 50cm Leiter
- 2 Thermokoppler am Leiter befestigt



1. AWG-Leiter erwärmen sich weniger als mm²-Leiter
2. ΔT verringert sich proportional zum Leiterquerschnitt
3. mm²-Leiter erwärmt sich weniger als Stecker ($\Delta T < 45K$)

Wire size

Wire size	Current	Temperature
1,5	17,5	17
2,5	24	18
4	32	19
6	41	18
10	57	18
16	76	18

Mesures

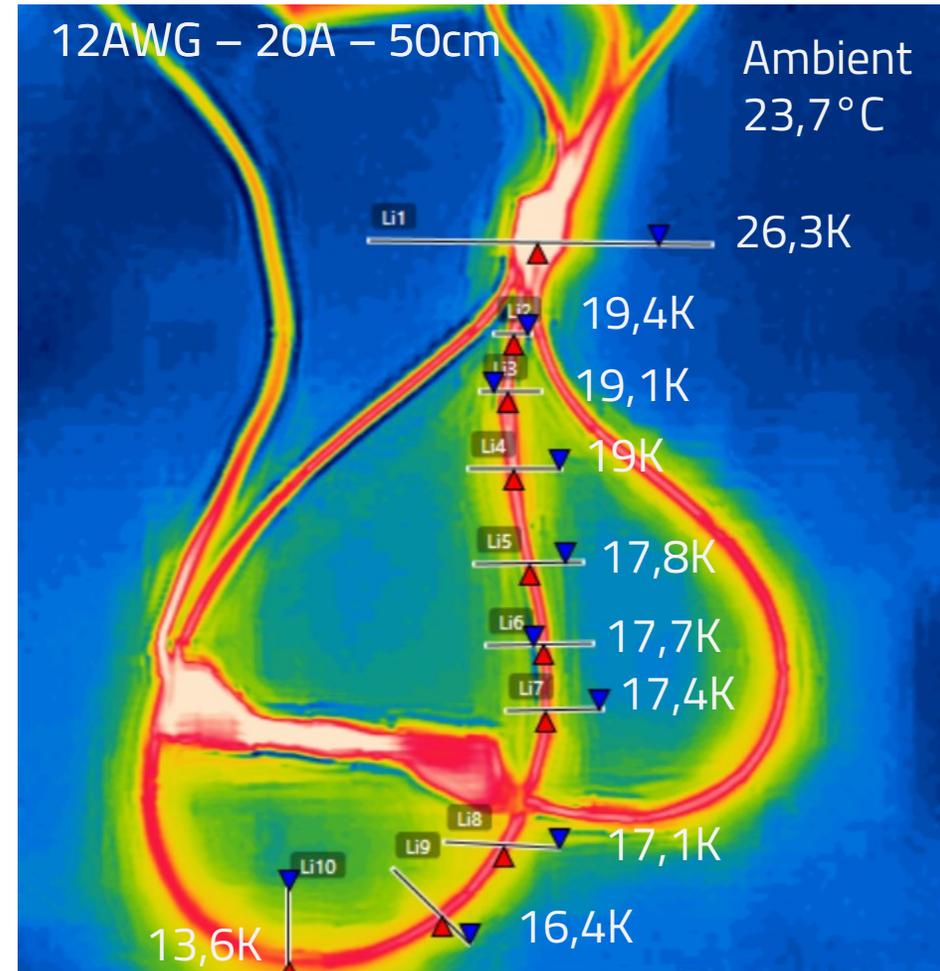
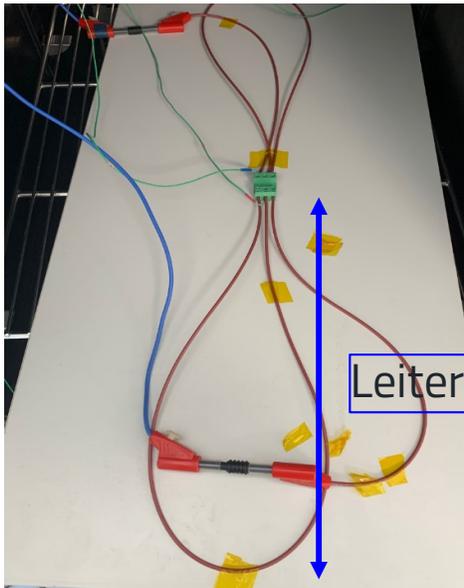
Bx1	Max	32,5 °C
	Min	16,1 °C
	Average	19,8 °C

All pictures: WE eiCan

Leiter-Wärmeableitung: die richtige Länge?

Test:

- ΔT 12AWG-20A
- TBL Stecker 3 polig; RM 7,62
- Unterschiedliche Leiterlängen
- 2 Thermokoppler in 2 TBL Klemmen



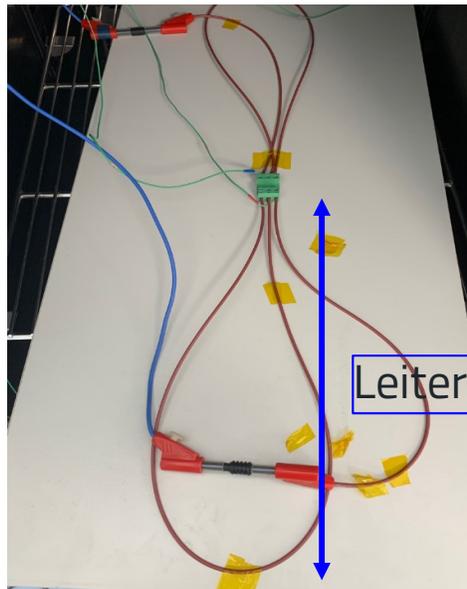
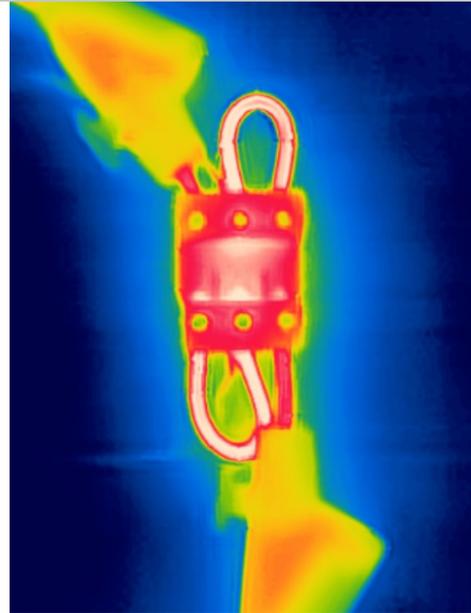
All pictures: WE eiCan

Leiter-Wärmeableitung: die richtige Länge?

Test:

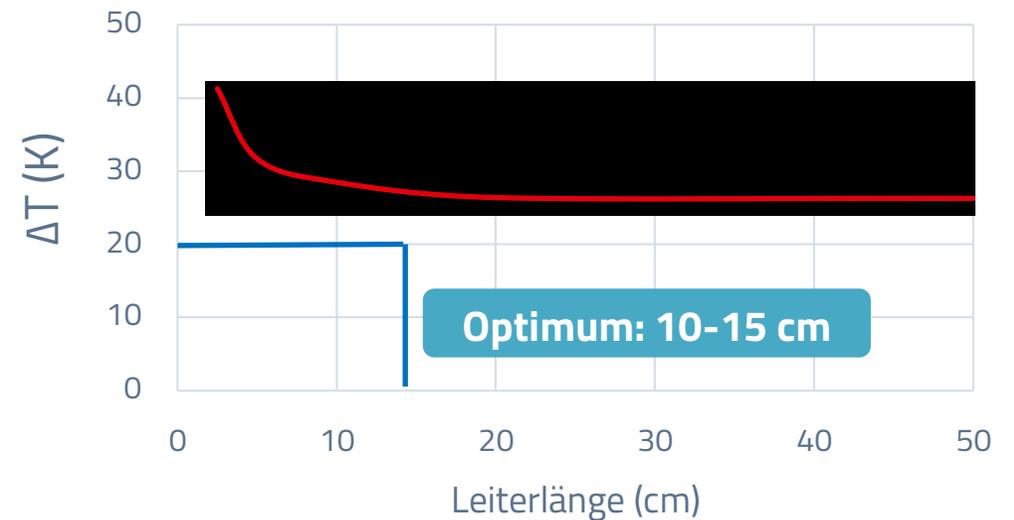
- ΔT 12AWG-20A
- TBL Stecker 3 polig; RM 7,62
- Unterschiedliche Leiterlängen
- 2 Thermokoppler in 2 TBL Klemmen

12AWG – 20A – 2,5cm



Leiterlänge

Stecker ΔT vs. Leiterlänge



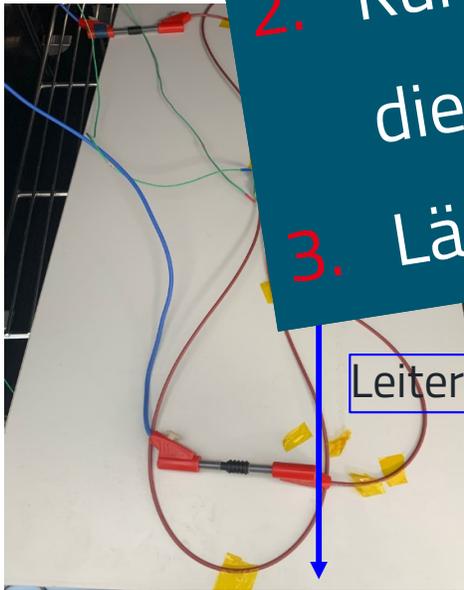
All pictures: WE eiCan

Leiter-Wärmeableitung: die richtige Länge?

Test:

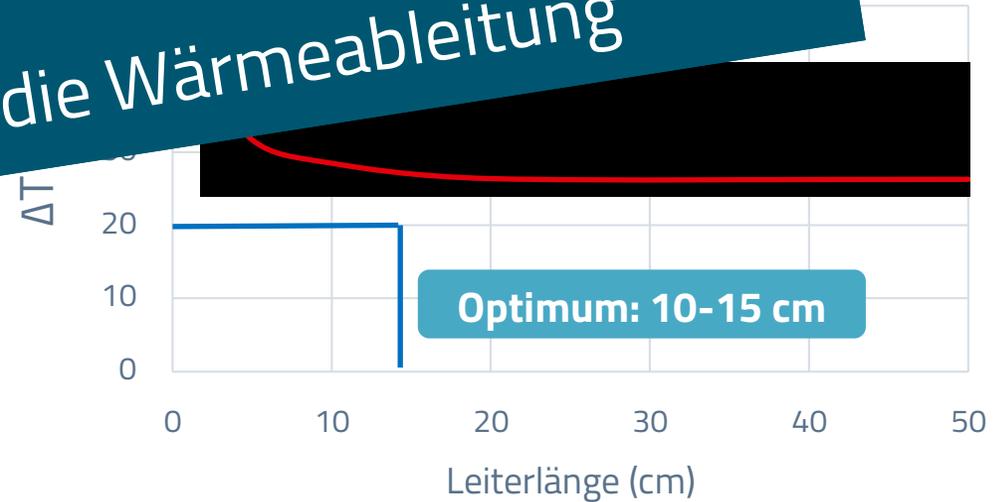
- ΔT 12AWG-20A
- TBL Stecker 3 polig; RM 7,62
- Unterschiedliche Leiterlängen
- 2 Thermoelemente an den Steckern
- Klemmen

12AWG – 20A – 2,5cm



Leiterlänge

1. Optimierte Länge für Wärmeableitung: 10-15cm
2. Kürzerer Leiter erhöht die innere Steckertemperatur über die üblichen 30K
3. Längerer Leiter ist nutzlos für die Wärmeableitung

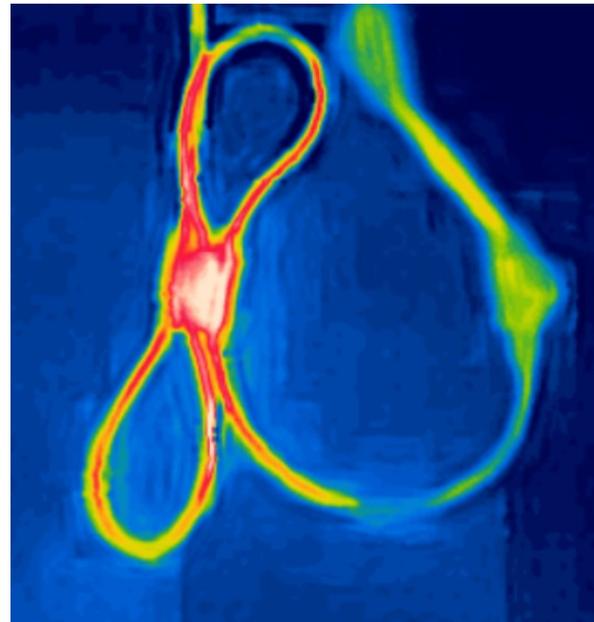
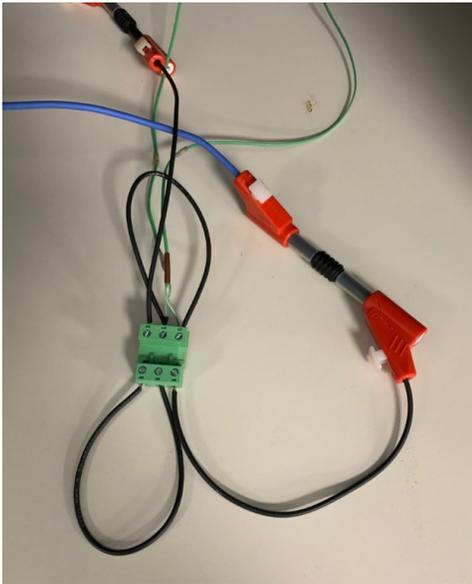


All pictures: WE eiCan

Leiter-Wärmeableitung: der richtige Querschnitt?

Test:

- TBL Stecker 3 polig; RM 7,62
- Initial 16AWG - 10A
- 2 Thermokoppler in 2 TBL Klemmen
- Optimierte Leiterlänge 10cm



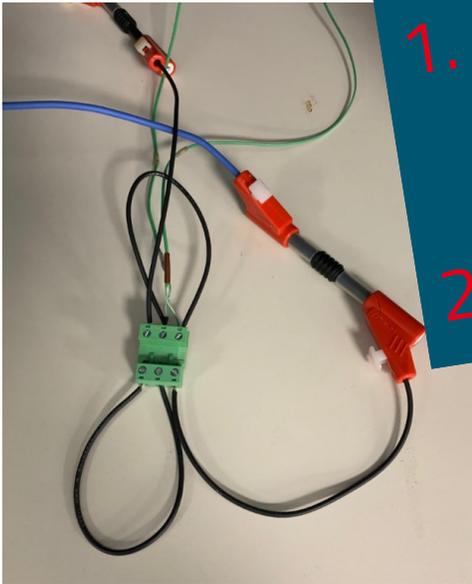
Wire at 10A – length 10cm	Internal connector ΔT (K)	Rough price €/m
16AWG	17	1 €/m
14AWG	10	1,35 €/m
12AWG	8	1,67 €/m

All pictures: WE eiCan

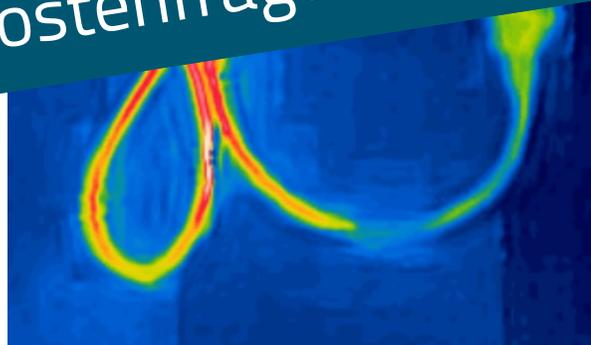
Leiter-Wärmeableitung: der richtige Querschnitt?

Test:

- TBL Stecker 3 polig; RM 7,62
- Initial 16AWG - 10A
- 2 Thermokoppler in 2 TBL Klemmen
- Optimierte Leiterlänge 10cm



1. Bei zunehmenden Leiterquerschnitt nimmt ΔT ab
2. Kostenfrage liegt bei Ihnen

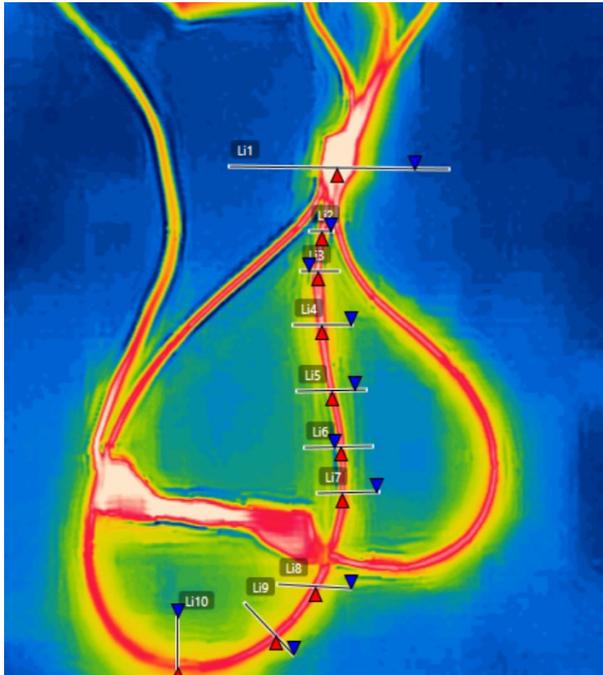


	Internal connector ΔT (K)	Rough price €/m
	17	1 €/m
	10	1,35 €/m
12AWG	8	1,67 €/m

All pictures: WE eiCan

Zusammenfassung

- AWG und mm² Kupferleiter erwärmen sich weniger als der Steckverbinder



- Leiter werden verwendet um Wärme vom Steckverbinder abzuleiten
- Optimale Leiterlängen sind 10-15cm

All pictures: WE eiCan

Agenda

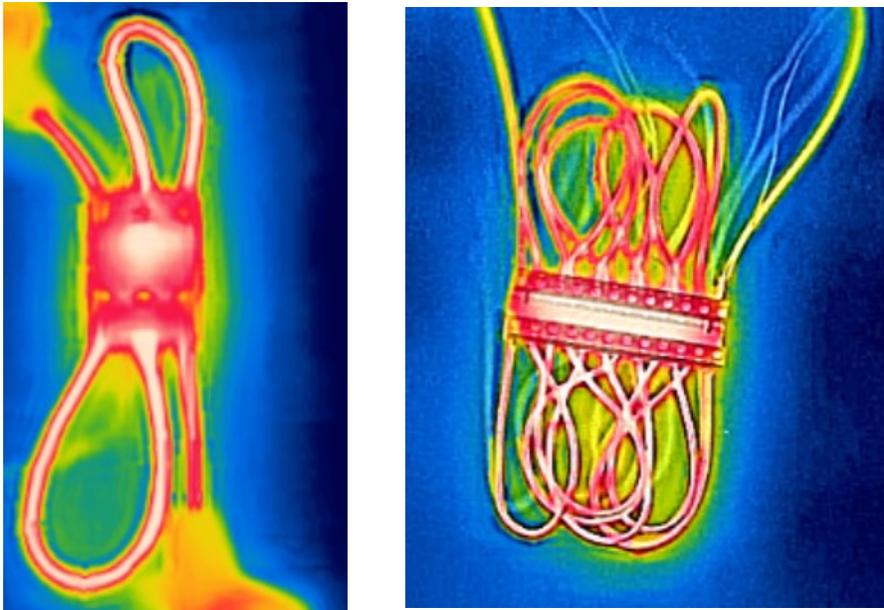
- Aktuelles Design für Steckverbinder
- Einflüsse einer zu hohen Temperatur
- Formeln zur Temperaturänderung
- Möglichkeiten der Wärmeableitung
- Wärmeentwicklung in einem Kabel
- Einige Tricks
- Derating Kurve
- Einschaltstrom (Inrush current)
- Fehlerbilder Steckverbinder
- Zusammenfassung



$\Delta T = 30K$ ok, aber nur mit 3 Polen?

Test:

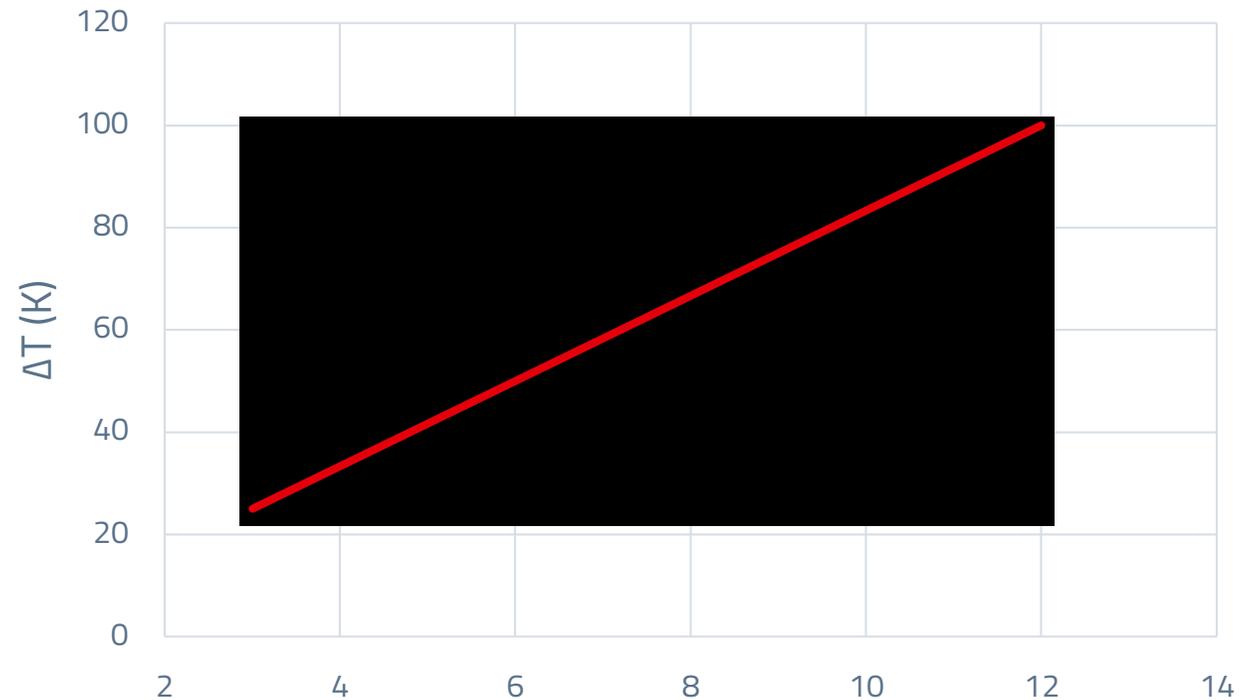
- 3 polig mit Arbeitsstrom
- Verringerung des Stroms bei höherer Polzahl nötig?



12AWG – 20A – 10cm

Was erwarten Sie?

TBL ΔT vs. Anzahl der Pole

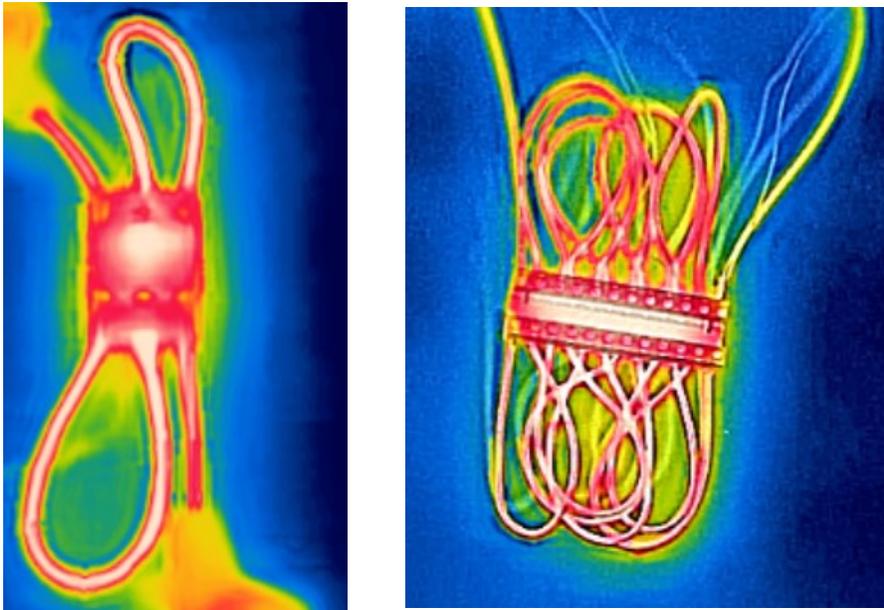


All pictures: WE eiCan

$\Delta T=30K$ ok, aber nur mit 3 Polen?

Test:

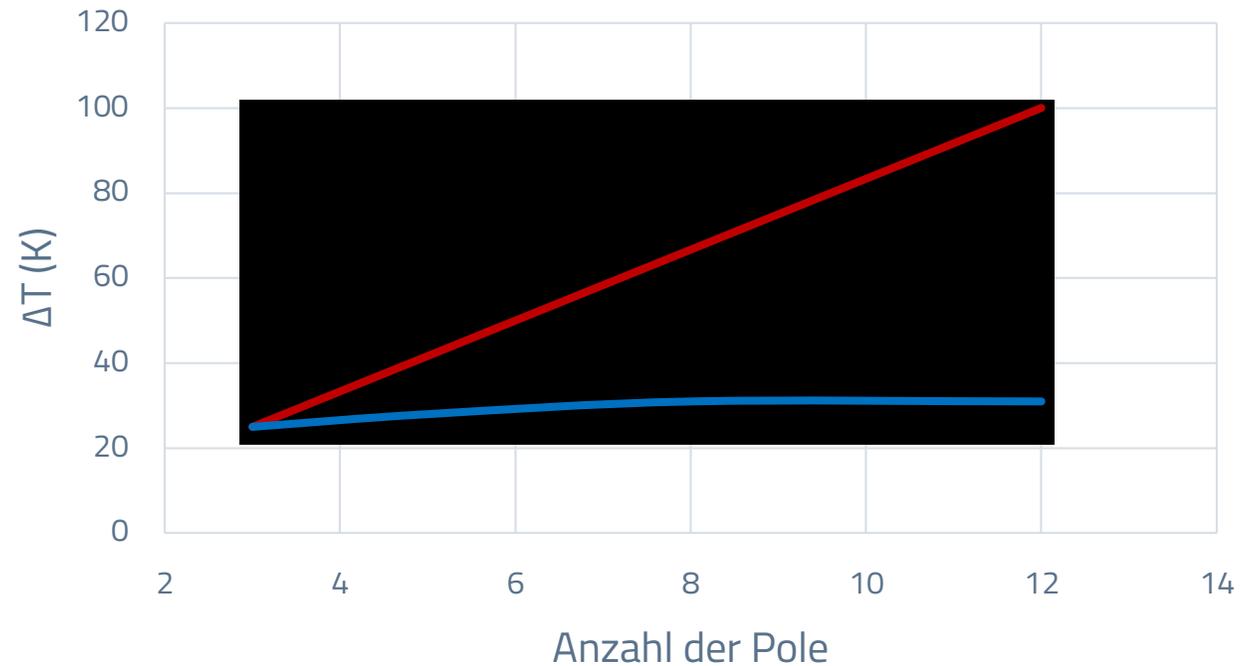
- 3 polig mit Arbeitsstrom
- Verringerung des Stroms bei höherer Polzahl nötig?



12AWG – 20A – 10cm

Erwartung vs. Realität

TBL ΔT vs. Anzahl der Pole



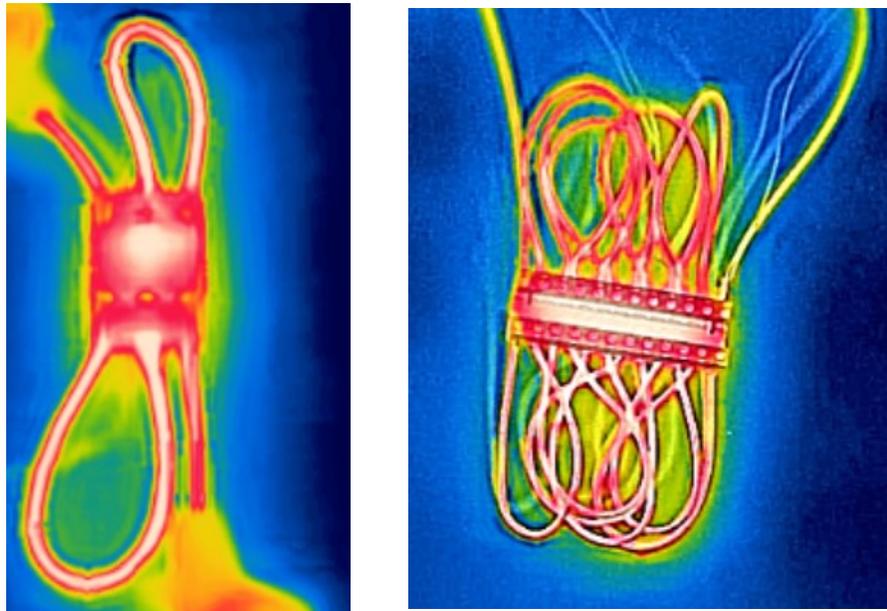
— What you expect — Reality

All pictures: WE eiCan

$\Delta T = 30\text{K}$ ok, aber nur mit 3 Polen?

Test:

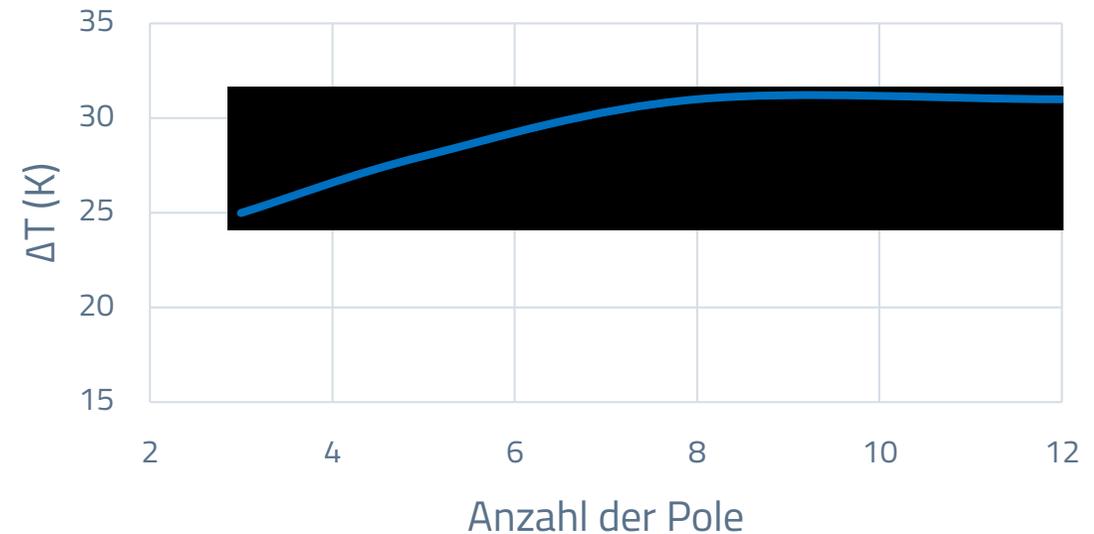
- 3 polig mit Arbeitsstrom
- Verringerung des Stroms bei höherer Polzahl nötig?



12AWG – 20A – 10cm

Realität

ΔT vs. Anzahl der Pole



All pictures: WE eiCan

$\Delta T=30K$ ok, aber nur mit 3 Polen?

Test:

- 3 polig mit Arbeitsstrom
- Verringerung des Stroms bei höherer Polzahl nötig?

1. Auf Grund der Sicherheitsmarge kann der Arbeitsstrom für eine beliebige Anzahl von Polen verwendet werden



12AWG – 20A – 10cm



All pictures: WE eiCan

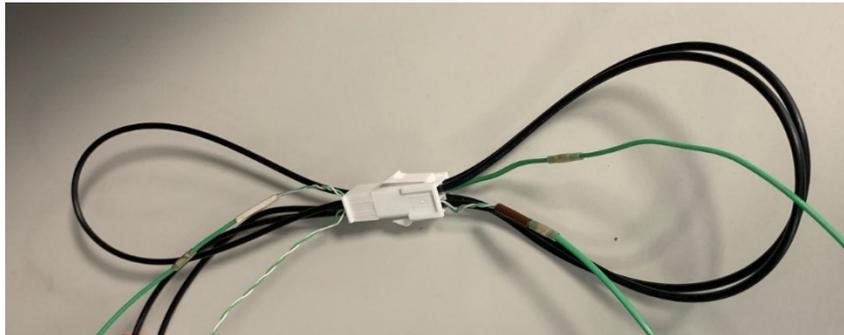
MPC4 ΔT

ELECTRICAL

■ Current rating:

6 to 9 A

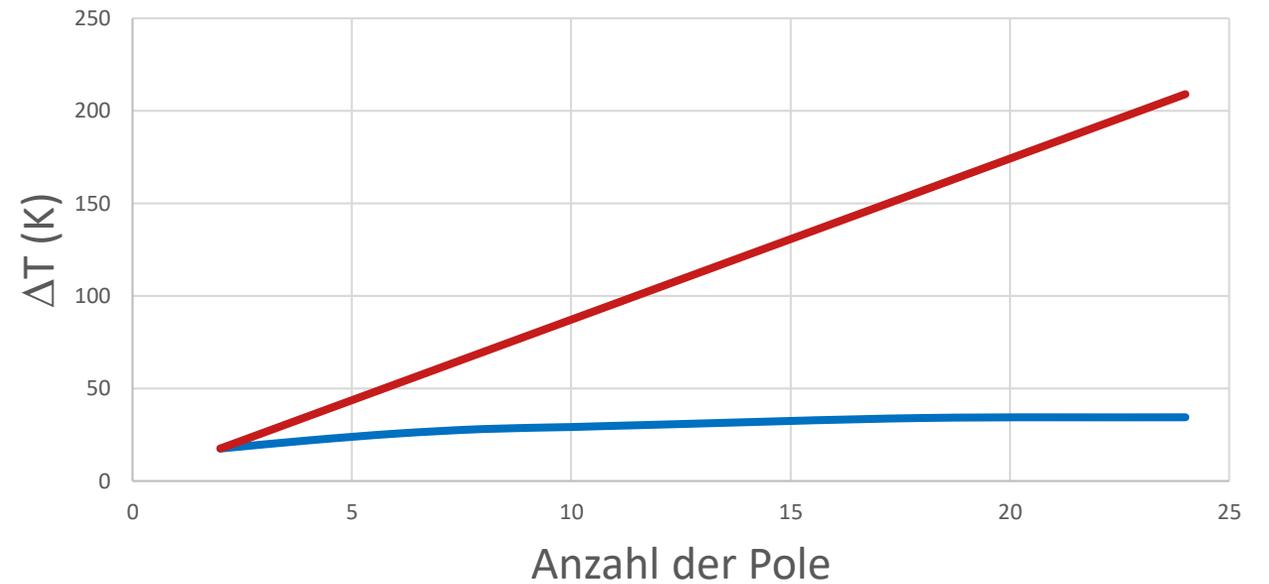
No. Circuits	2-3	4-6	7-10	12-24
Amps	9	8	7	6



16AWG – 9A – 15cm

Erwartung vs. Realität

MPC4 ΔT vs. Anzahl der Pole



— Reality — What do you expect

All pictures: WE eiCan

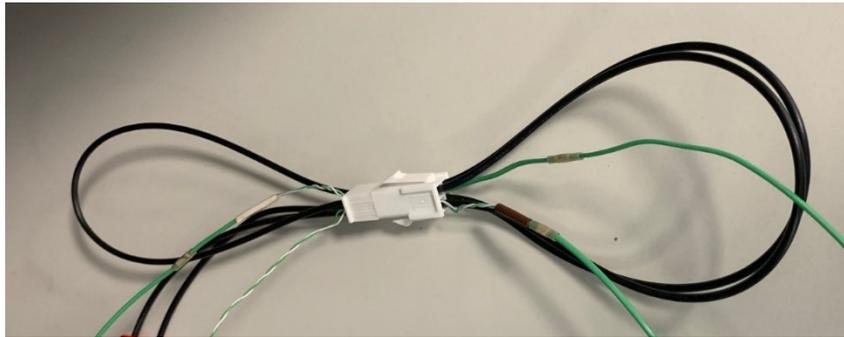
MPC4 ΔT

ELECTRICAL

■ Current rating:

6 to 9 A

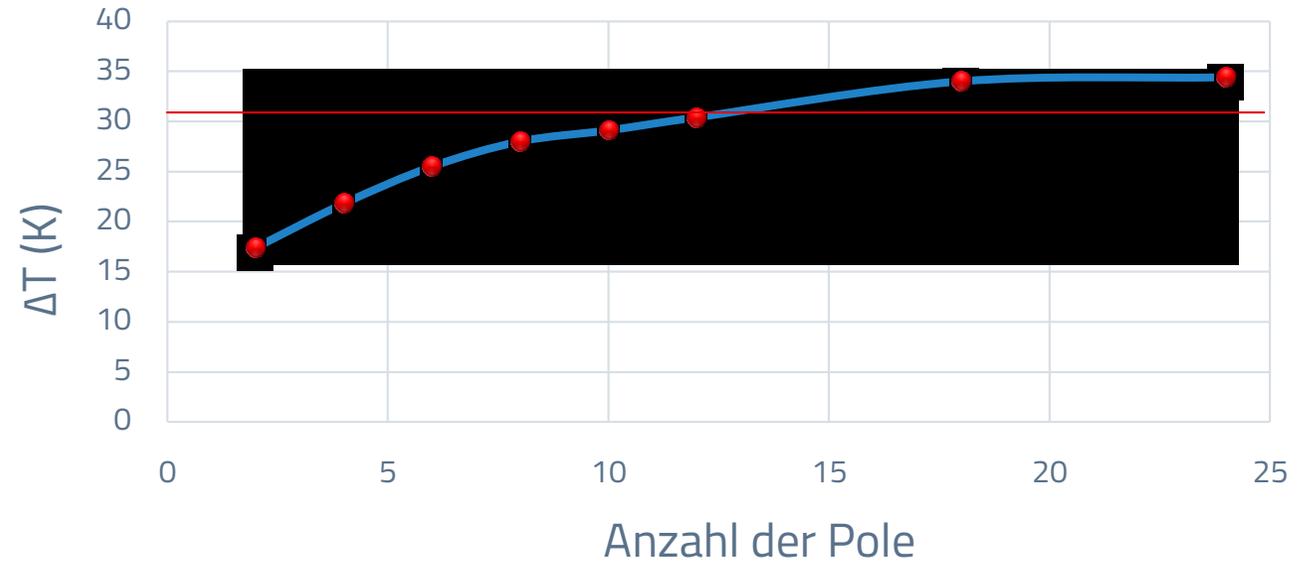
No. Circuits	2-3	4-6	7-10	12-24
Amps	9	8	7	6



16AWG – 9A – 15cm

Realität

MPC4 ΔT vs. Anzahl der Pole



■ Reality

All pictures: WE eiCan

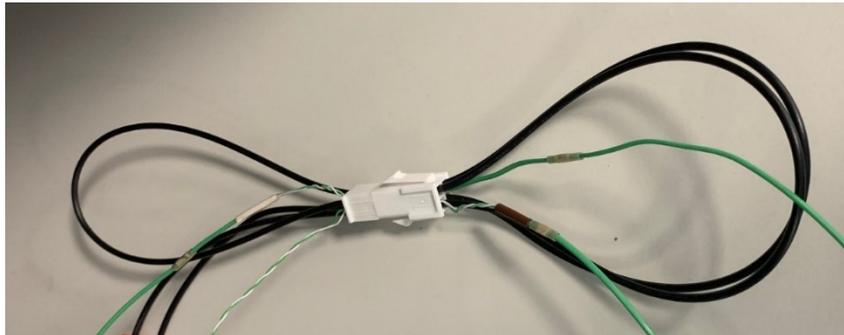
MPC4 ΔT

ELECTRICAL

■ Current rating:

6 to 9 A

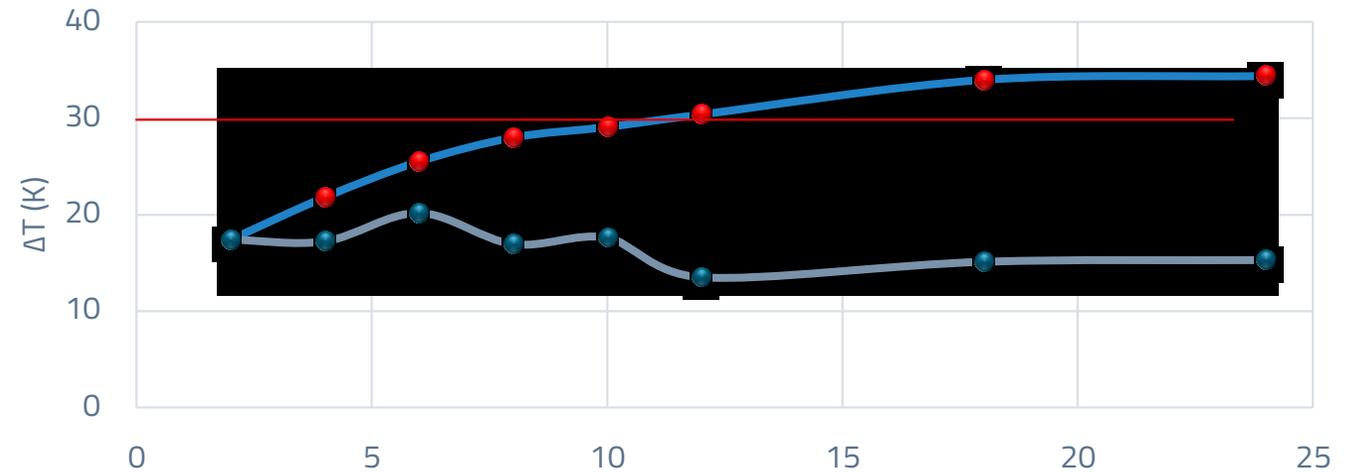
No. Circuits	2-3	4-6	7-10	12-24
Amps	9	8	7	6



16AWG – 9A – 15cm

Realität

MPC4 ΔT vs. Anzahl der Pole



Anzahl der Pole

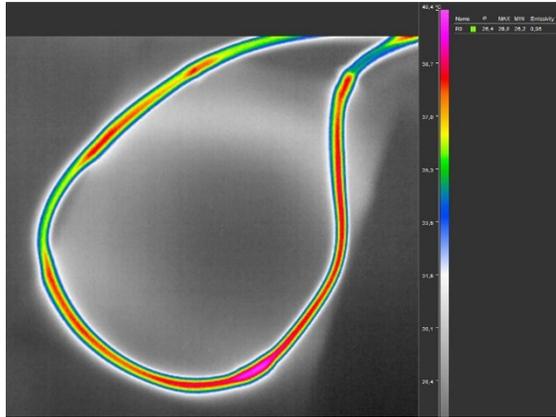
■ Reality ■ ΔT calculated with datasheet current

All pictures: WE eiCan

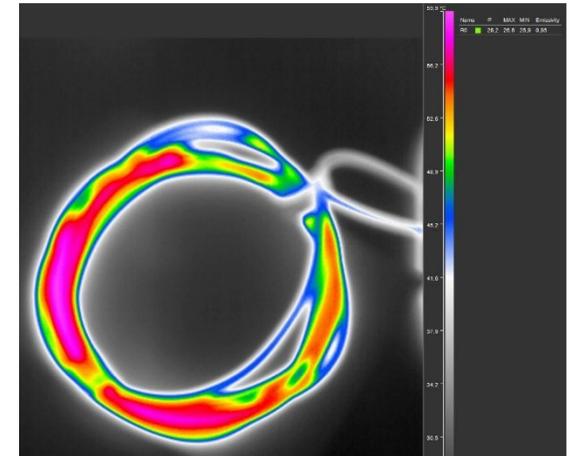
Kabelschlaufen– zusätzliche Erwärmung?

Test:

- Einfluss der Kabelschleife
- 6²
- 41A



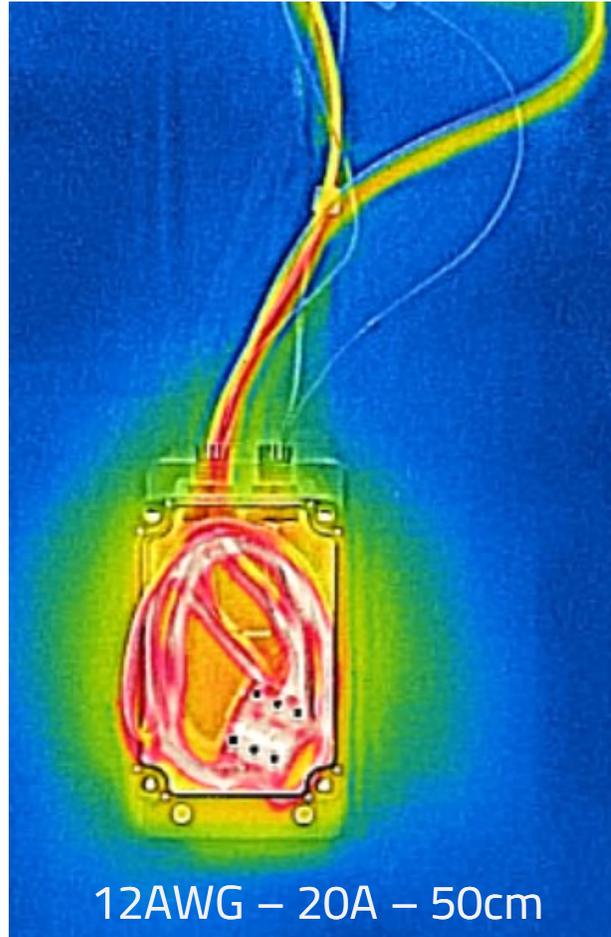
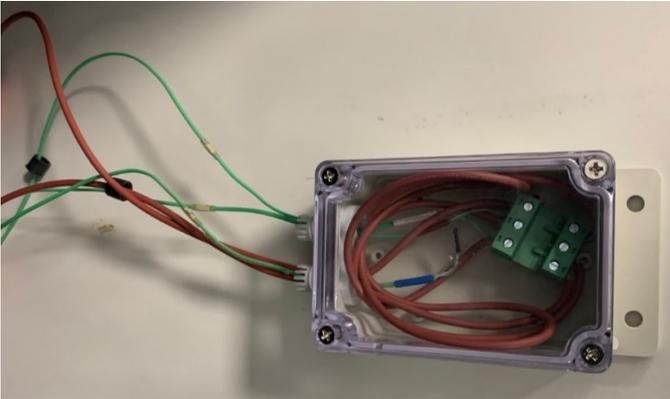
Temperaturanstieg vs. Kabelschlaufen 6² 41A



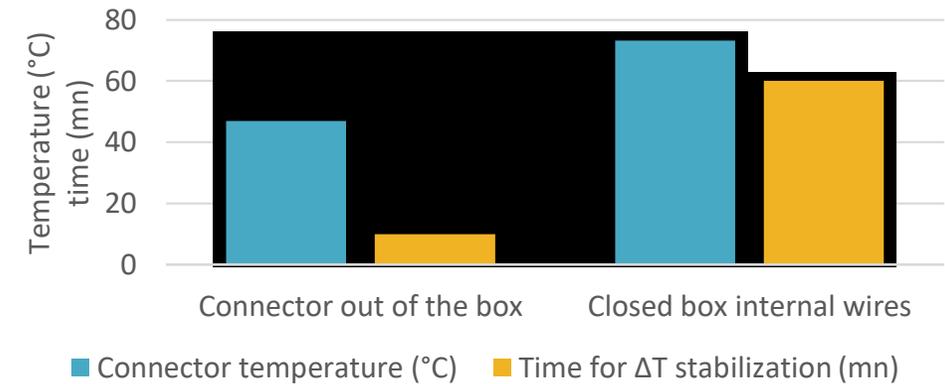
Ein Steckverbinder in einer geschlossenen Box

Test:

- TBL Stecker 3 polig; RM 7,62
- Initial 12AWG - 20A
- 2 Thermokoppler in 2 TBL Klemmen + 1 für Umgebungstemperatur in Box
- Leiterlänge 10cm



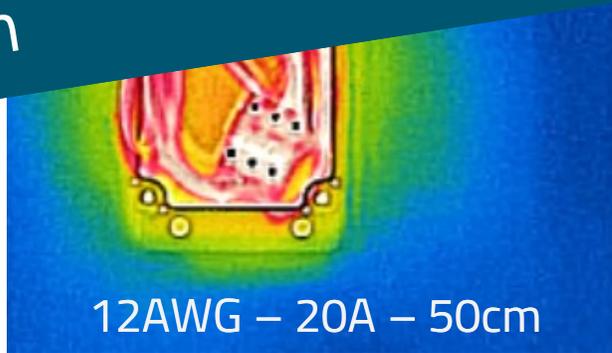
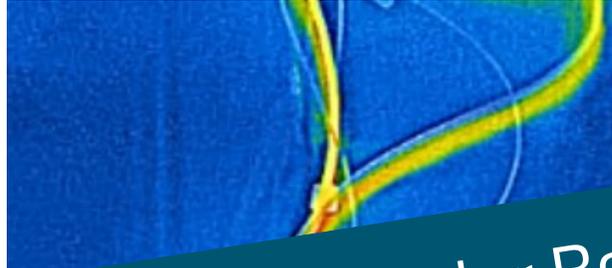
Thermal behaviour of a connector inside of a closed box



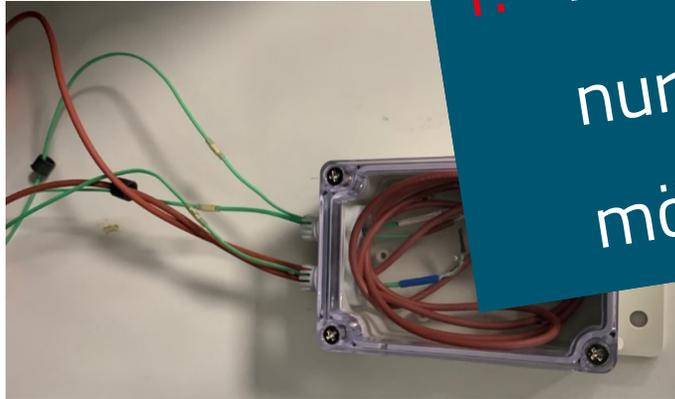
Ein Steckverbinder in einer geschlossenen Box

Test:

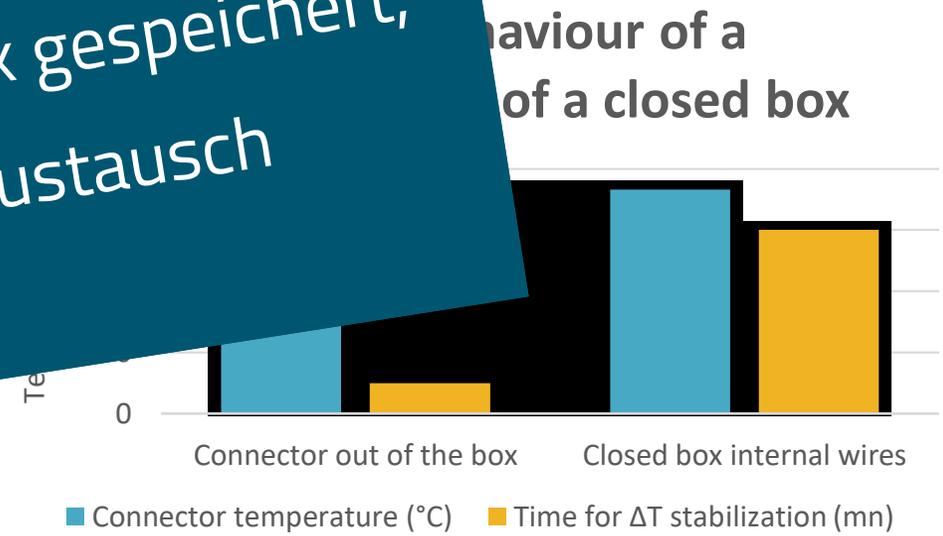
- TBL Stecker 3 polig; RM 7,62
- Initial 12AWG - 20A
- 2 Thermokoppler in 2 TBL Klemmen + 1 für Umgebungstemperatur in Box
- Leiterlänge 10cm



12AWG – 20A – 50cm



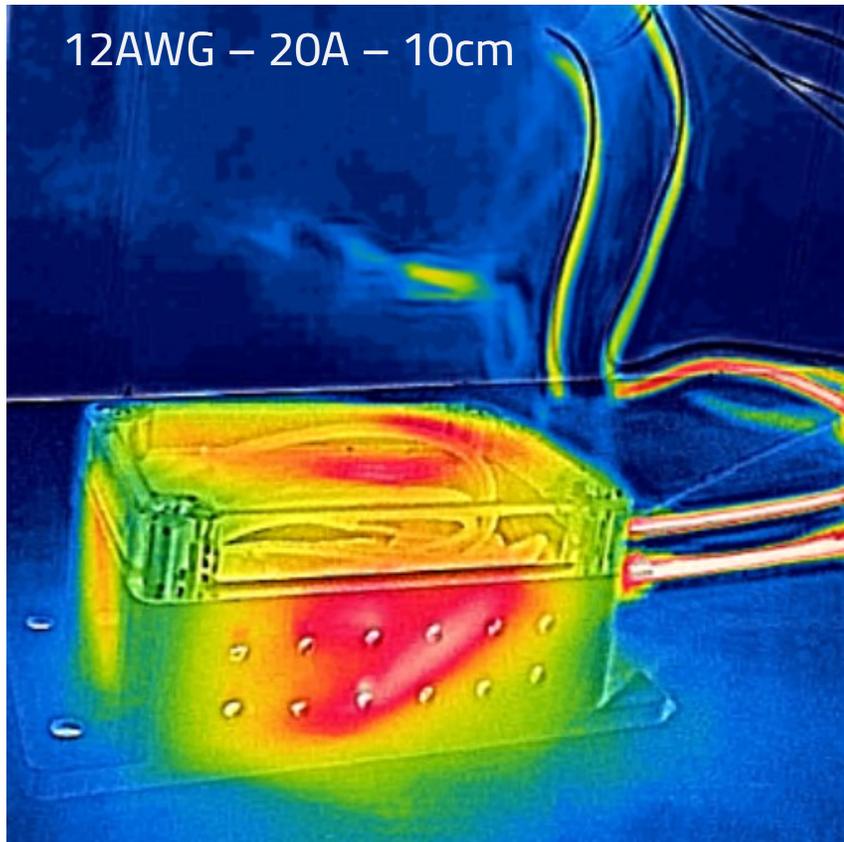
1. Wärmeenergie wird in der Box gespeichert, nur sehr begrenzter Wärmeaustausch möglich



Ein Steckverbinder in einer geschlossenen Box

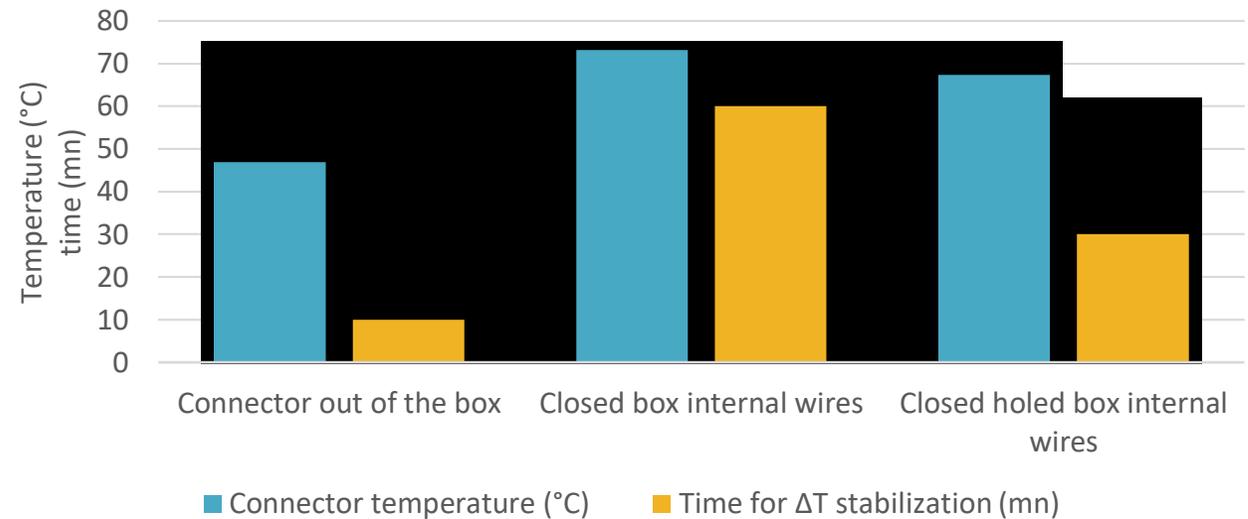
Test:

- Gleiche geschlossene Box mit Löchern



WE eiCan

Thermal behaviour of a connector inside of a closed box

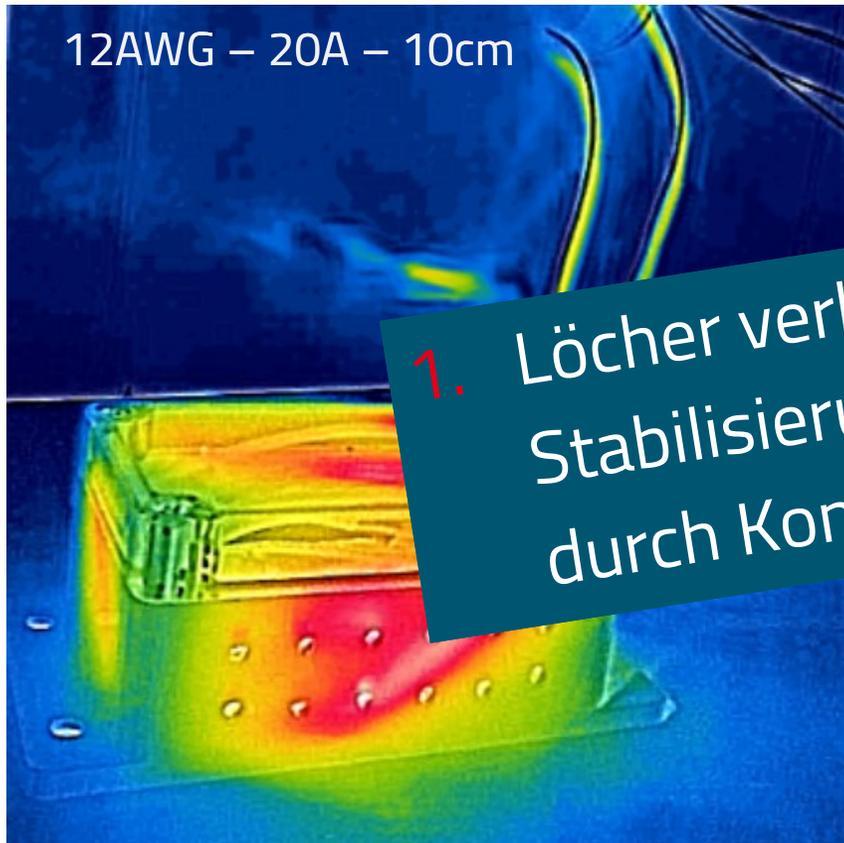


Ein Steckverbinder in einer geschlossenen Box

Test:

- Gleiche geschlossene Box mit Löchern

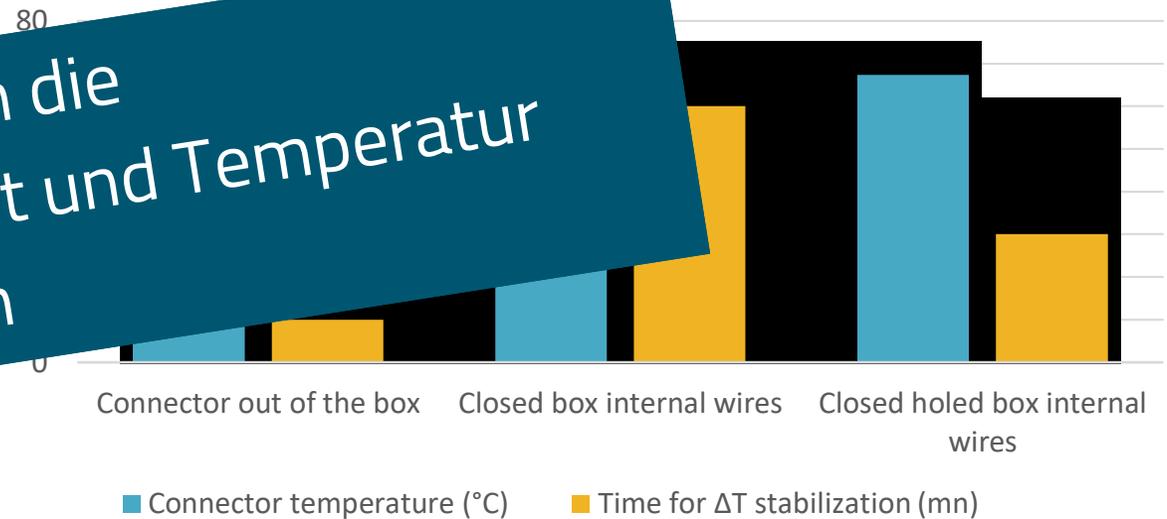
12AWG – 20A – 10cm



WE eiCan

1. Löcher verbessern die Stabilisierungszeit und Temperatur durch Konvektion

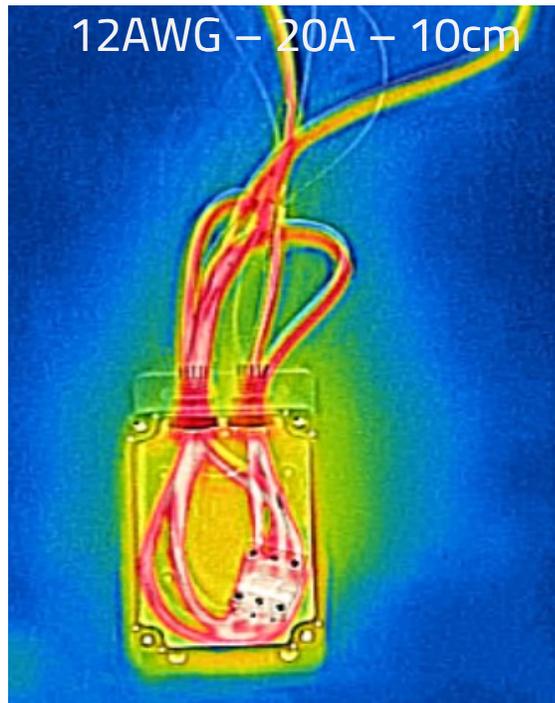
Thermal behaviour of a connector inside of a closed box



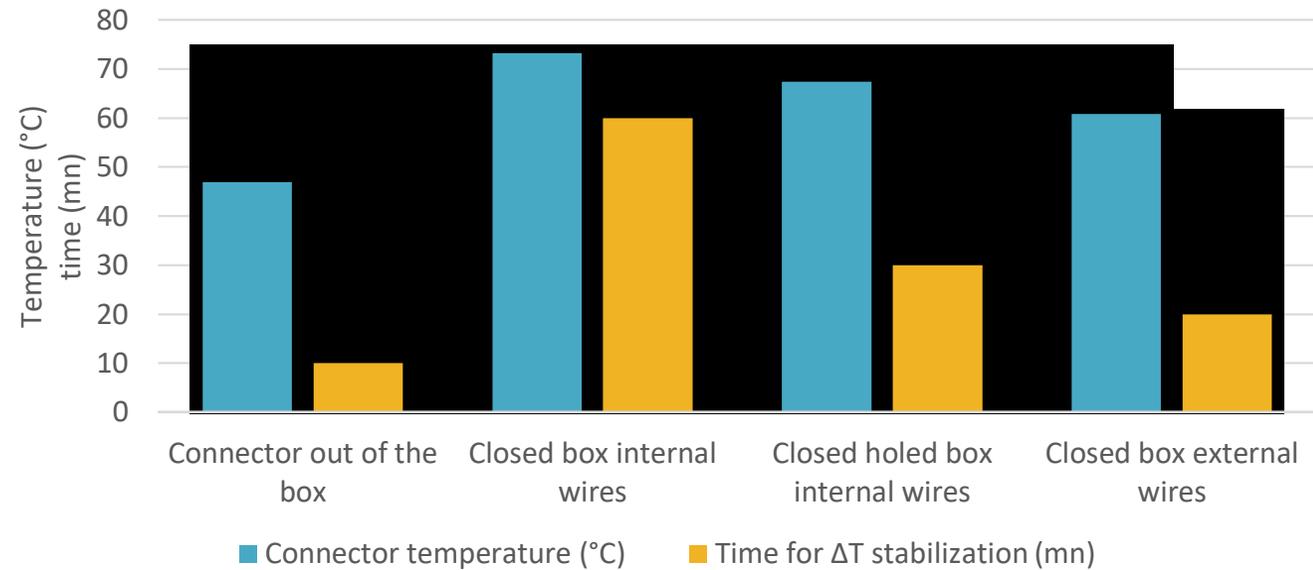
Ein Steckverbinder in einer geschlossenen Box

Test:

- Gleiche geschlossene Box mit Löchern + externen Leitern



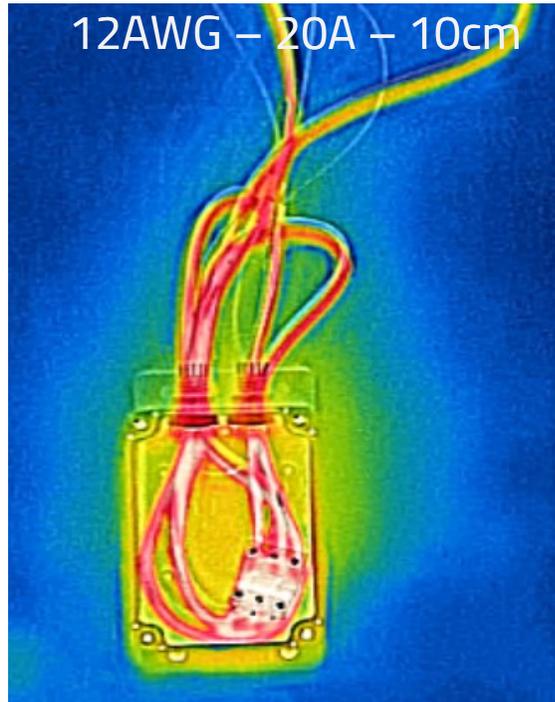
Thermal behaviour of a connector inside of a closed box



Ein Steckverbinder in einer geschlossenen Box

Test:

- Gleiche geschlossene Box mit Löchern + externen Leitern



Thermal behaviour of a connector inside of a closed box

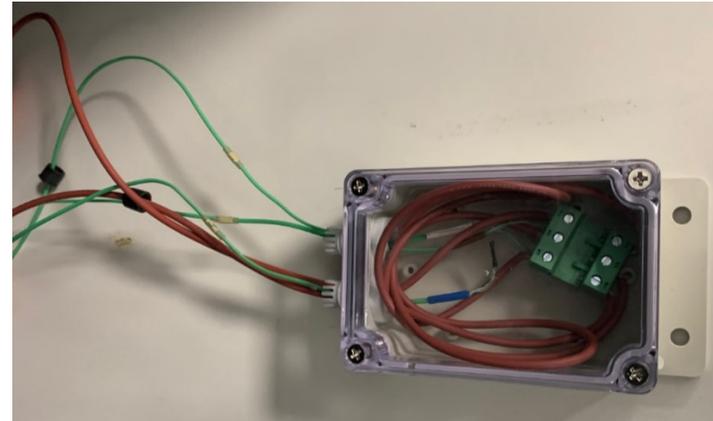


1. Externe Leiter sorgen für zusätzlichen Wärmeleiteffekt
2. Besser Effekt als Löcher in der Box

Ein Steckverbinder in einer geschlossenen Box

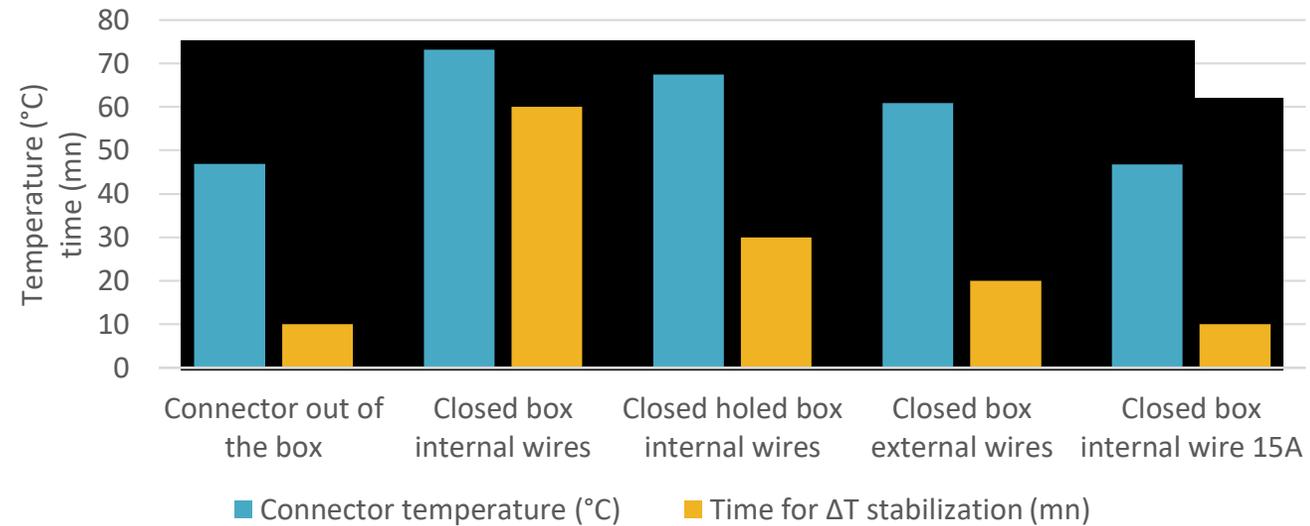
Test:

- Geschlossene Box
- Interne Leiter
- Keine Löcher
- 15A statt 20A



WE eiCan

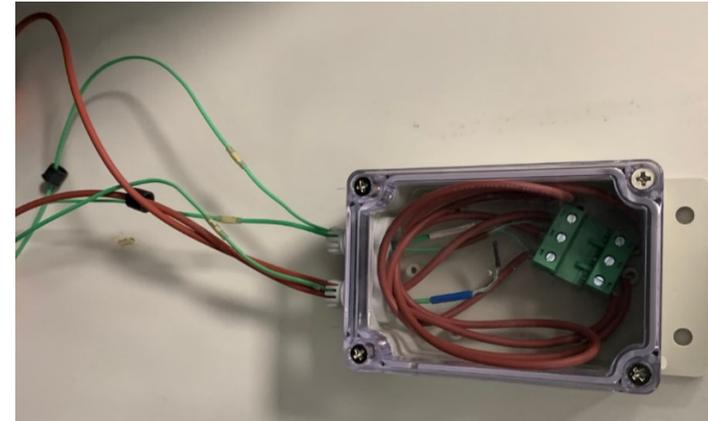
Thermal behaviour of a connector inside of a closed box



Ein Steckverbinder in einer geschlossenen Box

Test:

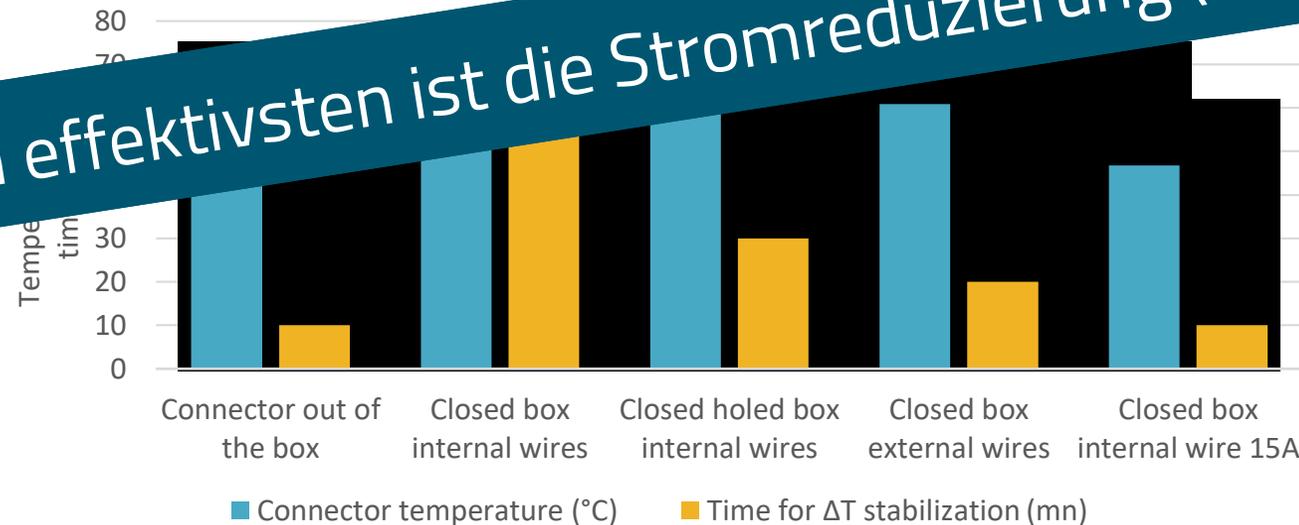
- Geschlossene Box
- Interne Leiter
- Keine Löcher
- 15A statt 20A



Thermal behaviour of a connector inside of a closed box

WE eiCan

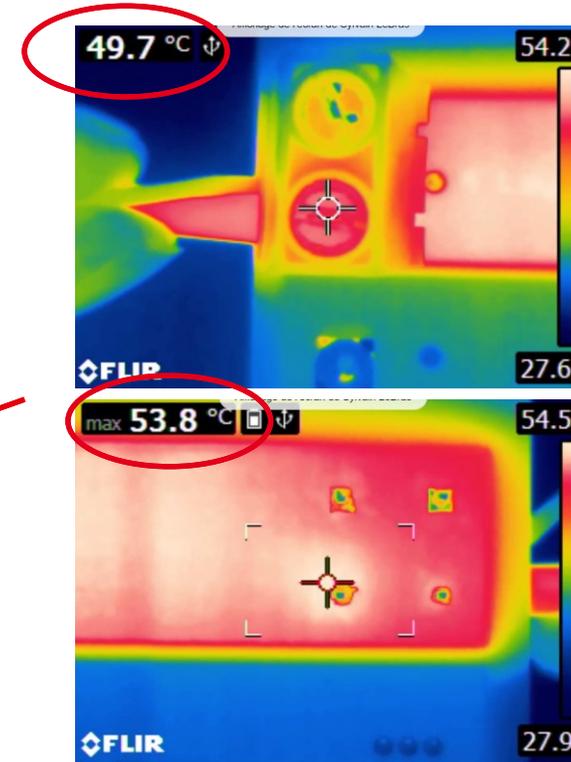
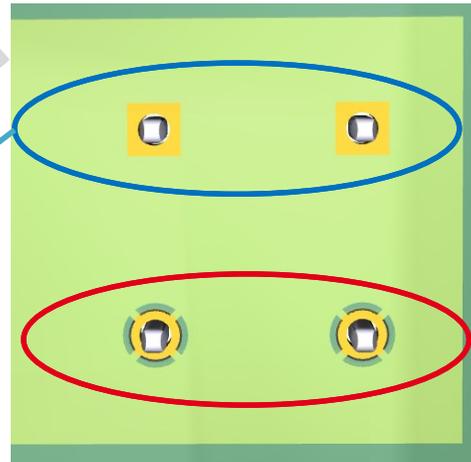
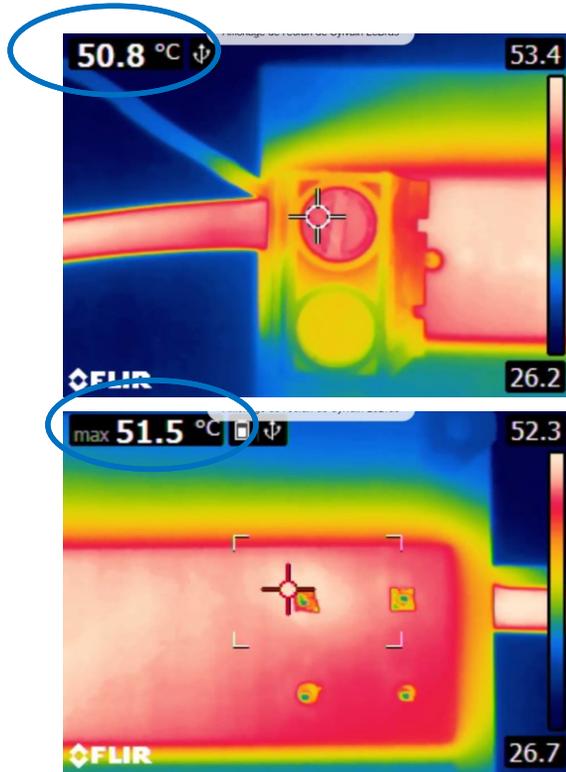
Am effektivsten ist die Stromreduzierung (I^2)



Erhöht die thermische Entlastung (Wärmefalle) den Temperaturanstieg?

Test:

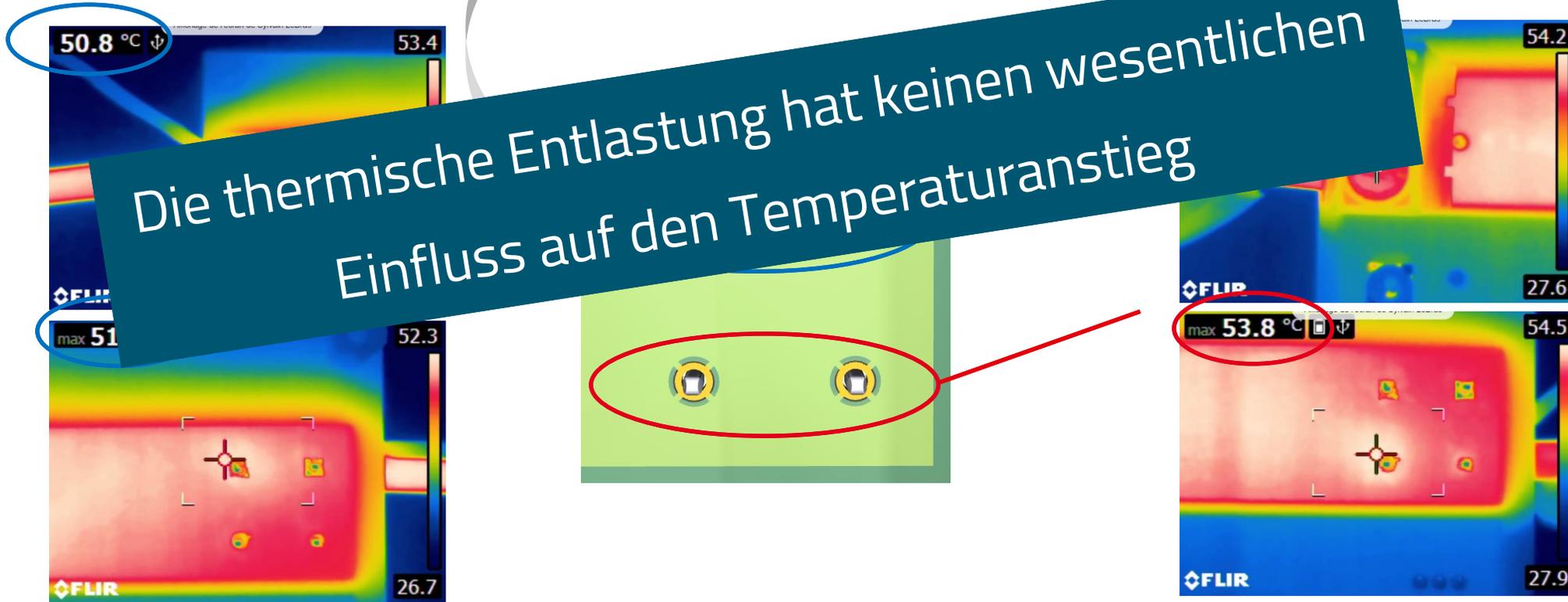
- PCB Terminal Block 57A
- 73A
- 16mm²



Erhöht die thermische Entlastung (Wärmefalle) den Temperaturanstieg?

Test:

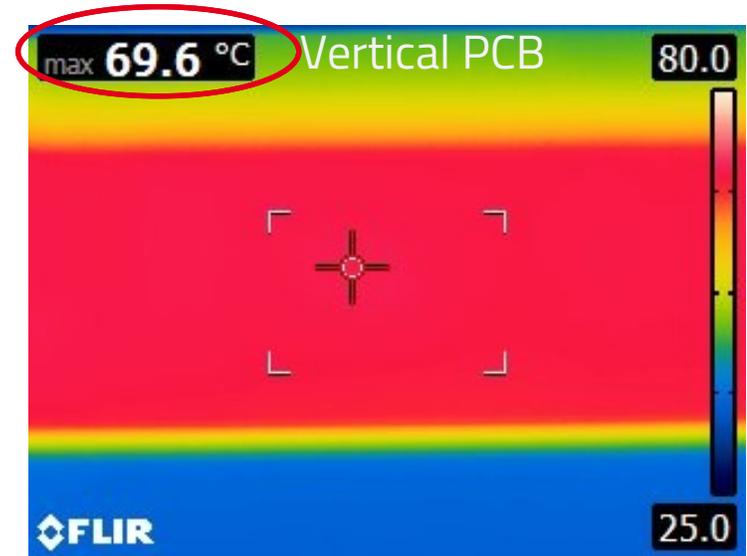
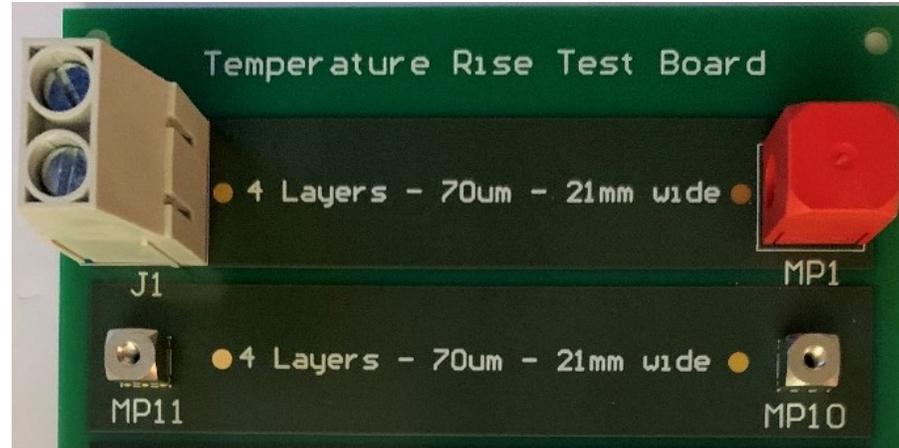
- PCB Terminal Block 57A
- 73A
- 16mm²



Wie kühlt man eine PCB natürlich ab?

Test:

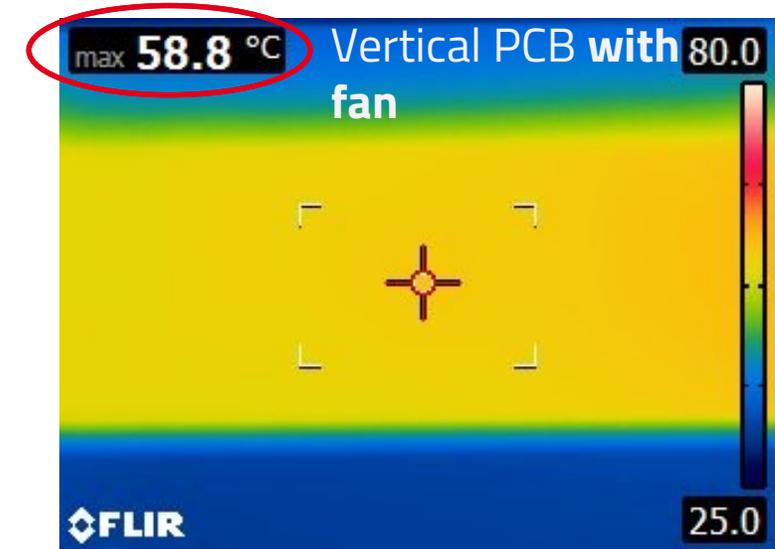
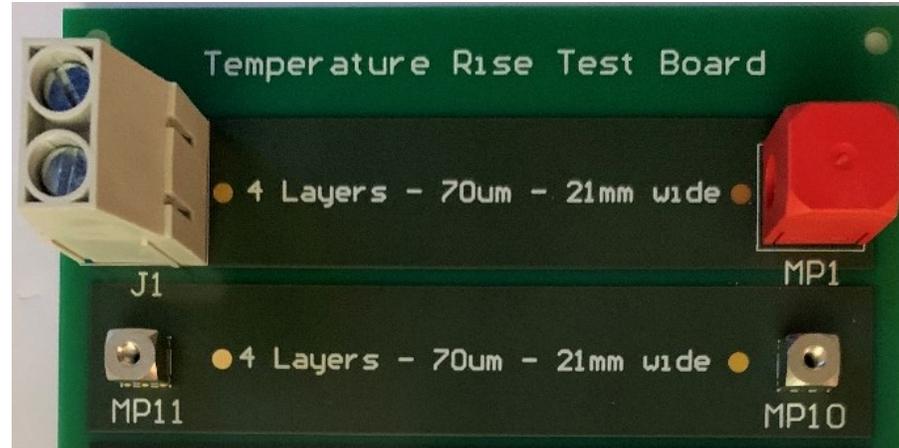
- PCB Redcube
- 100A
- Horizontal und Vertical PCB



Und jetzt mit einem Lüfter ?

Test:

- PCB Redcube
- 100A
- Horizontal und Vertical PCB
- Mit Lüfter



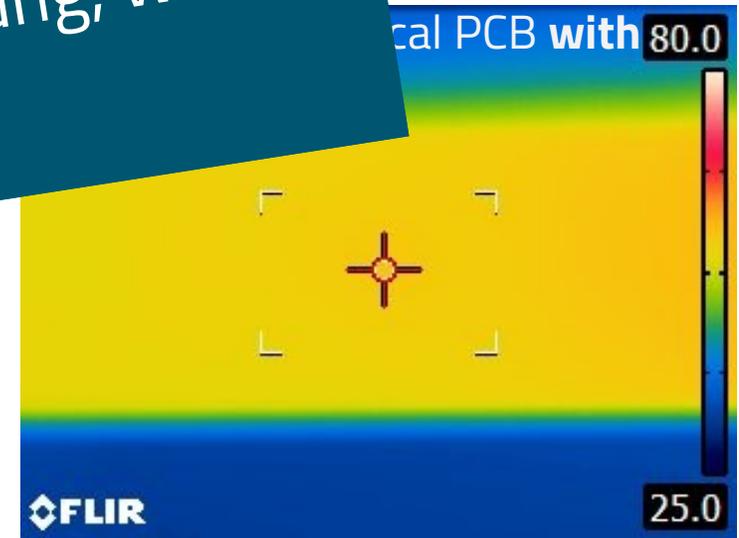
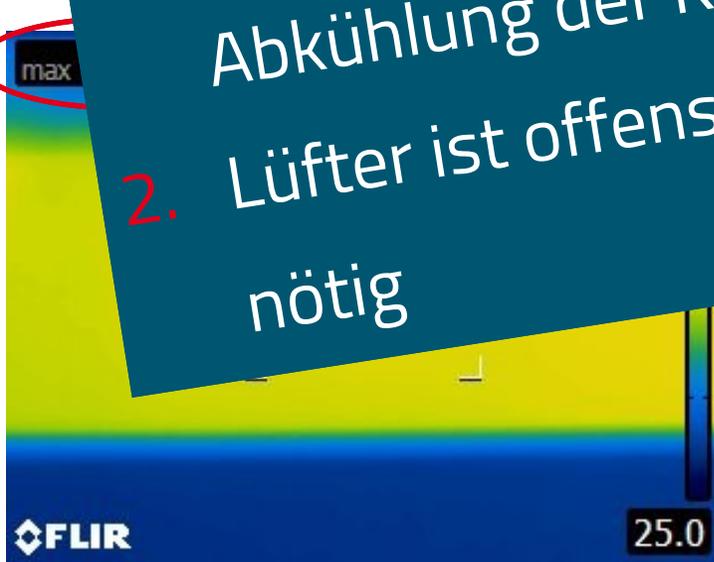
Und jetzt mit einem Lüfter ?

Test:

- PCB Redcube
- 100A
- Horizontal und Vertical PCB
- Mit Lüfter

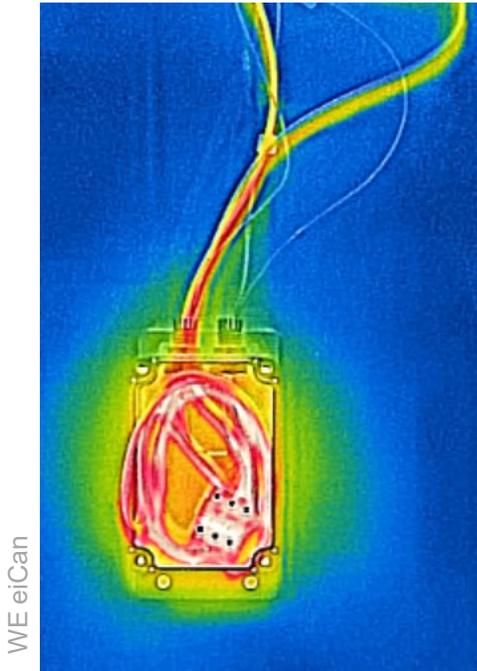


1. Vertikale Position einer PCB fördert die natürliche Abkühlung der Komponenten
2. Lüfter ist offensichtlich eine gute Lösung, wenn nötig



Zusammenfassung

Verwenden Sie den Arbeitsstrom für alle Polzahlen



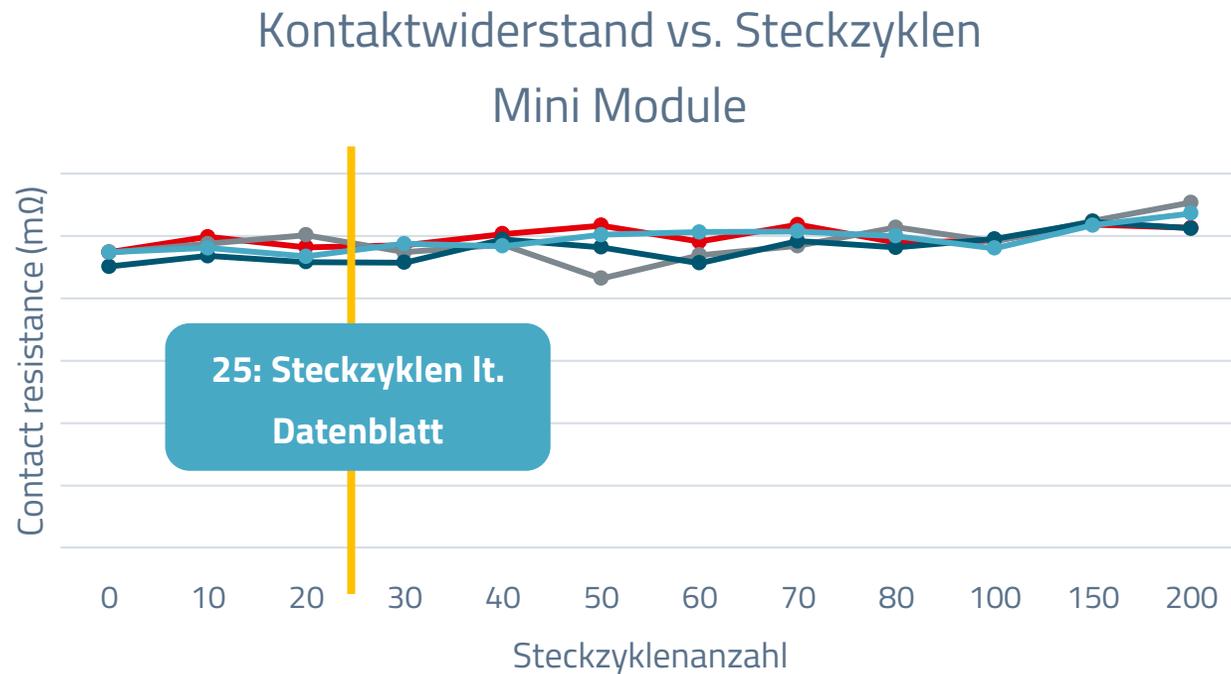
- In einer geschlossenen Box:
 - Maximal Leitungen nach außen legen
 - Überdimensioniere Leitungen und Stecker

Die thermische Entlastung hat keinen spürbaren Einfluss auf den Temperaturanstieg

Sollte der Strom nach mehreren Steckzyklen verringert werden?

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

ΔT wird nach einigen Steckzyklen zunehmen?

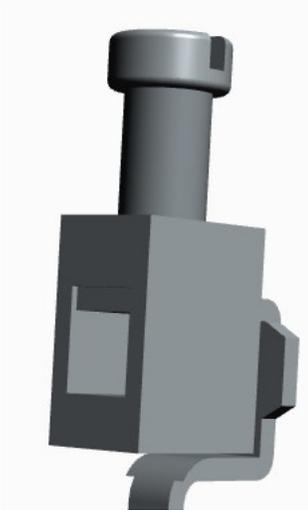
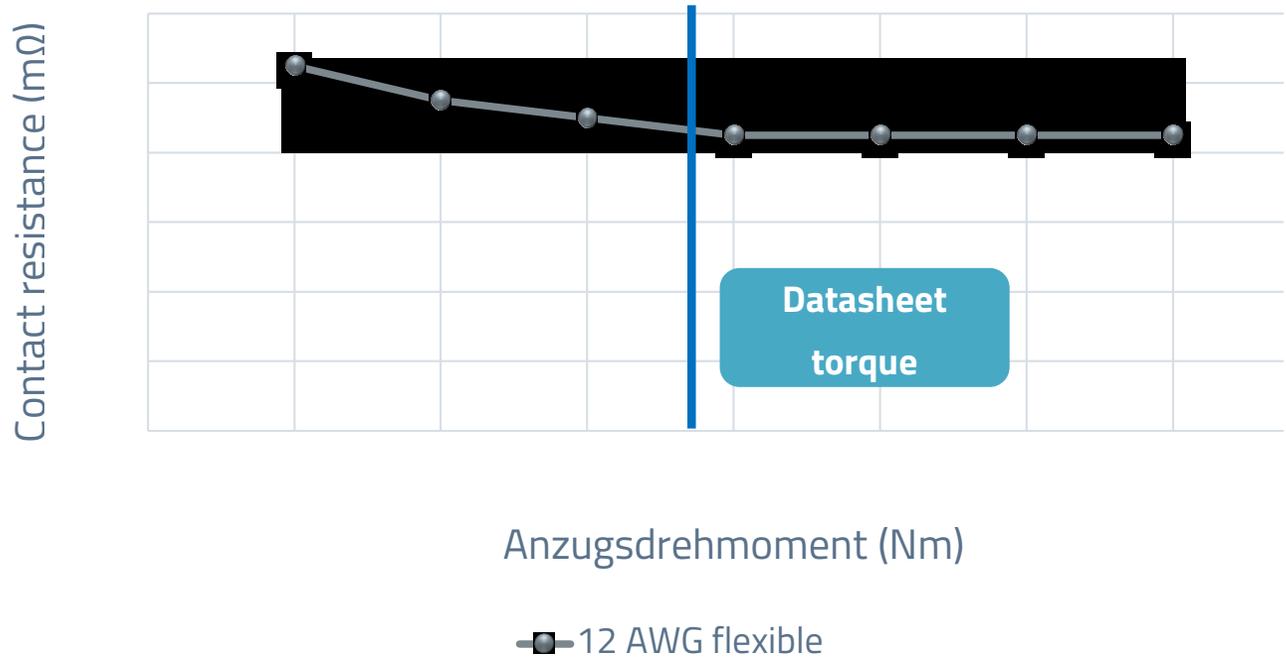


TBL: Drehmoment erhöhen, geringeres ΔT ?

Ist ΔT proportional zum Anzugsdrehmoment?

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

Rising cage Anzugsdrehmoment 0,5Nm



8

Agenda

- Aktuelles Design für Steckverbinder
- Einflüsse einer zu hohen Temperatur
- Formeln zur Temperaturänderung
- Möglichkeiten der Wärmeableitung
- Wärmeentwicklung in einem Kabel
- Einige Tricks
- Derating Kurve
- Einschaltstrom (Inrush current)
- Fehlerbilder Steckverbinder
- Zusammenfassung



Derating Kurve UL

So verringern Sie den Strom, wenn die Umgebungstemperatur ansteigt:

- Maximale Temperatur am Stecker
- $\Delta T \leq 30K$
- ΔT proportional zu I^2



WE eiCan

ENVIRONMENTAL

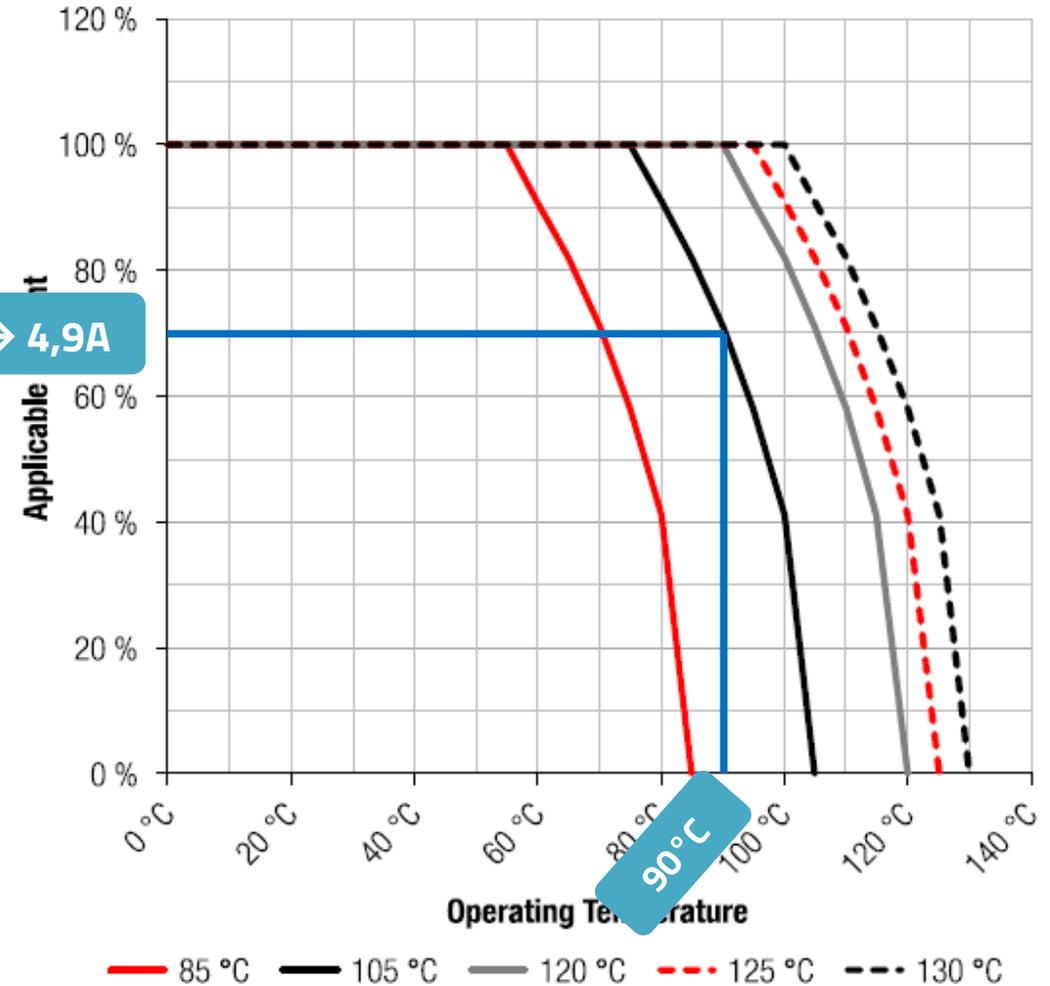
COMPLIANCE: LEAD FREE AND ROHS

ELECTRICAL

WORKING VOLTAGE: 250 VAC
INSULATOR RESISTANCE: >1000 MOHM
DIELECTRIC WITHSTANDING VOLTAGE: 1500 VAC/MN
CONTACT RESISTANCE: 20 mOHM MAX

70% → 4,9A

UL Derating Curves



Derating Kurve VDE

So verringern Sie den Strom, wenn die Umgebungstemperatur ansteigt:

- Maximale Temperatur am Stecker
- $\Delta T \leq 45K$
- ΔT proportional zu I^2

WE eiCan



ENVIRONMENTAL

COMPLIANCE: LEAD FREE AND ROHS

ELECTRICAL

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

UL

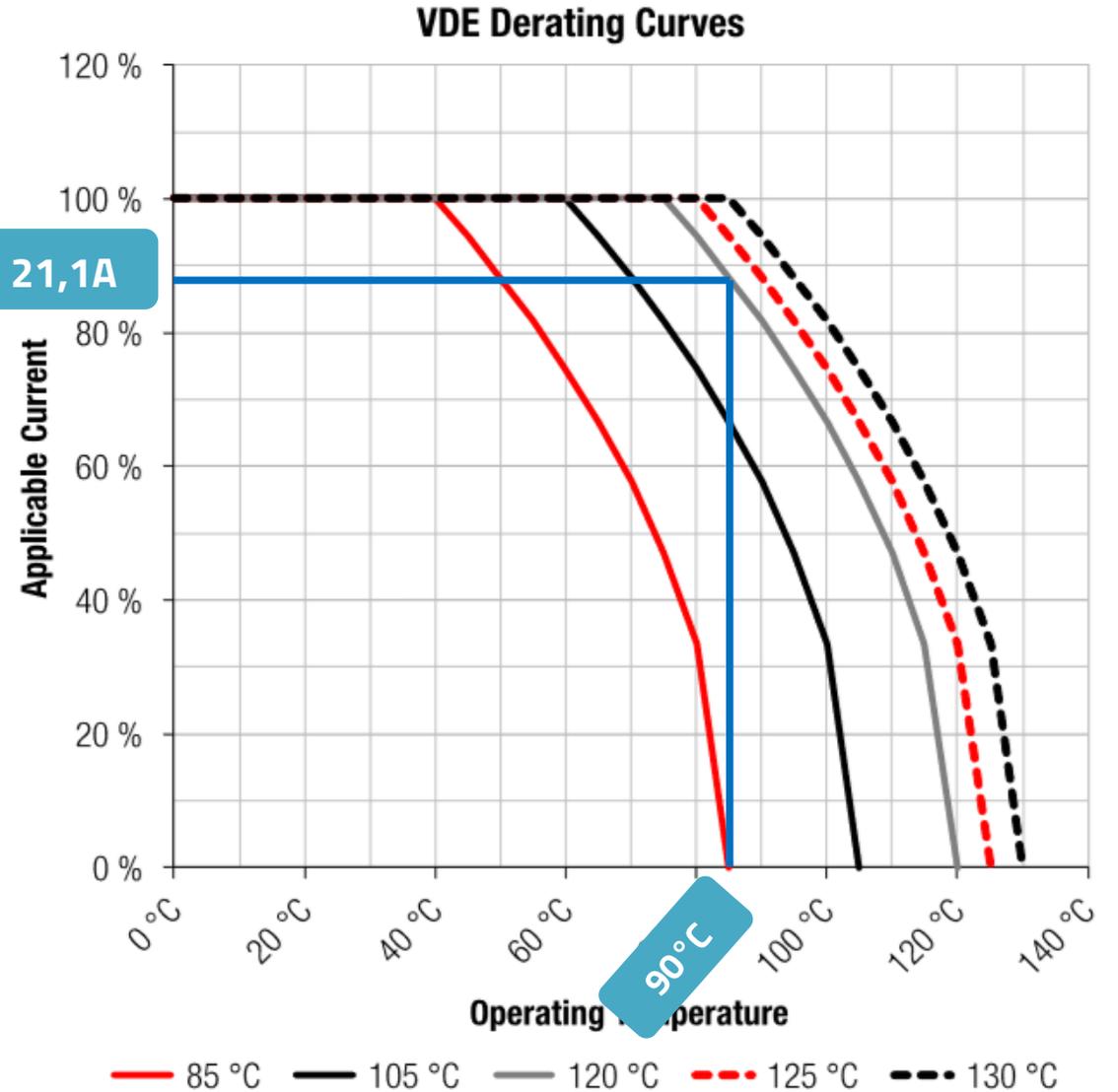
16A

300VAC

1,6KV

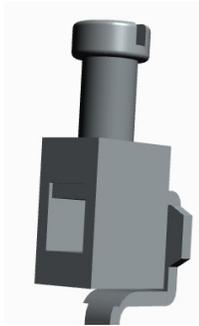


88% → 21,1A



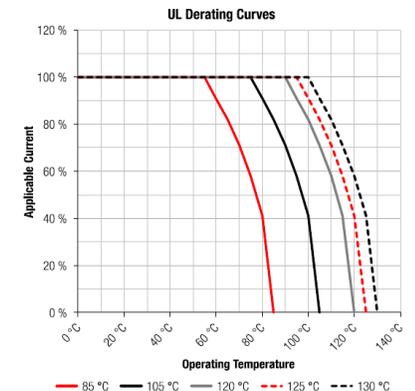
Zusammenfassung

Anzahl der Steckzyklen (gemäß Datenblatt) hat keinen Einfluss auf ΔT



➤ Erhöhung des zulässigen Anzugsdrehmoments bei TBL's hat keinen Effekt auf ΔT

➤ Bei Erreichen der maximalen Betriebstemperatur muss der Strom gemäß Derating Kurve reduziert werden



Agenda

- Aktuelles Design für Steckverbinder
- Einflüsse einer zu hohen Temperatur
- Formeln zur Temperaturänderung
- Möglichkeiten der Wärmeableitung
- Wärmeentwicklung in einem Kabel
- Einige Tricks
- Derating Kurve
- Einschaltstrom (Inrush current)
- Fehlerbilder Steckverbinder
- Zusammenfassung



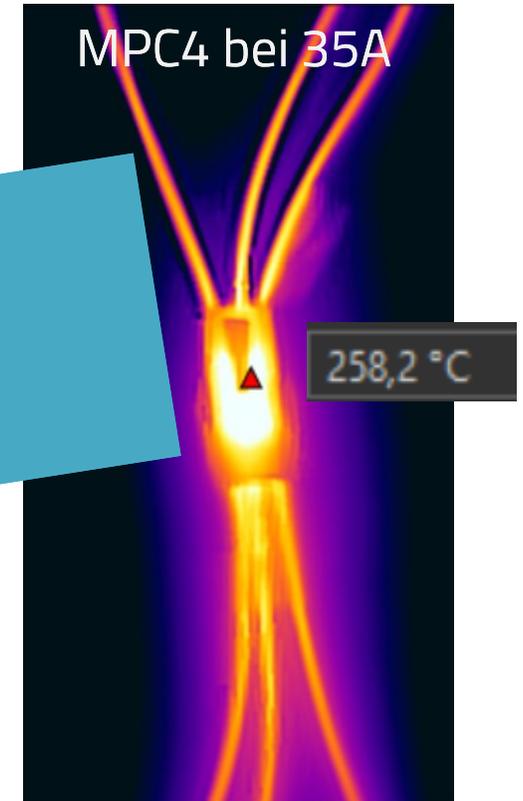
Fehlerbilder Steckverbinder

Was passiert bei unzulässiger Stromerhöhung?

MPC4: 9A - max +105°C



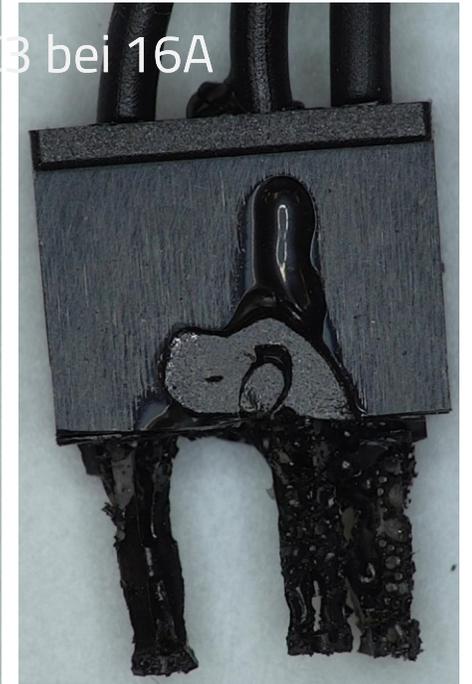
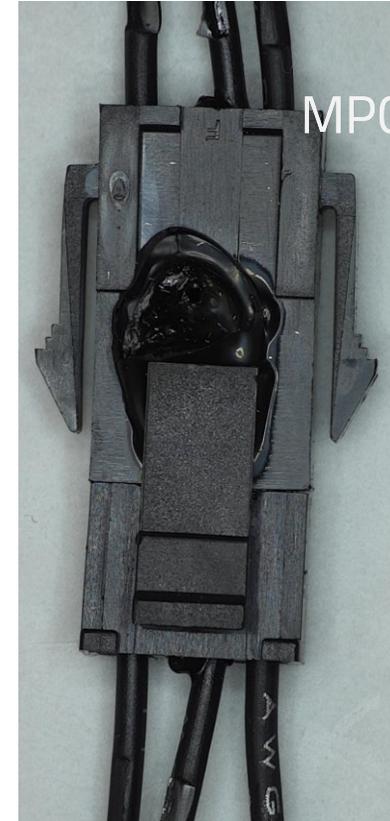
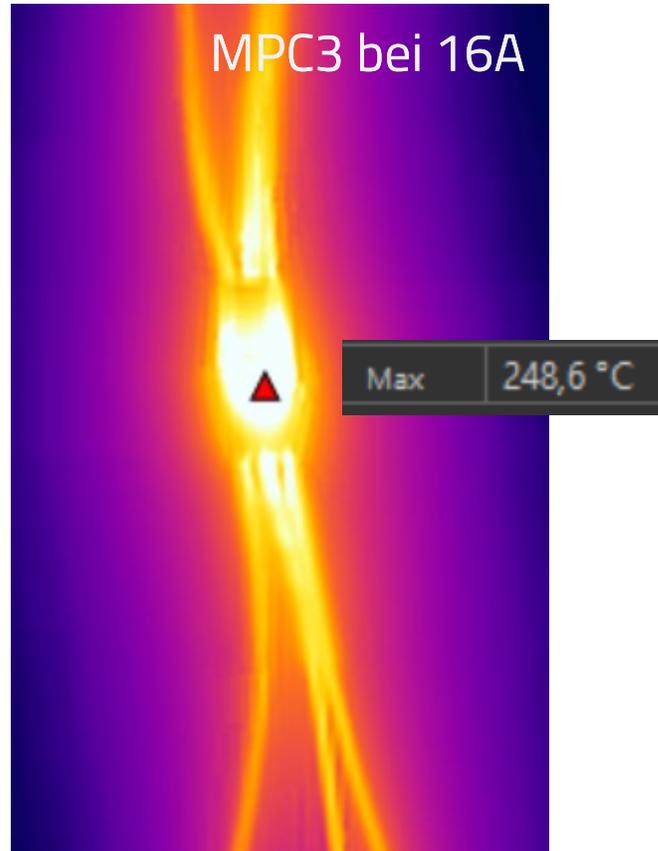
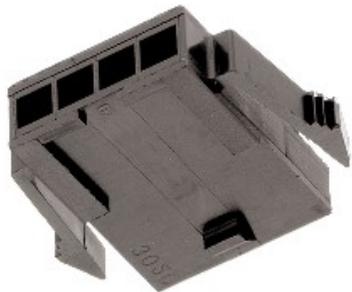
**"Horror" Strom > Arbeitstrom x3
Kein Entflammen**



Fehlerbilder Steckverbinder

Was passiert bei unzulässiger Stromerhöhung?

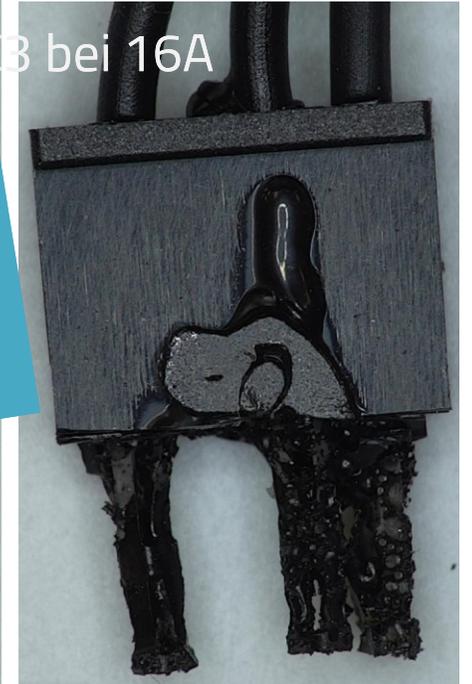
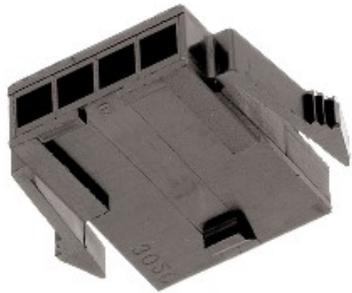
MPC3: 5A - max +105°C



Fehlerbilder Steckverbinder

Was passiert bei unzulässiger Stromerhöhung?

MPC3: 5A - max +105°C



**“Horror” Strom > Arbeitstrom x3
Kein Entflammen**

Agenda

- Aktuelles Design für Steckverbinder
- Einflüsse einer zu hohen Temperatur
- Formeln zur Temperaturänderung
- Möglichkeiten der Wärmeableitung
- Wärmeentwicklung in einem Kabel
- Einige Tricks
- Derating Kurve
- Einschaltstrom (Inrush current)
- Fehlerbilder Steckverbinder
- Zusammenfassung



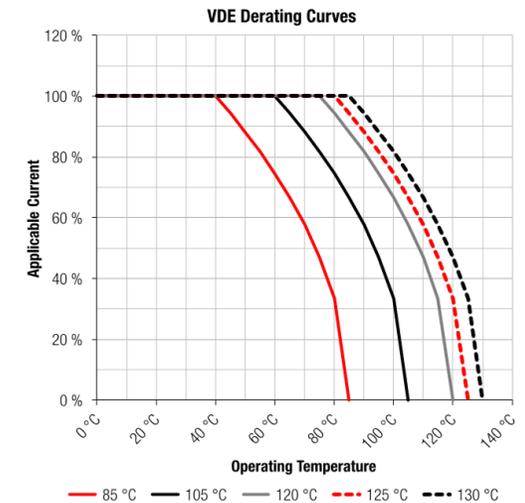
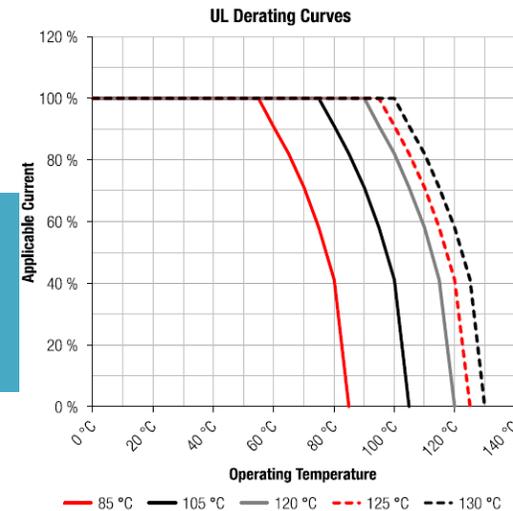
Finale Zusammenfassung

➤ Arbeitsstrom definiert durch:

- UL $\Delta T \leq 30K$
- VDE $\Delta T \leq 45K$

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

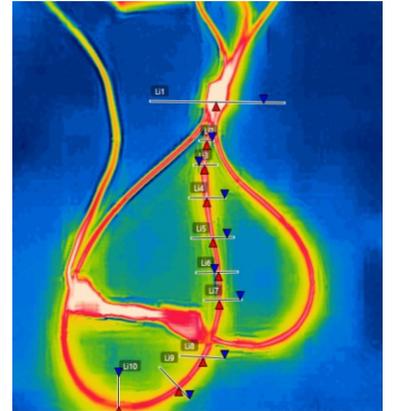
➤ Derating Kurve beachten bei Erreichen der maximalen Betriebstemperatur



Finale Zusammenfassung

➤ Wärmeableitung

- Bei Bestromung sollte sich die Temperatur nach 10-15 Minuten stabilisieren
- Arbeitsstrom gilt für alle Polzahlen
- Leiter erwärmen sich geringer als Steckverbinder
- Leiter dienen zur Wärmeableitung: optimale Länge 10-15cm



➤ In einer geschlossenen Box:

- Leiter nach außen verlegen
- Leiterquerschnitt überdimensionieren

➤ Hohe Sicherheitsreserve bei WE Steckverbindern. Kunststoff schmilzt ohne zu Brennen.



Wärmeaustausch nach außen herstellen



WE eiCan

