

# Leistungsbilanz des elektrischen Heizsystems eines adiabatischen Kalorimeters

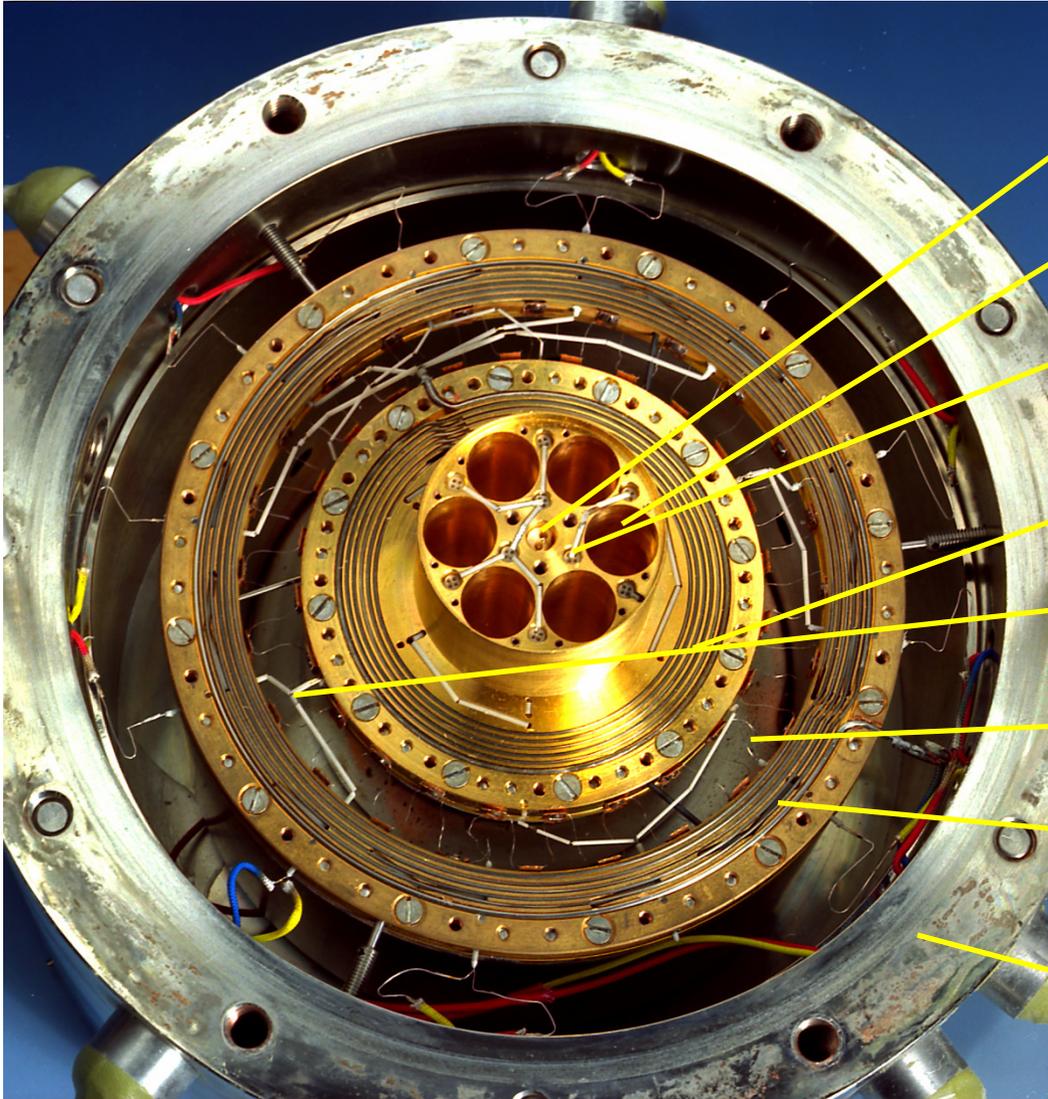
Ronald Pagel



*AG 3.31 Kalorische Größen*

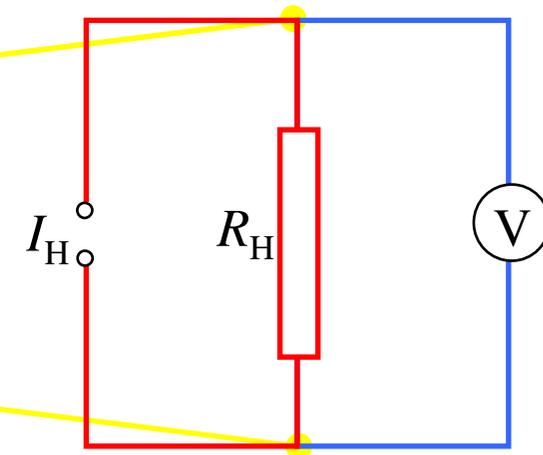
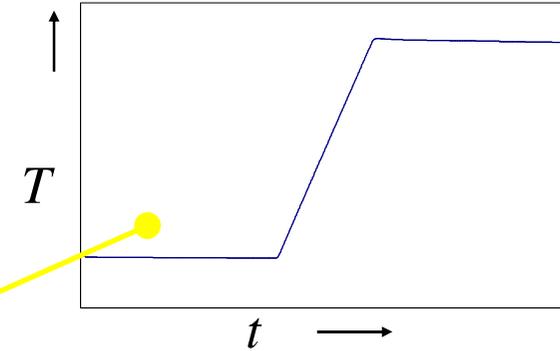
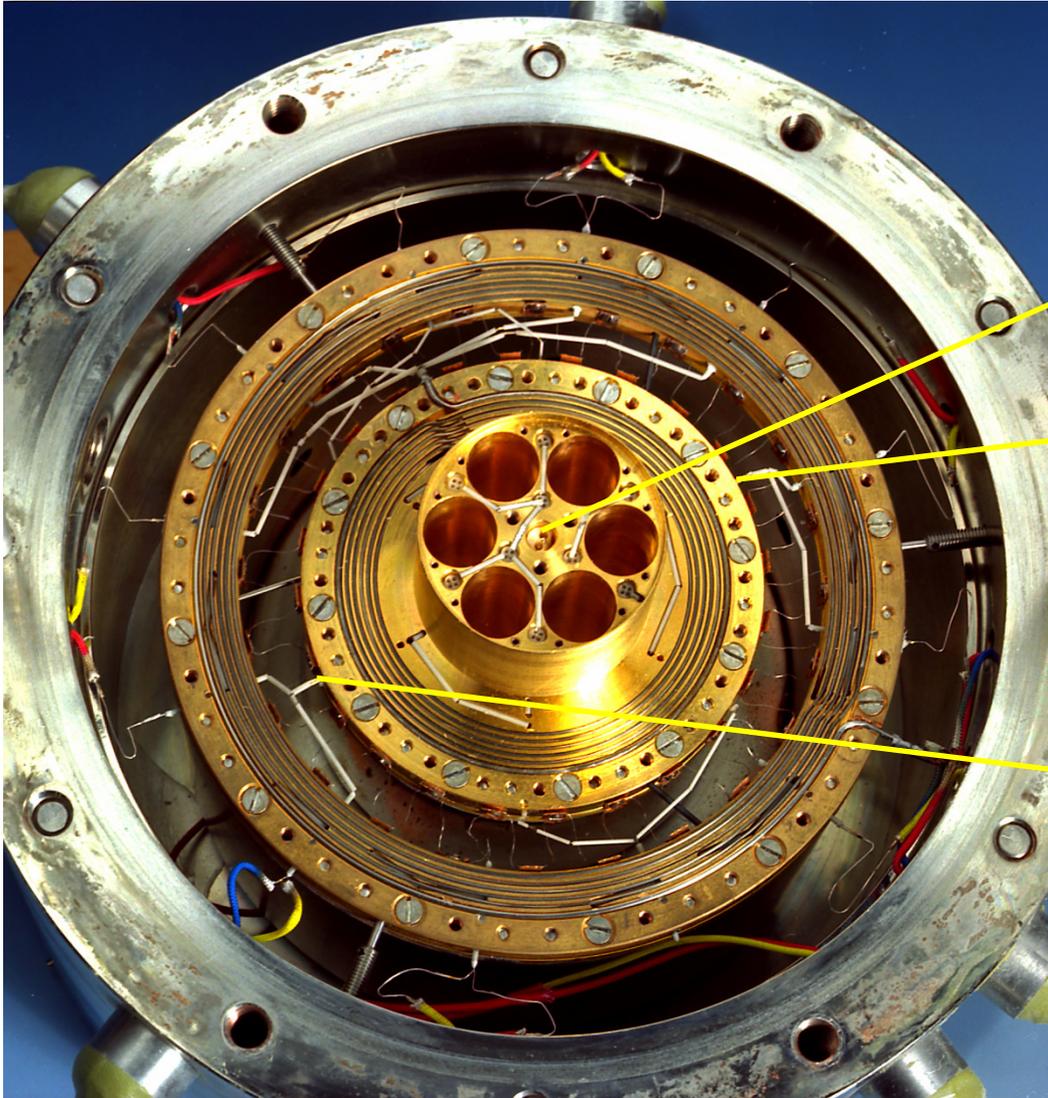
1. Adiabatisches Kalorimeter
  - Aufbau
  - Messaufgaben und Ergebnisse
2. Aufbau des elektrischen Heizsystems unter Berücksichtigung der Zuleitungskorrektur
3. Leistungsbilanz des Heizsystems zur Ermittlung der Zuleitungskorrektur
  - ohne zusätzliche Stromquellen
  - mit zusätzlichen Stromquellen
4. Zusammenfassung

# Aufbau adiabatisches Kalorimeter **PTB**



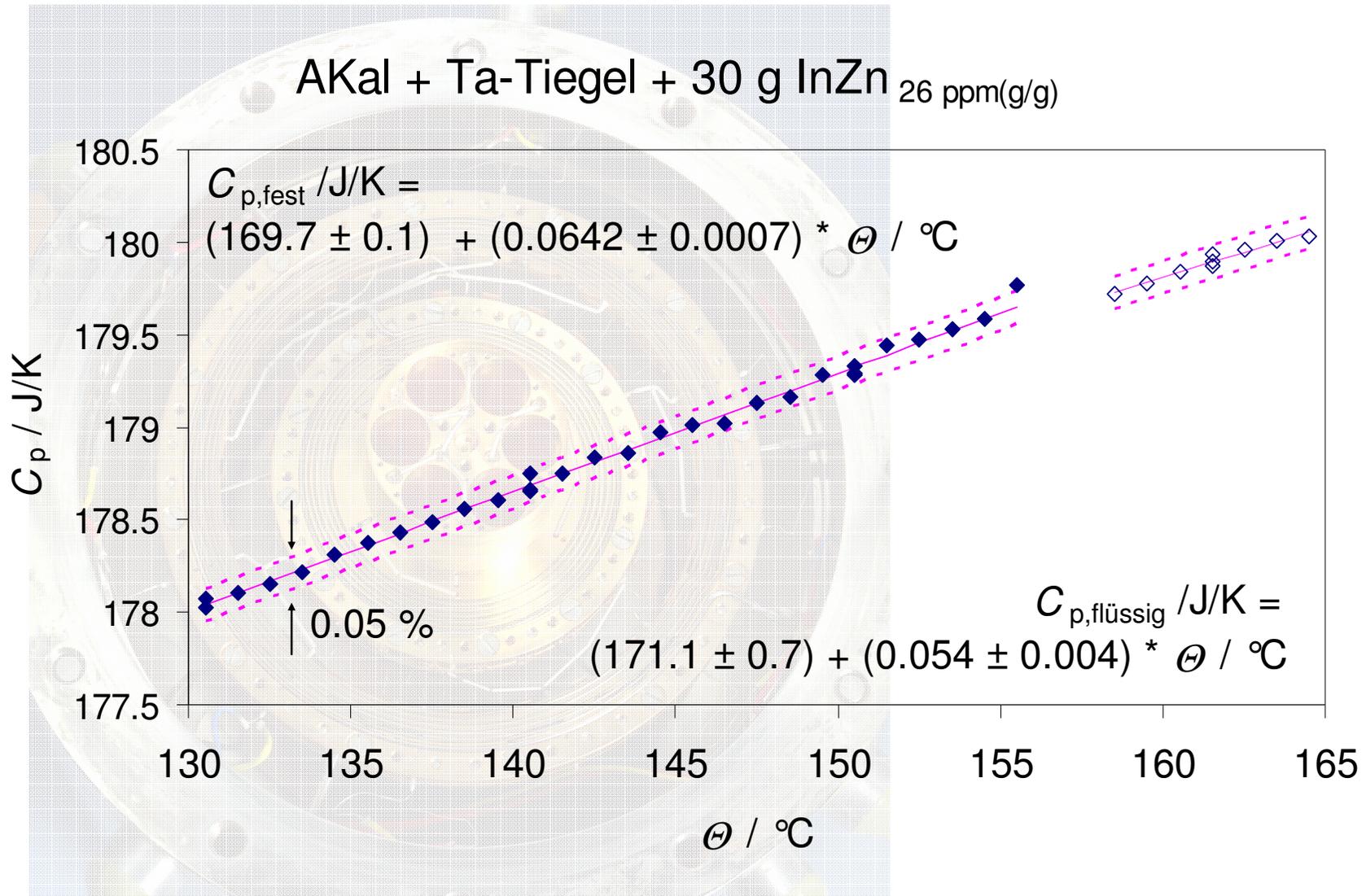
- Pt25
- 6 Probenräume
- Körperheizung  
(9 Kartuschen)
- (Flanschheizung)
- Zuleitungen
- Thermosäule
- Heizung des  
adiabatischen Schilts
- Tauchgefäß

# Ermittlung von $C_p$

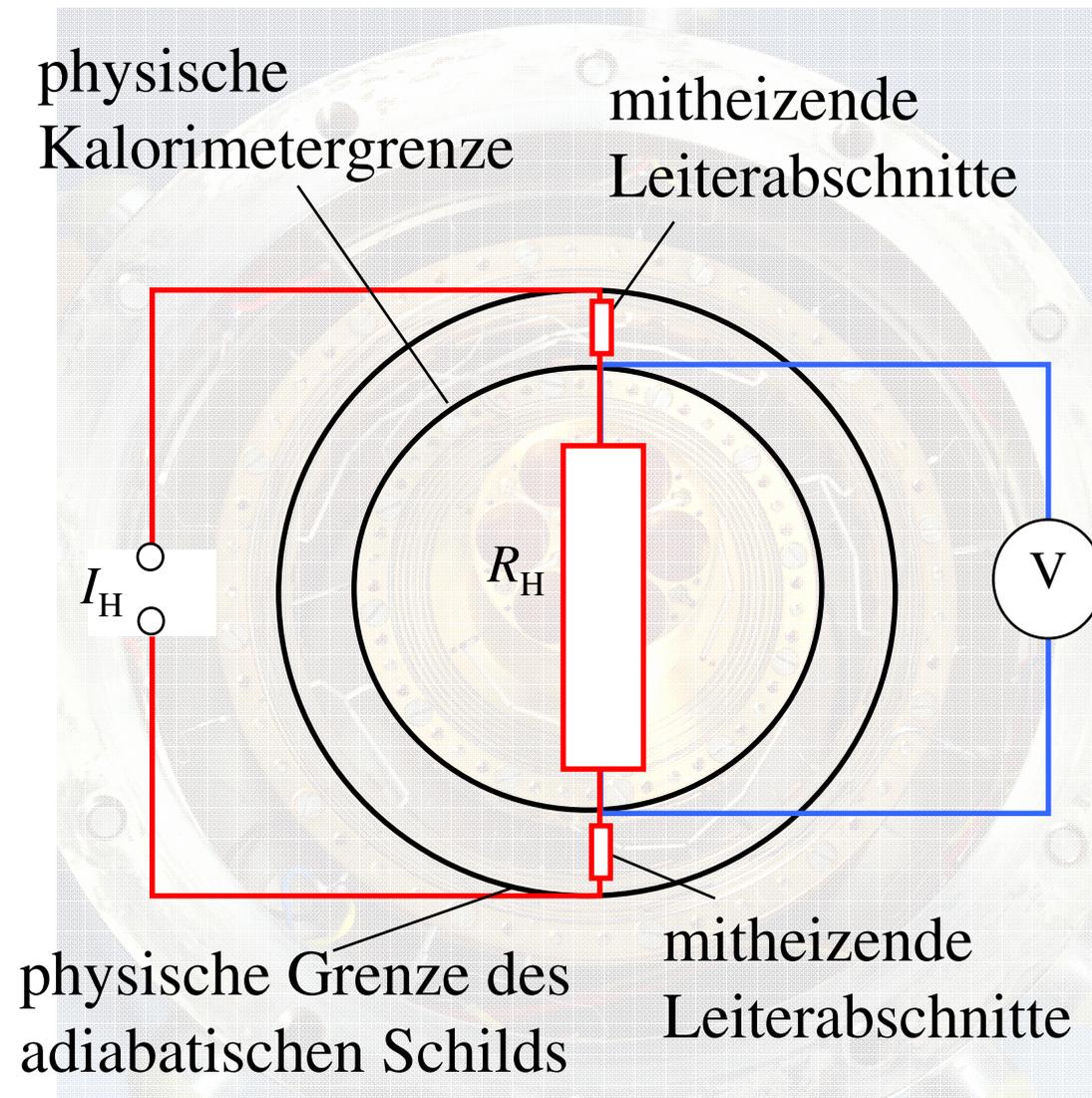


$$C_p = \frac{U \cdot I_H \cdot t}{\Delta T}$$

# Präzise $C_p$ -Messungen



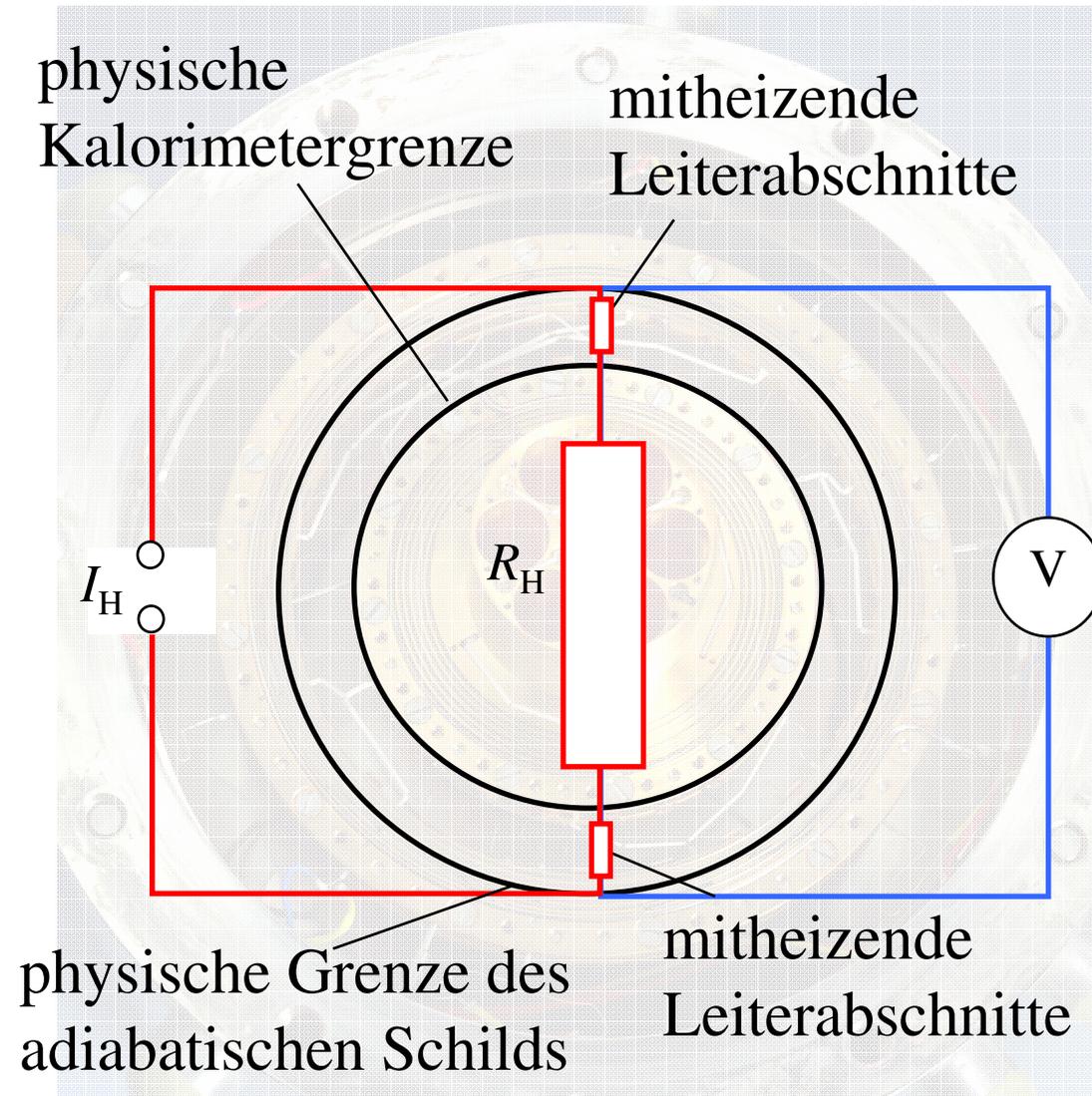
# Design des elektrischen Heizers



Wo soll der Potentialabgriff ansetzen?

- Teile der Stromzuleitungen heizen mit und werden in  $U \cdot I \cdot t$  nicht erfasst
- Fehler bis 0.1 % in Energieermittlung bei mäßigem Design

# Design des elektrischen Heizers

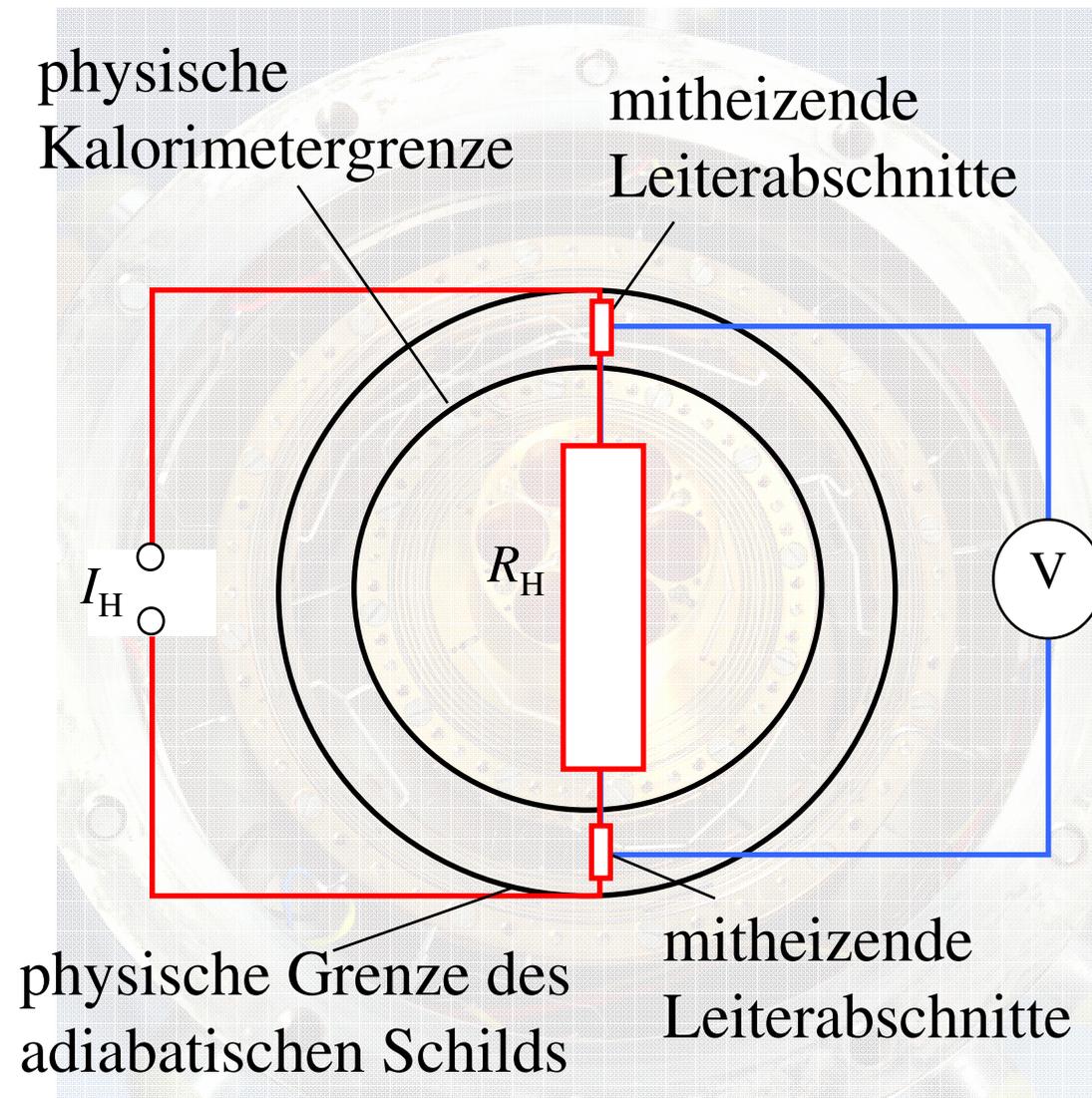


Wo soll der Potentialabgriff ansetzen?

- missachtet Wärmeableitung in elektr. Zuleitungen

thermische Grenze  
 $\neq$   
physische Grenze

# Design des elektrischen Heizers



Wo soll der Potentialabgriff ansetzen?

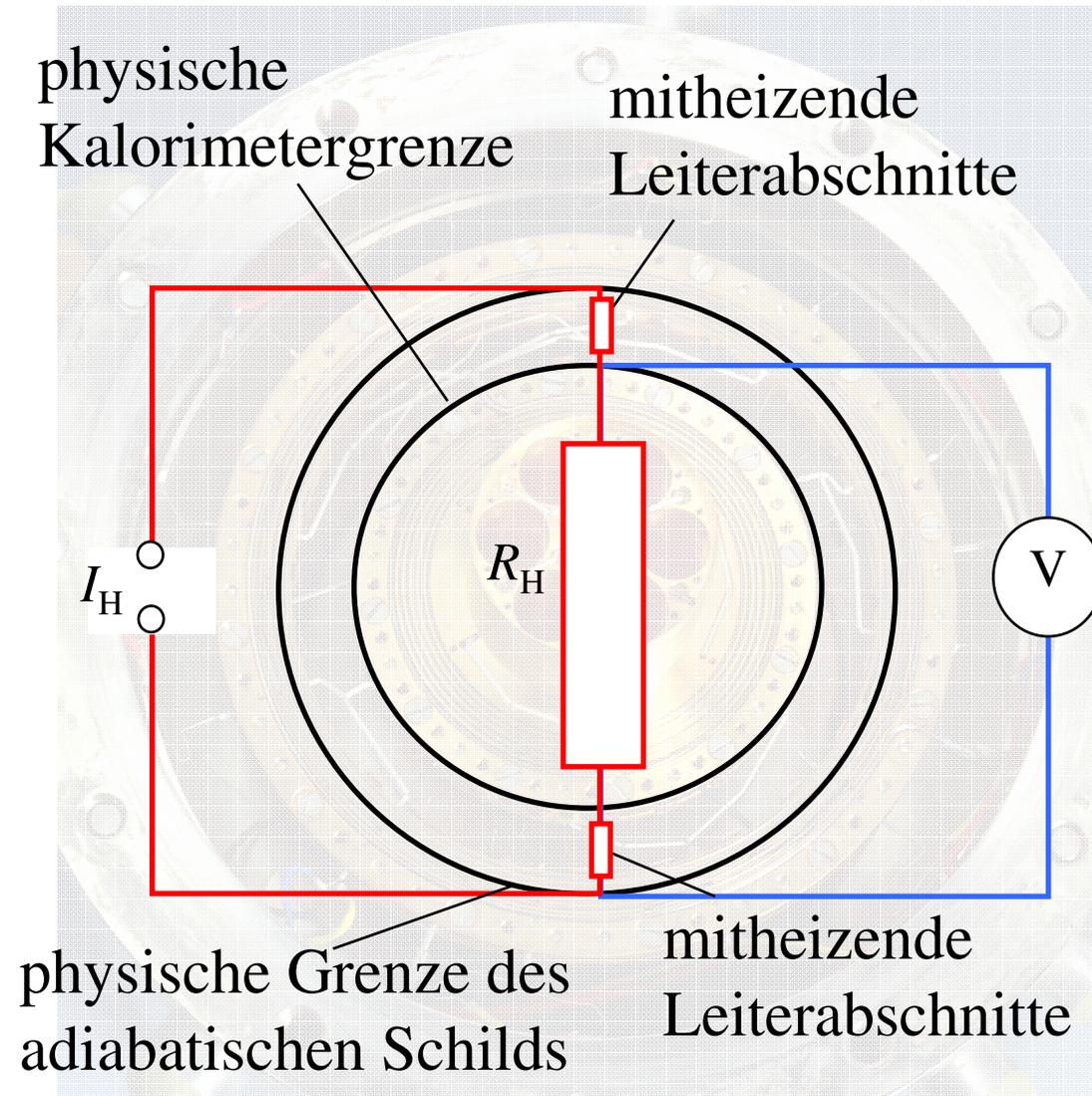
Voraussetzungen:

- $T_{\text{Schild}} = T_{\text{Kal}}$
- gleiche thermische Widerstände und Zuleitungen

Vernachlässigt:

- Wärmeableitung durch Potentialleitungen

# Design des elektrischen Heizers



Wo soll der Potentialabgriff ansetzen?

$$P_{\rightarrow \text{Kal}} = k_1 P_{I\text{-Leitung}} + k_2 (T_{\text{Schild}} - T_{\text{Kal}})$$

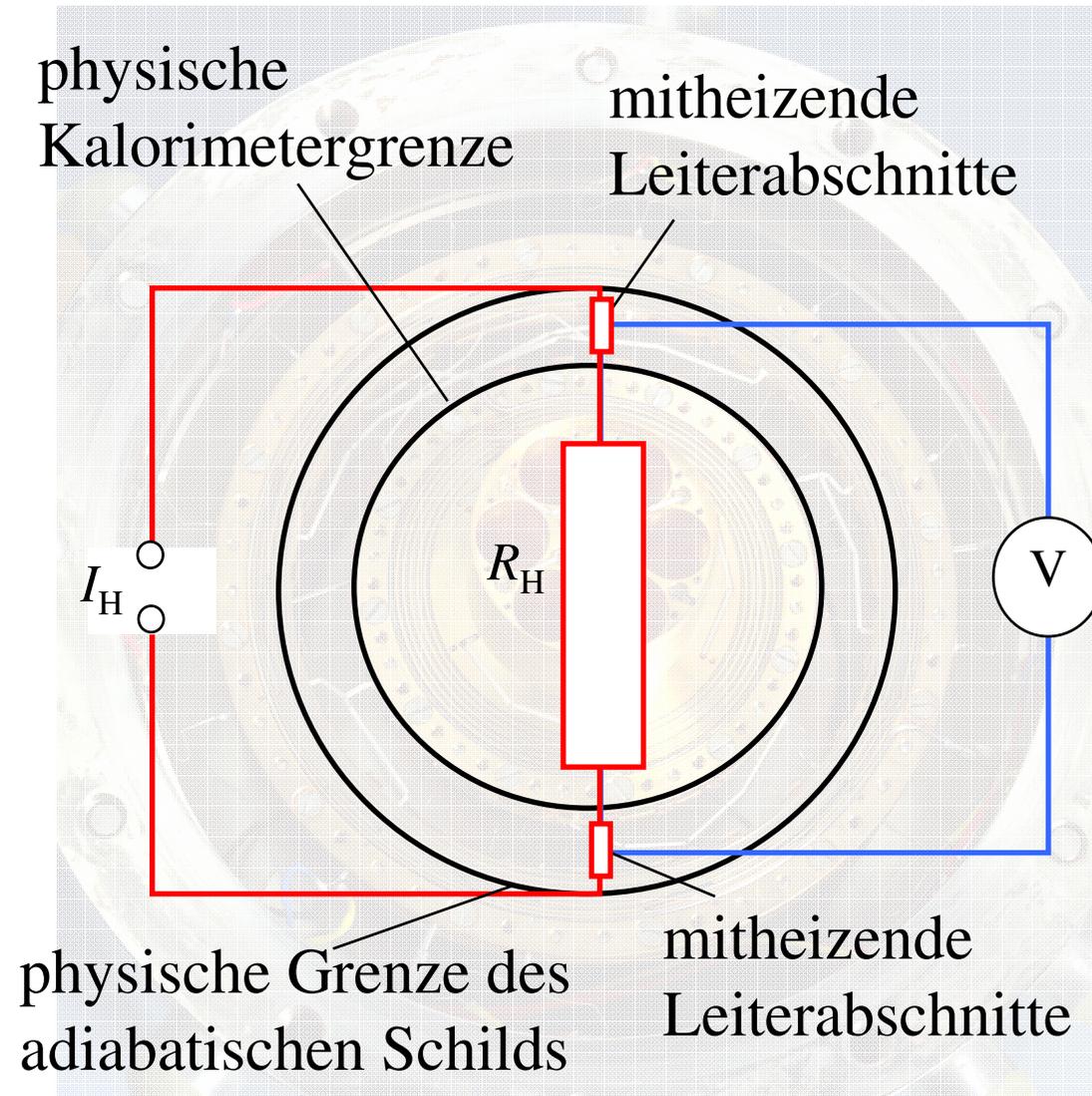
E.D. West, D.C. Ginnings,  
J. Res. Natl. Bur. Std.,  
**60**, 309 (1958)

Analyse von  $k_1, k_2$ :

- Potentialleitungen setzen *effektiv* in der Mitte an

Voraussetzung:  
Symmetrie

# Design des elektrischen Heizers



Gewählte Lösung:

- mittiger Potentialabgriff
- $R_H \gg R_{Zuleitungen}$

• **Messung**

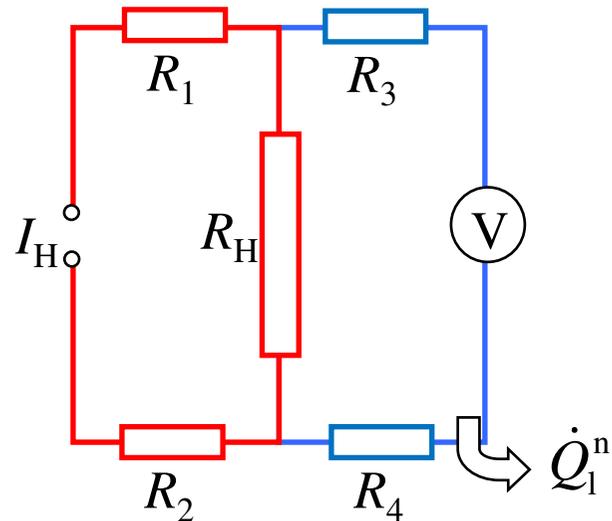
- Abschätzung:

$$R_H \approx 180 \Omega$$

$$R_{Zuleitungen} \approx 0.07 \Omega$$

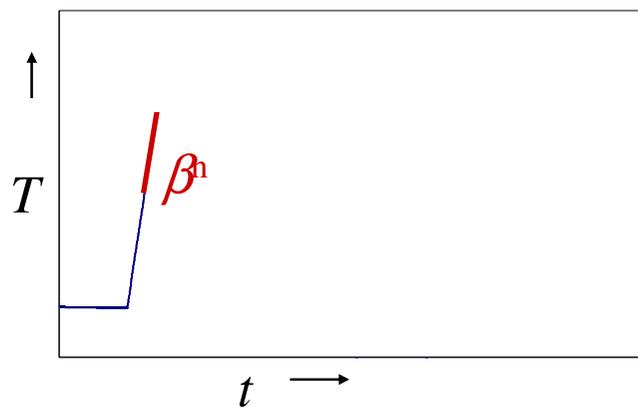
$$F < 1.0004$$

# Korrektion via Leistungsbilanz

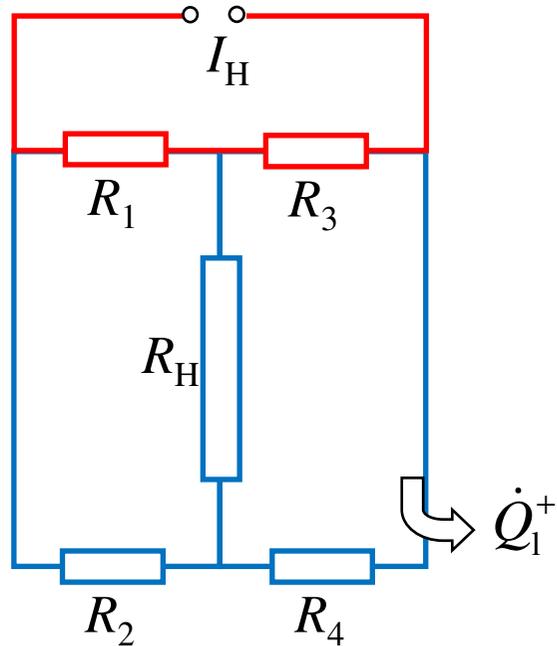


1. "Normal"-Messung

$$C\beta^n = P_H^n + I_H^2(R_1 + R_2) + \dot{Q}_1^n$$



# Korrektur via Leistungsbilanz

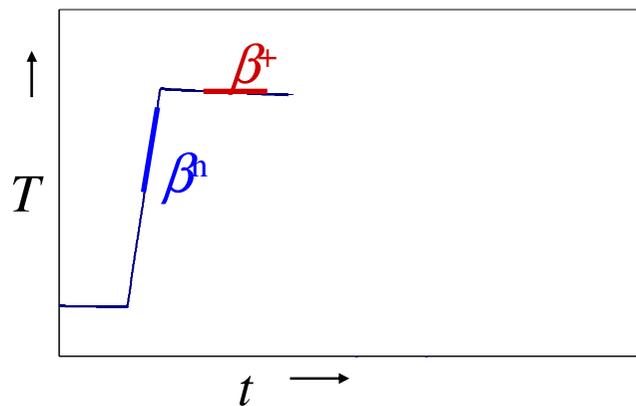


1. "Normal"-Messung

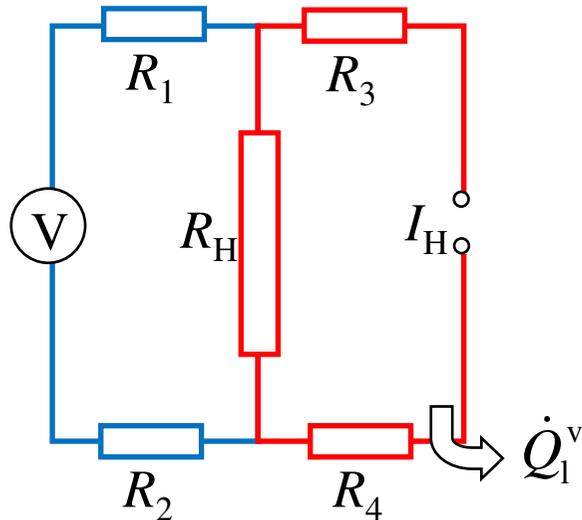
$$C\beta^n = P_H^n + I_H^2(R_1 + R_2) + \dot{Q}_1^n$$

2. Messung auf einer Zuleitungsseite

$$C\beta^+ = I_H^2(R_1 + R_3) + \dot{Q}_1^+$$



# Korrektion via Leistungsbilanz



1. "Normal"-Messung

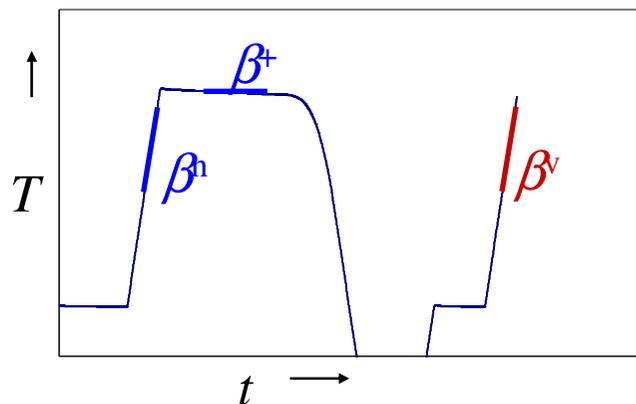
$$C\beta^n = P_H^n + I_H^2 (R_1 + R_2) + \dot{Q}_1^n$$

2. Messung auf einer Zuleitungsseite

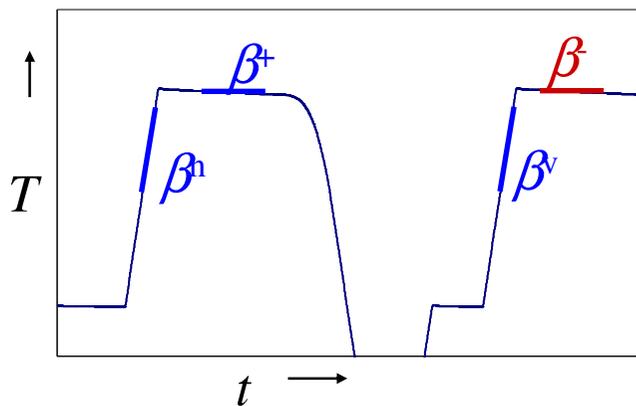
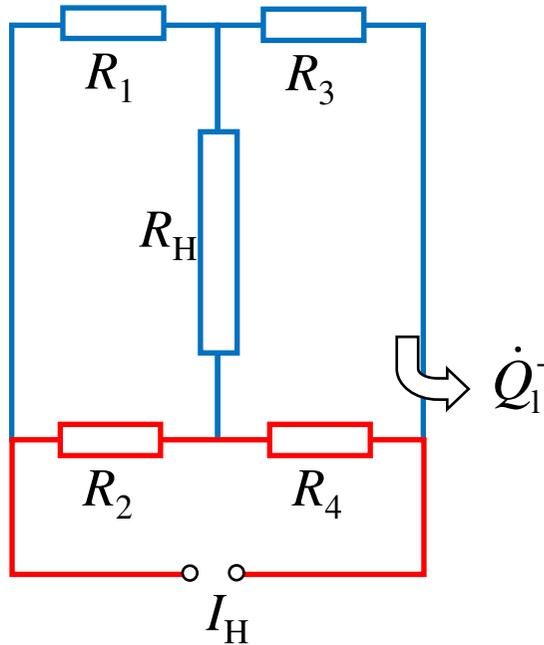
$$C\beta^+ = I_H^2 (R_1 + R_3) + \dot{Q}_1^+$$

3. Messung mit vertauschten elektr. Anschlüssen

$$C\beta^v = P_H^v + I_H^2 (R_3 + R_4) + \dot{Q}_1^v$$



# Korrektion via Leistungsbilanz



1. "Normal"-Messung

$$C\beta^n = P_H^n + I_H^2(R_1 + R_2) + \dot{Q}_1^n$$

2. Messung auf einer Zuleitungsseite

$$C\beta^+ = I_H^2(R_1 + R_3) + \dot{Q}_1^+$$

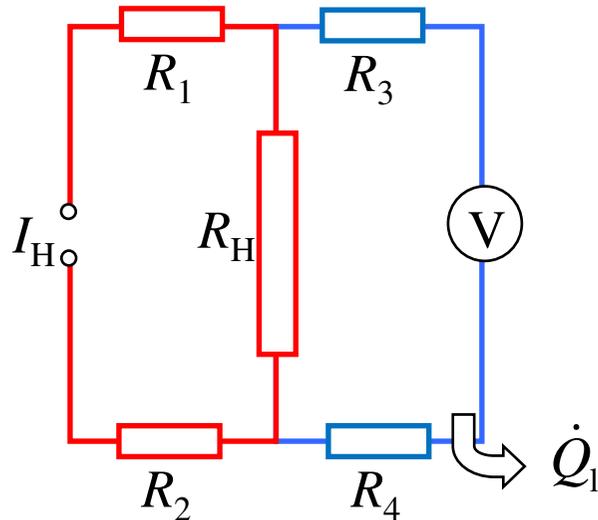
3. Messung mit vertauschten elektr. Anschlüssen

$$C\beta^v = P_H^v + I_H^2(R_3 + R_4) + \dot{Q}_1^v$$

4. Messung auf anderer Zuleitungsseite

$$C\beta^- = I_H^2(R_2 + R_4) + \dot{Q}_1^-$$

# Korrektion via Leistungsbilanz



1. "Normal"-Messung

$$C\beta^n = P_H^n + I_H^2(R_1 + R_2) + \dot{Q}_1^n$$

2. Messung auf einer Zuleitungsseite

$$C\beta^+ = I_H^2(R_1 + R_3) + \dot{Q}_1^+$$

3. Messung mit vertauschten elektr. Anschlüssen

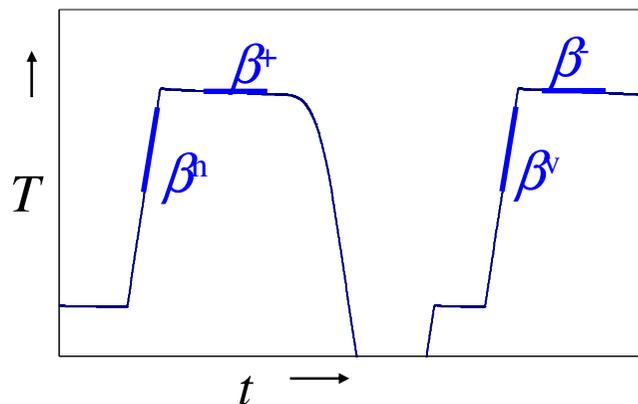
$$C\beta^v = P_H^v + I_H^2(R_3 + R_4) + \dot{Q}_1^v$$

4. Messung auf anderer Zuleitungsseite

$$C\beta^- = I_H^2(R_2 + R_4) + \dot{Q}_1^-$$

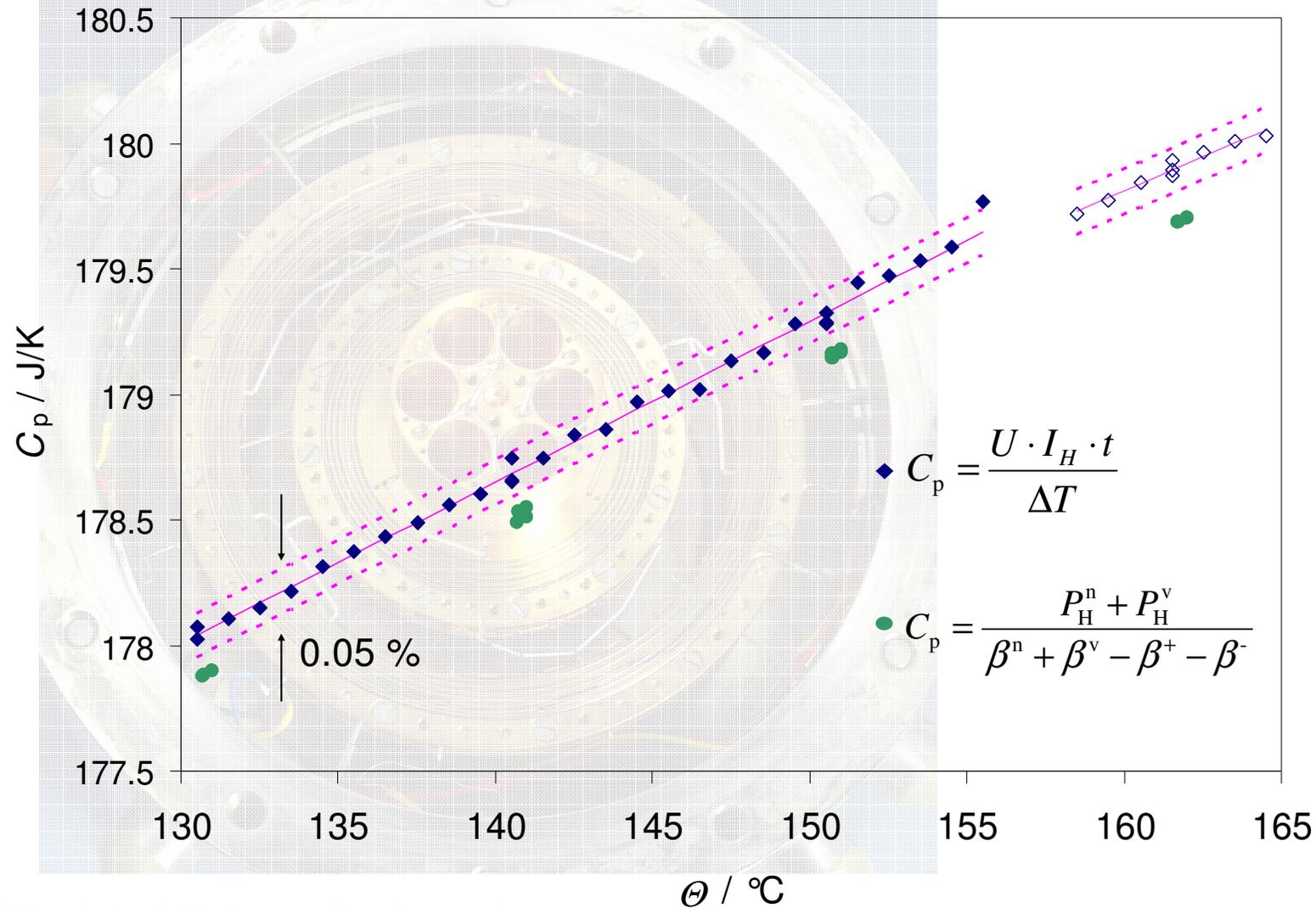
Bilanz:

$$C(\beta^n + \beta^v - \beta^+ - \beta^-) = P_H^n + P_H^v$$



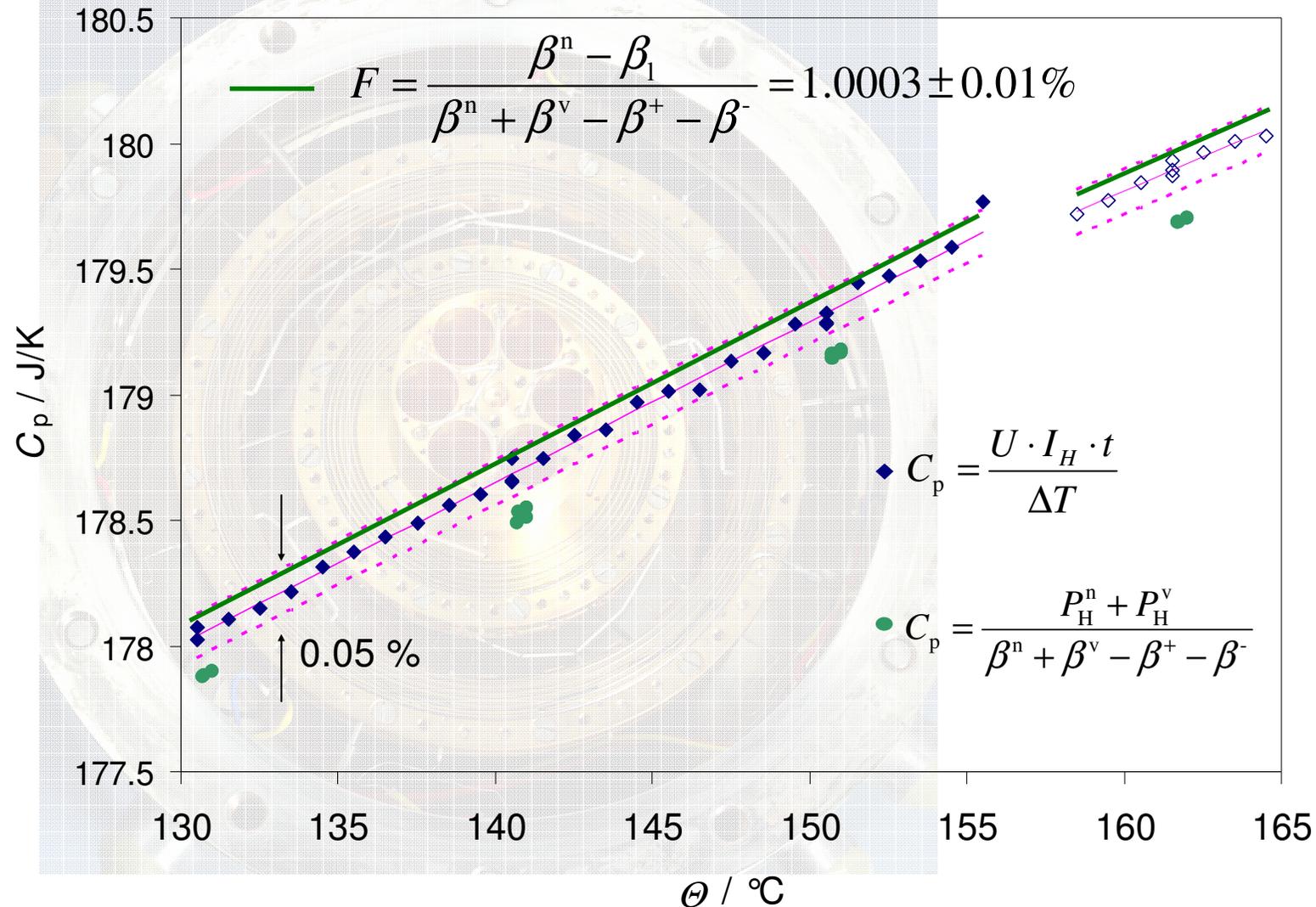
# $C_p$ -Ergebnisse

AKal + Ta-Tiegel + 30 g InZn<sub>26 ppm(g/g)</sub>

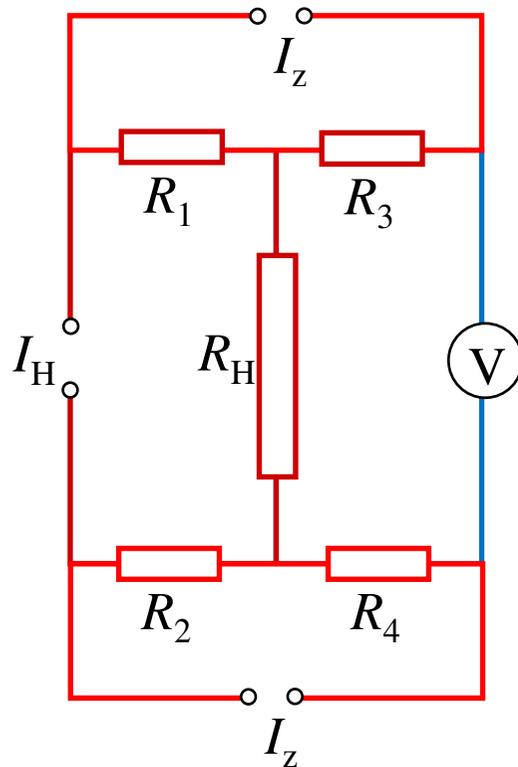


# Zuleitungskorrektionsfaktor

AKal + Ta-Tiegel + 30 g InZn<sub>26 ppm(g/g)</sub>



# Zusätzliche Ströme im Heizkreis



$$P = P_H + (I_H - I_z)^2 \cdot (R_1 + R_2) + I_z^2 \cdot (R_3 + R_4)$$

Führe  $I_z = k \cdot I_H$  ein

$$P = P_H + k^2 I_H^2 (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) - k I_H^2 \cdot 2(R_1 + R_2) + I_H^2 (R_3 + R_4)$$

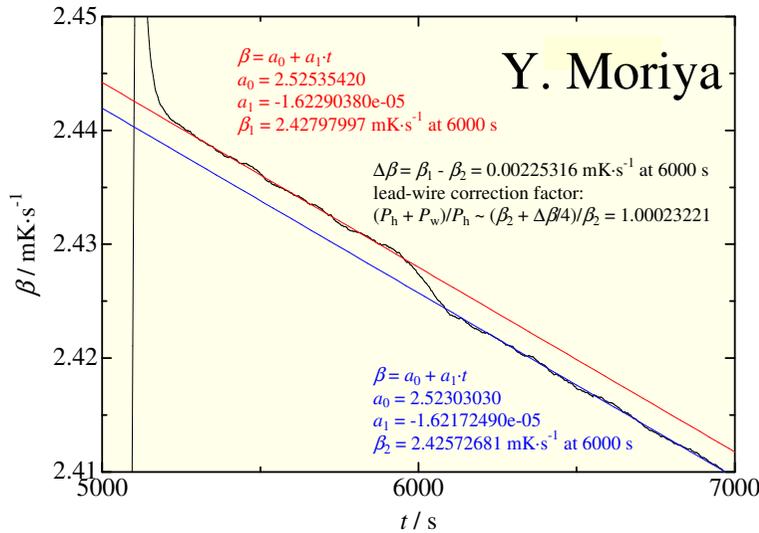
und benutze wegen  $\beta \sim P$  die Funktion

$$\beta(I_z) = ak^2 + bk + c$$

$$F = \frac{P_H + I_H^2 (R_1 + R_2)}{P_H} = \frac{\beta(k=0)}{\beta(k=0) + \frac{\beta(+|k|) - \beta(-|k|)}{4|k|}} = \frac{c}{c + \frac{b}{2}}$$

Korrektionsmethode für das Heizsystem einer Wärmeleitfähigkeitsapparatur:  
W. Hemminger, J. Lohrengel, H.-W. Krupke, PTB-Mitteilungen, **98** 1/88

# Korrektionsfaktor mit $I_z$

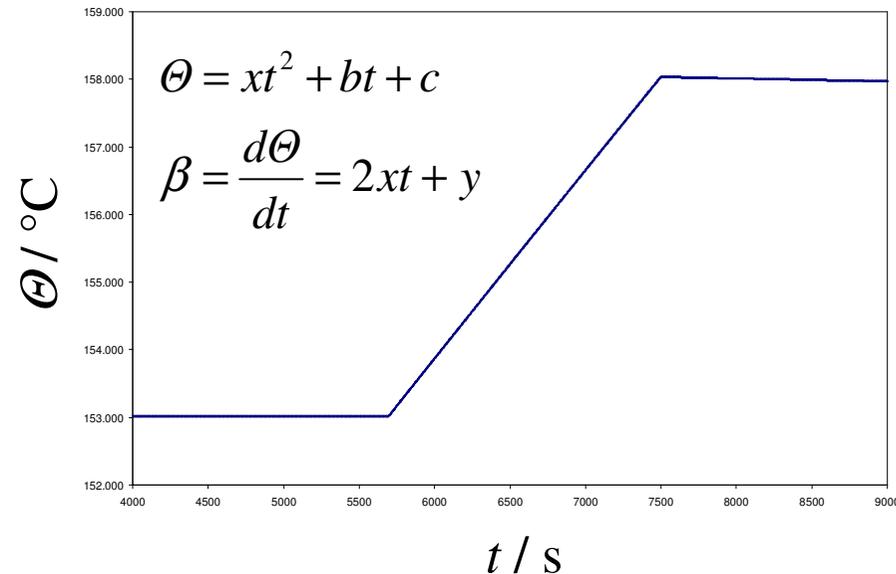


1.  $I_z = 50 \text{ mA}$
2.  $I_z = -50 \text{ mA}$

Messungen bei  $I_z = -60 \text{ mA} \dots +60 \text{ mA}$   
 ( $k = -1.2 \dots +1.2$ )

$$\Rightarrow \beta(k) = ak^2 + bk + c \quad F = \frac{c}{c + \frac{b}{2}}$$

$F = 1.0002 \pm 0.005\%$   
 Stark temperaturabhängig!??



<b>Methode</b>	<b>F</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Design des Heizsystems und Abschätzung	$< 1.0004$	einfach	nur obere Grenze, unterschätzt Wärmeleitung
Leistungsbilanz ohne zusätzliche Stromquellen	$1.0003 \pm 0.01 \%$	Identische thermische Bedingungen, $C_p$ ermittelbar	vernachlässigt $\Theta$ -Abhängigkeit der Heizraten, ungeklärte $C_p$ -Differenz
Leistungsbilanz mit zusätzlichen Stromquellen	$1.0002 \pm 0.005 \%$	berücksichtigt $\Theta$ -Abhängigkeit der Heizraten	veränderte thermische Bedingungen, starke $\Theta$ -Abhängigkeit des Faktors, Stromfluss in Potentialleitungen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!