

The LINSEIS logo is rendered in a stylized, blue, italicized font with a double-line underline. The letters are spaced out and have a metallic, three-dimensional appearance.

# LINSEIS

Vielitzer Straße 43  
95100 Selb  
GERMANY

Tel.: 0049 9287 8800  
Fax: 0049 9287 70488

E-mail: [info@linseis.de](mailto:info@linseis.de)

Linseis Inc.  
109 North Gold Drive  
Robbinsville NJ 08691

Tel.: (609) 799-6282  
Fax: (609) 799-7739

E-mail: [info@linseis.com](mailto:info@linseis.com)

**Thermal Analysis & Thermophysical Properties**

The LINSEIS logo is rendered in a stylized, blue, italicized font with a double-line underline. The letters are spaced out and have a metallic, three-dimensional appearance.

# LINSEIS

# The Company

Since 1957 Linseis Corporation delivers outstanding service, know how and leading innovative products in the field of thermal analysis and thermal physical properties. We are driven by innovation and customer satisfaction. Customer orientation, innovation, flexibility and last but not least highest quality are what Linseis stands for from the very beginning. Thanks to these fundamentals our company enjoys an exceptional reputation among the leading scientific and industrial companies.

*Claus Linseis*  
*Geschäftsführer*



**LINSEIS**

# The Company



Linseis Germany

Vielitzerstr. 43

95100 Selb



Linseis USA

109 North Gold Drive

Robbinsville / NJ 08691

**LINSEIS**

**Thermische Analyse als Hilfsmittel zur  
Entwicklung neuartiger / optimierter  
Werkstoffe für Thermoelektrische  
Generatoren**

**LINSEIS**

# Thermoelektrische Generatoren

**Ziel: Direkte Umwandlung von Wärme in elektrische Energie.**

## **Thermoelektrische Generatoren TEG:**

Erhältlich seit ca. 1960 mit 10 bis 550 W

### **Vorteile**

- Hohe Zuverlässigkeit
- Lange Service Intervalle
- Wartungsarm
- Langlebig

**LINSEIS**

# Anwendungsgebiet

Abwärmennutzung im Auto reduziert CO<sub>2</sub> Emission

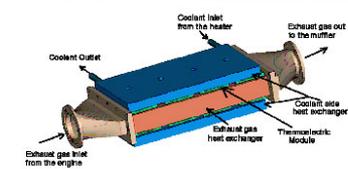
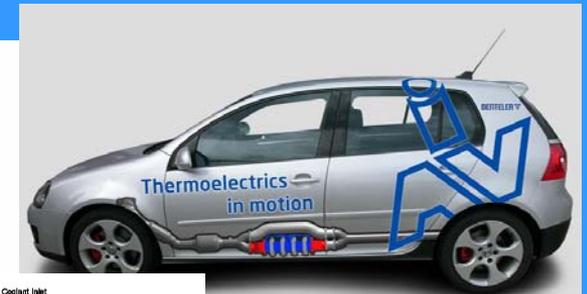
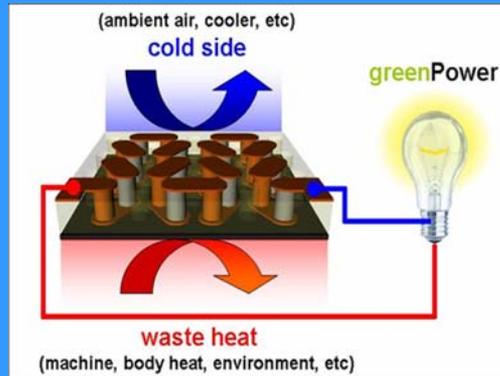
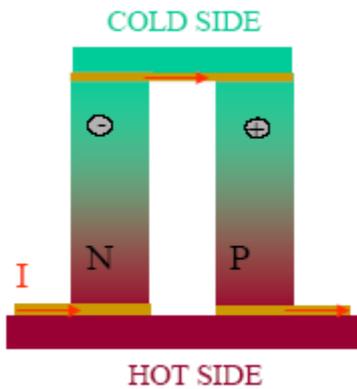


BMW 5 Serie mit thermoelektrischen Generator, Start 2010

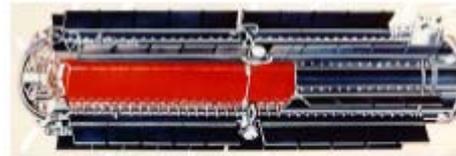
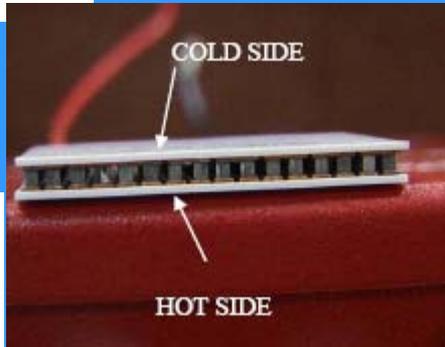
**LINSEIS**

# Anwendungsgebiet

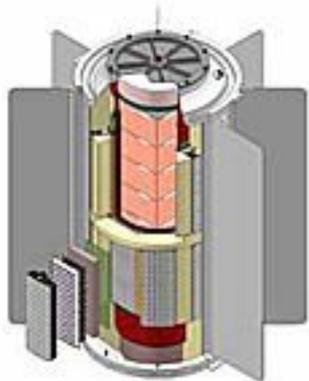
Automobilbranche, Energiesektor, Maschinen mit Abwärme, Luft- und Raumfahrt, Biomassekleinverfeuerung, etc.



Schematic of a TEG incorporated with a special heat exchanger installed in an exhaust system. Courtesy of Dr. Bassem Ramadan.



GPMS Radioisotope  
Thermoelectric Generator



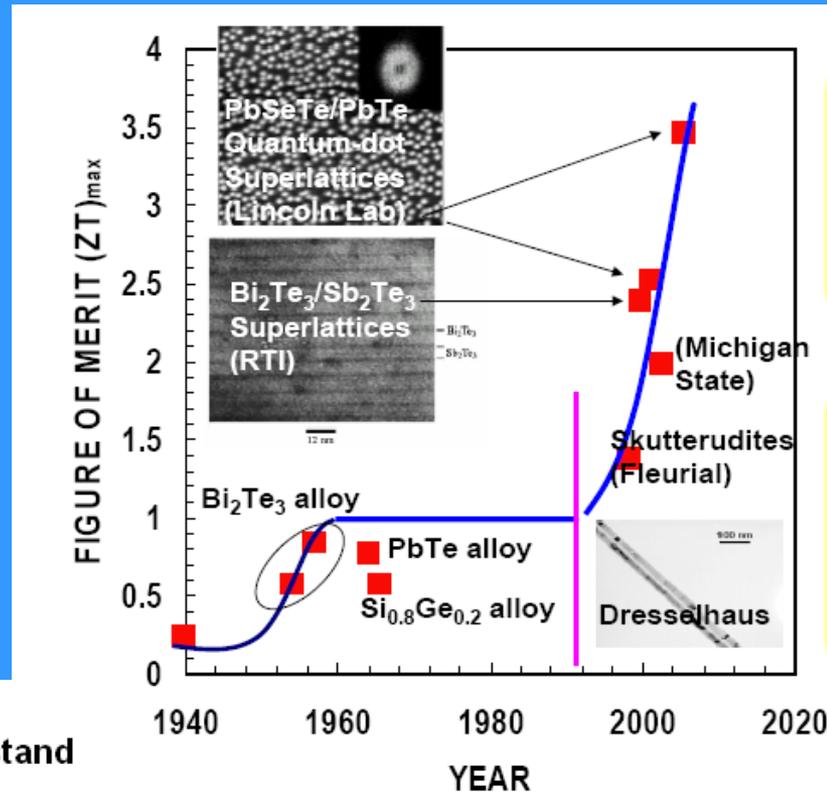
# Werkstoffoptimierung

## Auswahl und Optimierung von thermoelektrischen Material

=> Stetige  
Verbesserung  
des Materials

$$ZT = \frac{S^2 * T}{\rho * \lambda}$$

**S**: Seebeck-Koeffizient  
**ρ**: spezifischer elektrischer Widerstand  
**λ**: Wärmeleitfähigkeit



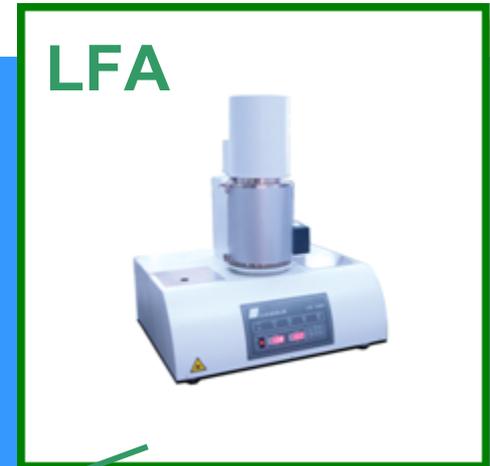
PbTe/PbSeTe	Nano	Bulk
S <sup>2</sup> σ (μW/cmK <sup>2</sup> )	32	28
k (W/mK)	0.6	2.5
ZT (T=300K)	1.6	0.3

Harman et al., Science, 2003

Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub> /Sb <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	Nano	Bulk
S <sup>2</sup> σ (μW/cmK <sup>2</sup> )	40	50.9
k (W/mK)	0.6	1.45
ZT (T=300K)	2.4	1.0

Venkatasubramanian et al., Nature, 2002.

# Bestimmung der Figure of Merit



$$ZT = \frac{S^2 * T}{\rho * \lambda}$$

$$\lambda = \alpha * \rho_{(Dichte)} * C_p$$



**S:** Seebeck-Koeffizient  
 **$\rho$ :** spezifischer elektrischer Widerstand  
 **$\lambda$ :** Wärmeleitfähigkeit

# Was ist der Seebeck-Effekt?

**Der Seebeck Effekt ist ein thermoelektrischer Effekt**

*Phänomen: Eine Temperaturdifferenz erzeugt ein elektrisches Potential*

$$U_{\text{Seebeck}} = S * \Delta T$$

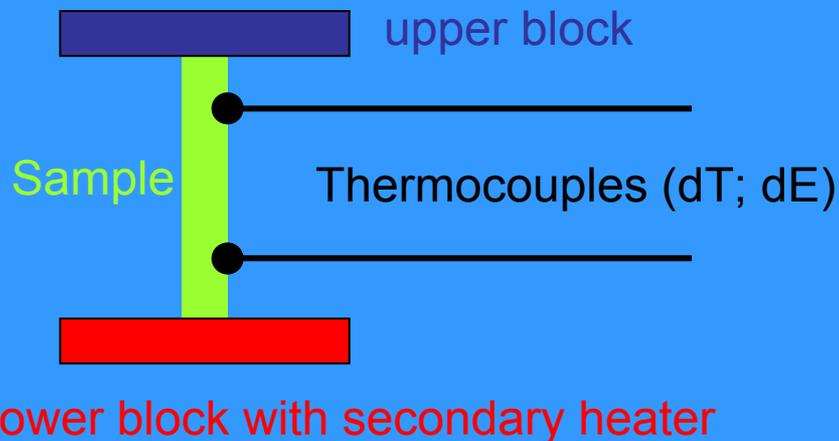
S: Seebeckkoeffizient; [S] = V/K

$\Delta T$ : Temperaturdifferenz

# Messung - Seebeck

Zweiter Heizer erzeugt Temperaturgradienten

Bestimmung des Seebeckkoeffizienten durch Messung der Temperaturdifferenz und der thermo-elektromotorischen Kraft  $dE$  (Spannung)



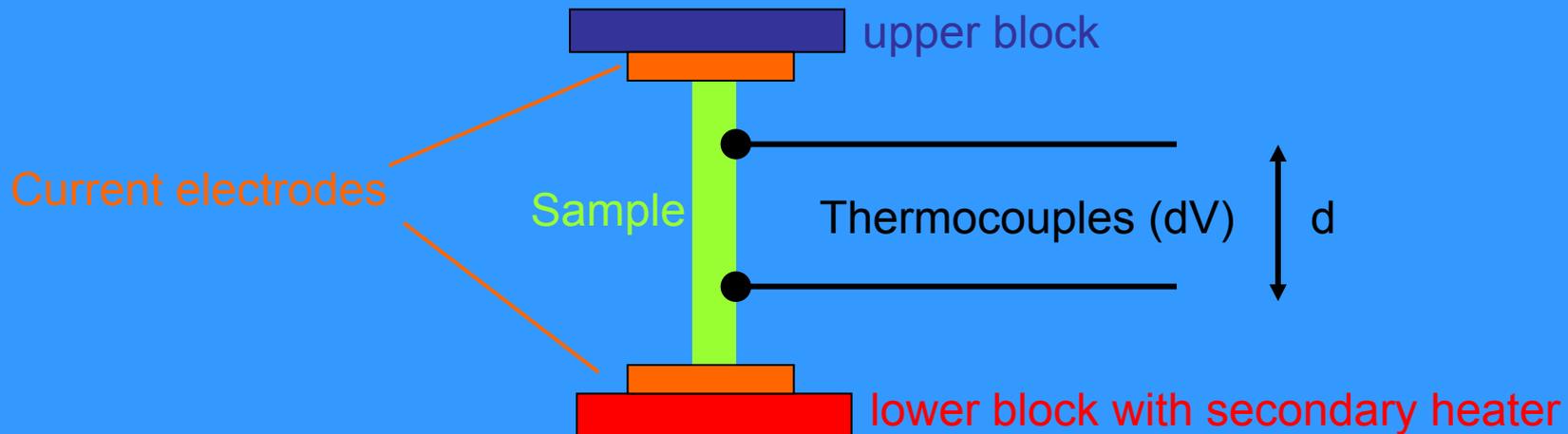
$$S = \frac{dE}{dT}$$

# Messung – Resistivität

Anlegen eines konstanten Stroms an beiden Probenenden

Bestimmung des Spannungsabfalls  $dV$  abzüglich  $dE$

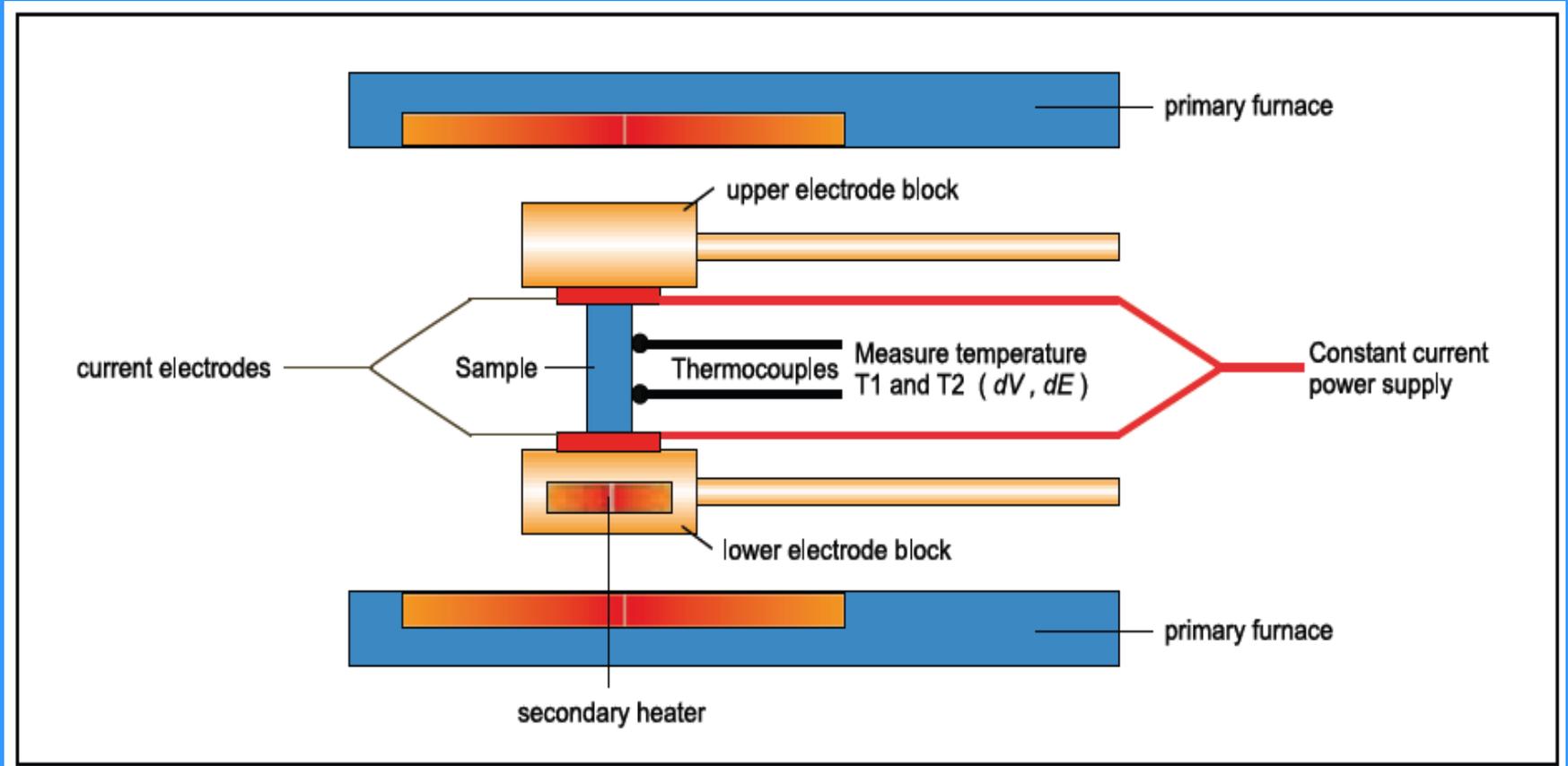
Bestimmung der Probengeometrie und Abstand der Thermoelemente



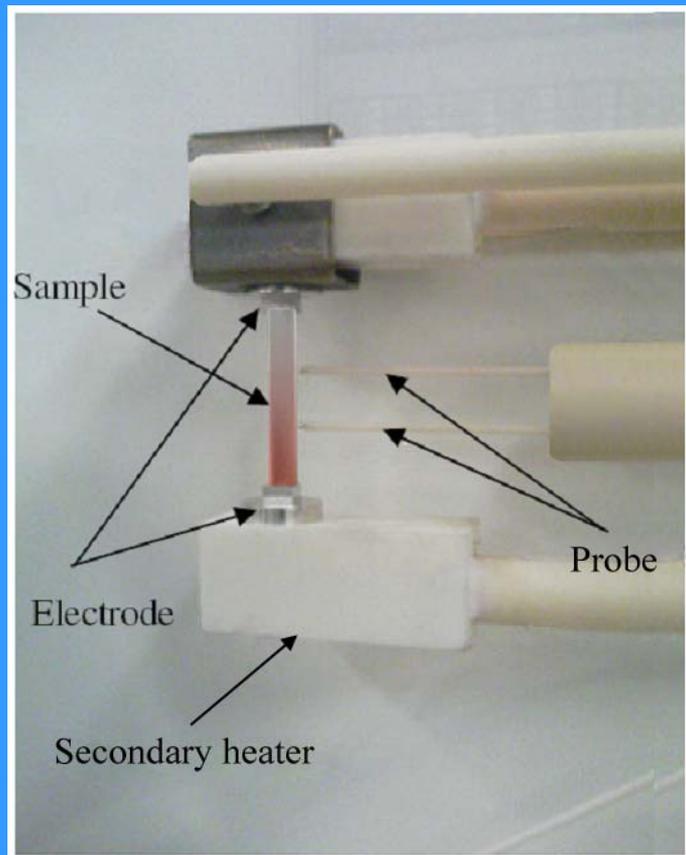
$$R = \frac{dV - dE}{I}$$

$$\rho = R * \frac{A}{d}$$

# Messaufbau



# LSR - Instrument



**LINSEIS**

# Generelle Beschreibung

Simultane Messung des Seebeckkoeffizienten und des spezifischen elektrischen Widerstands

Ausstattung mit Widerstands- oder Infrarot-Ofen möglich

Moderne 32-Bit Software ermöglicht einen automatischen Messablauf

Drähte und Folien können mit einem speziellen Adapter vermessen werden

Design des Probenhalters garantiert höchste Reproduzierbarkeit

Messdaten können leicht exportiert werden

**LINSEIS**

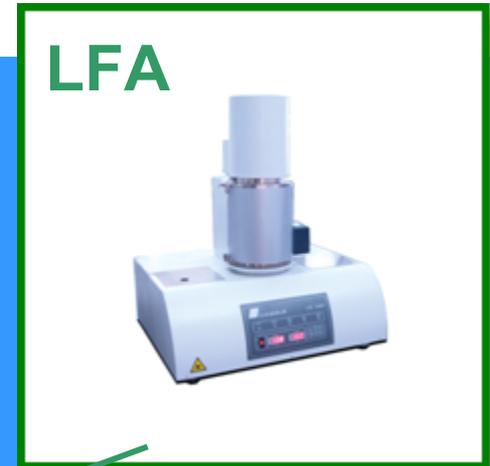
# Spezifikationen

Messmethode	Seebeckkoeffizient: Statisch DC Methode Resistivität : Vier-Punkt-Methode
Probengröße	2 bis 4 mm Vierkant oder Durchmesser 6 bis 22mm Länge (Maximum)
Probenhalter	Horizontal zwischen zwei Elektroden
Elektroden	Nickel, Pt/Rh
Atmosphäre	Inert, oxid., red., vakuum
Anschlussintervall	4,6,8 mm
Kühlwasser	notwendig

# Spezifikationen

Temperaturbereich	RT bis 800 °C; RT bis 1100 °C RT bis 1500 °C -100 °C bis 500 °C
Strom	0 bis 160 mA
Genauigkeit	Seebeck: $\pm 7 \%$ Resistivität: $\pm 10 \%$

# Bestimmung der Figure of Merit



$$ZT = \frac{S^2 * T}{\rho * \lambda}$$

$$\lambda = \alpha * \rho_{(Dichte)} * C_p$$

**S:** Seebeck-Koeffizient  
 **$\rho$ :** spezifischer elektrischer Widerstand  
 **$\lambda$ :** Wärmeleitfähigkeit



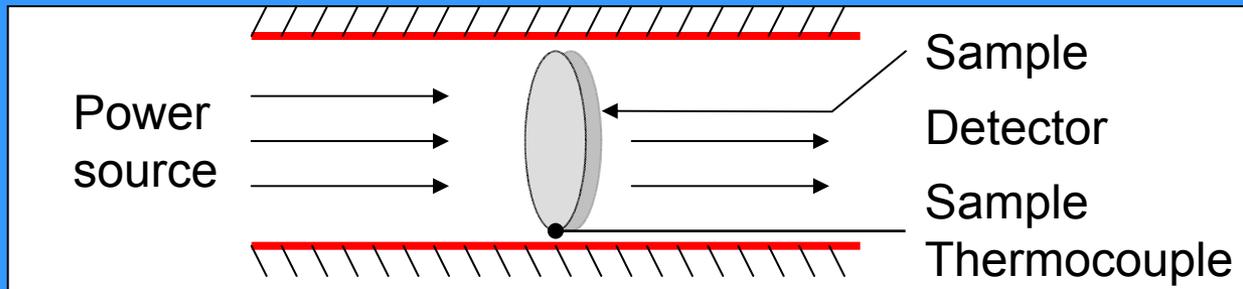
# Norm: ASTM E 1461 - 01

## Standard Methode zur Bestimmung der Temperatur-Leitfähigkeit $\alpha$ mit der Flash Methode

Eine schmale dünne Scheibe wird einem kurzen Strahlungspuls ausgesetzt. Die Energie des Strahlungspuls wird auf der vorderen Seite der Probe absorbiert und der resultierende Temperaturanstieg auf der Probenrückseite aufgezeichnet. Die Berechnung der Temperaturleitfähigkeit erfolgt mit der Probendicke und der erforderlichen Zeit bis die Temperatur der Probenrückseite auf einen definierten Prozentsatz des maximalen Wertes ansteigt. Soll die Temperaturleitfähigkeit der Probe über einen Temperaturbereich bestimmt werden, muss die Messung bei jeder gewünschten Temperatur wiederholt werden.

$$\lambda (T) = \alpha (T) * \rho_{\text{(Dichte)}} (T) * c_p (T)$$

# Messung Temperaturleitfähigkeit



Messgrößen:

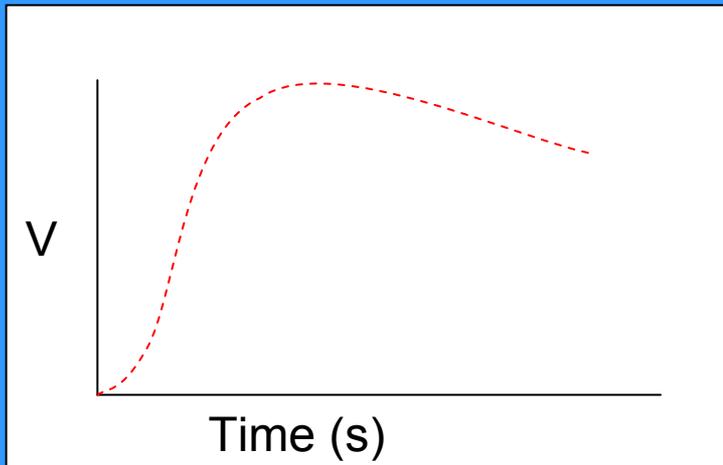
Temperatur (T),

Zeit (t),

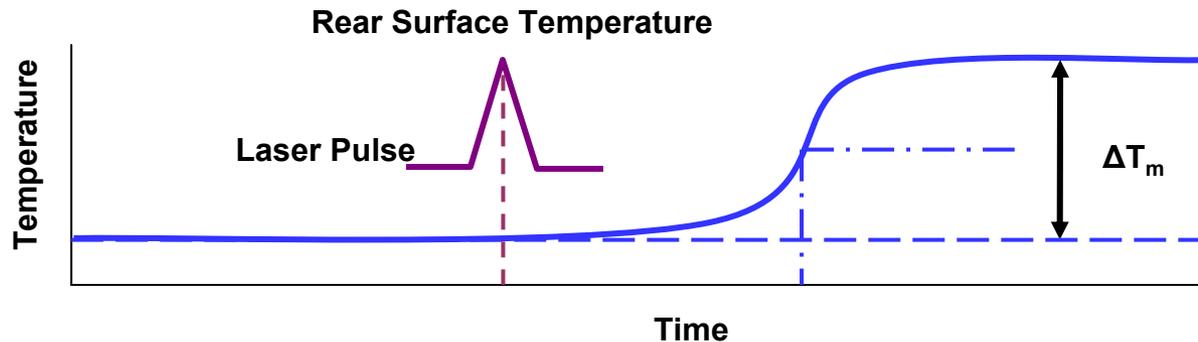
Spannungsänderung ( $\Delta V$ )

( $\Delta V \sim \Delta T$ )

Messkurve



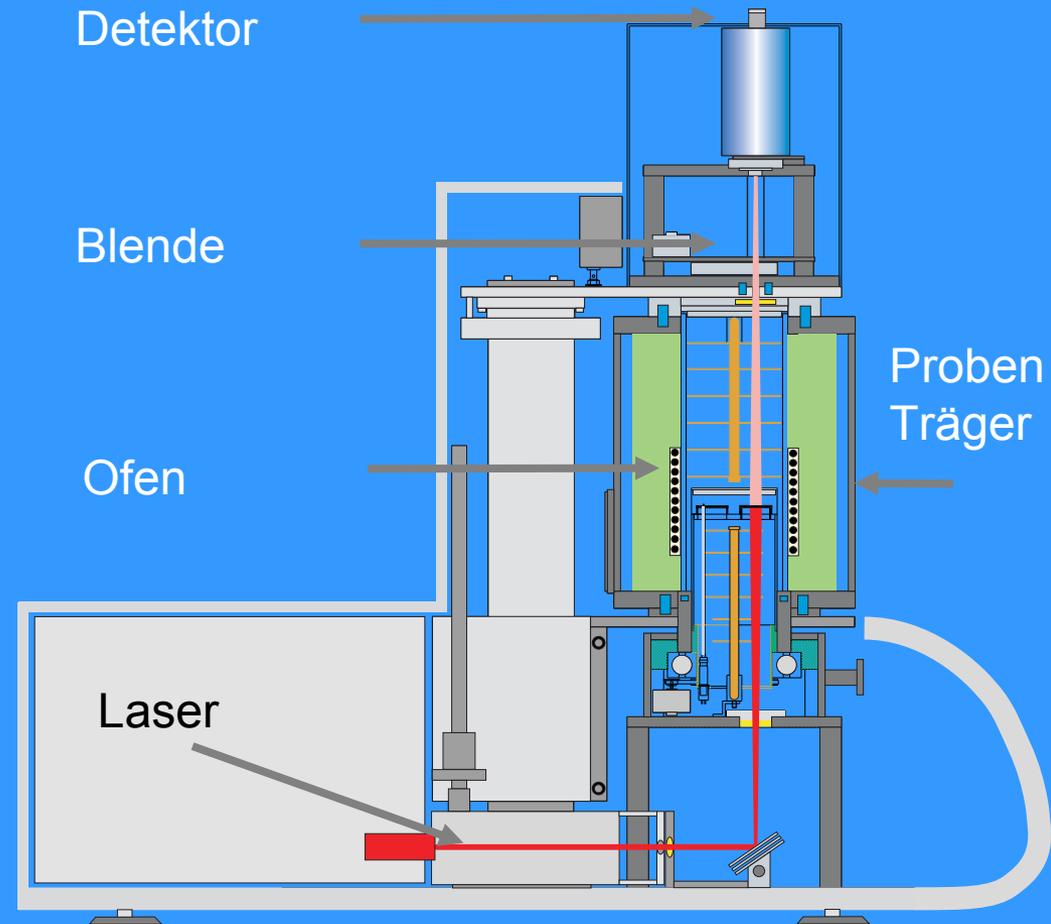
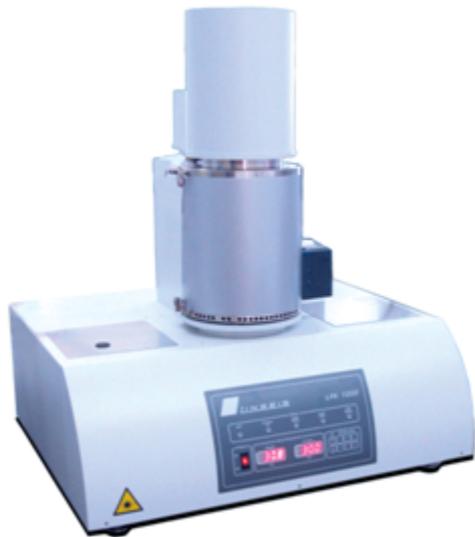
# Berechnung - Temperaturleitfähigkeit



- Bestimmung von  $\Delta T_{\max}$  aus der Basislinie und der Maximaltemperatur
- Bestimmung der erforderlichen Zeit von der Initiierung des Pulses bis die Rückseite der Probe  $\Delta T_{1/2}$  erreicht hat.
- Berechnung der Temperaturleitfähigkeit mit der Probendicke  $L$  und  $\Delta T_{1/2}$

$$\alpha = 0.13879 * L^2 / t_{1/2}$$

# LFA 1000 Laser Flash



LINSEIS

# Spezifikationen

## Baukasten Design

### Öfen

-125 bis 500°C

RT bis 500°X

RT bis 1250°C

RT bis 1600°C

### Pulse Quellen

Xenon oder Laser (austauschbar)

### Sensoren

MCT Detektor (Tieftemperatur)

InSb Detektor (Standard)

### Probenautomat

Runde Proben

bis zu 6 Proben 10 mm diameter

bis zu 6 Proben 12,7 mm diameter

bis zu 3 Proben 25,4 mm diameter

Viereckige Proben

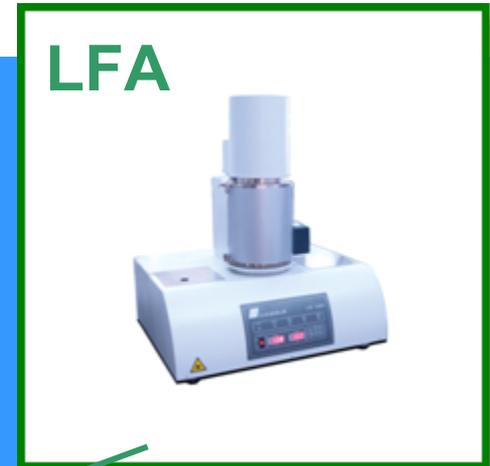
bis zu 6 samples 10x10 mm

Flüssige Proben

Aluminum / Saphir / Platin

The logo for LINSEIS, featuring the company name in a stylized, italicized, blue font with a double underline.

# Bestimmung der Figure of Merit



$$ZT = \frac{S^2 * T}{\rho * \lambda}$$

$$\lambda = \alpha * \rho_{(\text{Dichte})} * C_p$$

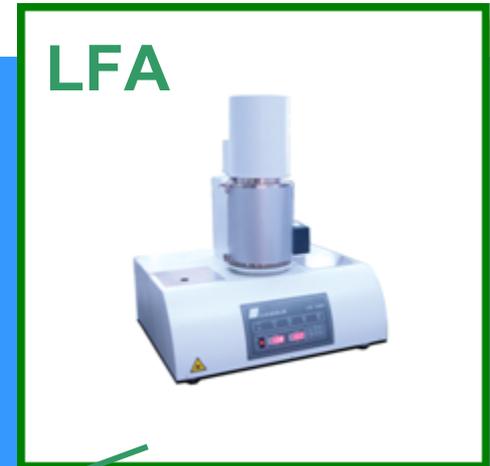
**S:** Seebeck-Koeffizient  
 **$\rho$ :** spezifischer elektrischer Widerstand  
 **$\lambda$ :** Wärmeleitfähigkeit



# Differential Scanning Calorimetry

- DSC misst endotherme und exotherme Übergänge als eine Funktion der Temperatur (relativ zu einer Referenz)
- Die spezifische Wärmekapazität  $C_p$  gibt an, welche Wärmemenge einem Stoff pro Kilogramm zugeführt werden muss, um seine Temperatur um ein Kelvin zu erhöhen.
- Spezielle Messreihe erforderlich zur Bestimmung von  $C_p$

# Bestimmung der Figure of Merit



$$ZT = \frac{S^2 * T}{\rho * \lambda}$$

$$\lambda = \alpha * \rho_{(\text{Dichte})} * C_p$$

**S:** Seebeck-Koeffizient  
 **$\rho$ :** spezifischer elektrischer Widerstand  
 **$\lambda$ :** Wärmeleitfähigkeit



# Beispiel - Messungen

**CIVEN NANOFAB / VENEDIG**

**Forschungsinstitute der Univ. Padova und Venedig**

*Untersuchungen zur Verbesserung der thermoelektrischen  
Eigenschaften*

**LINSEIS**

# Beispiel - Messungen

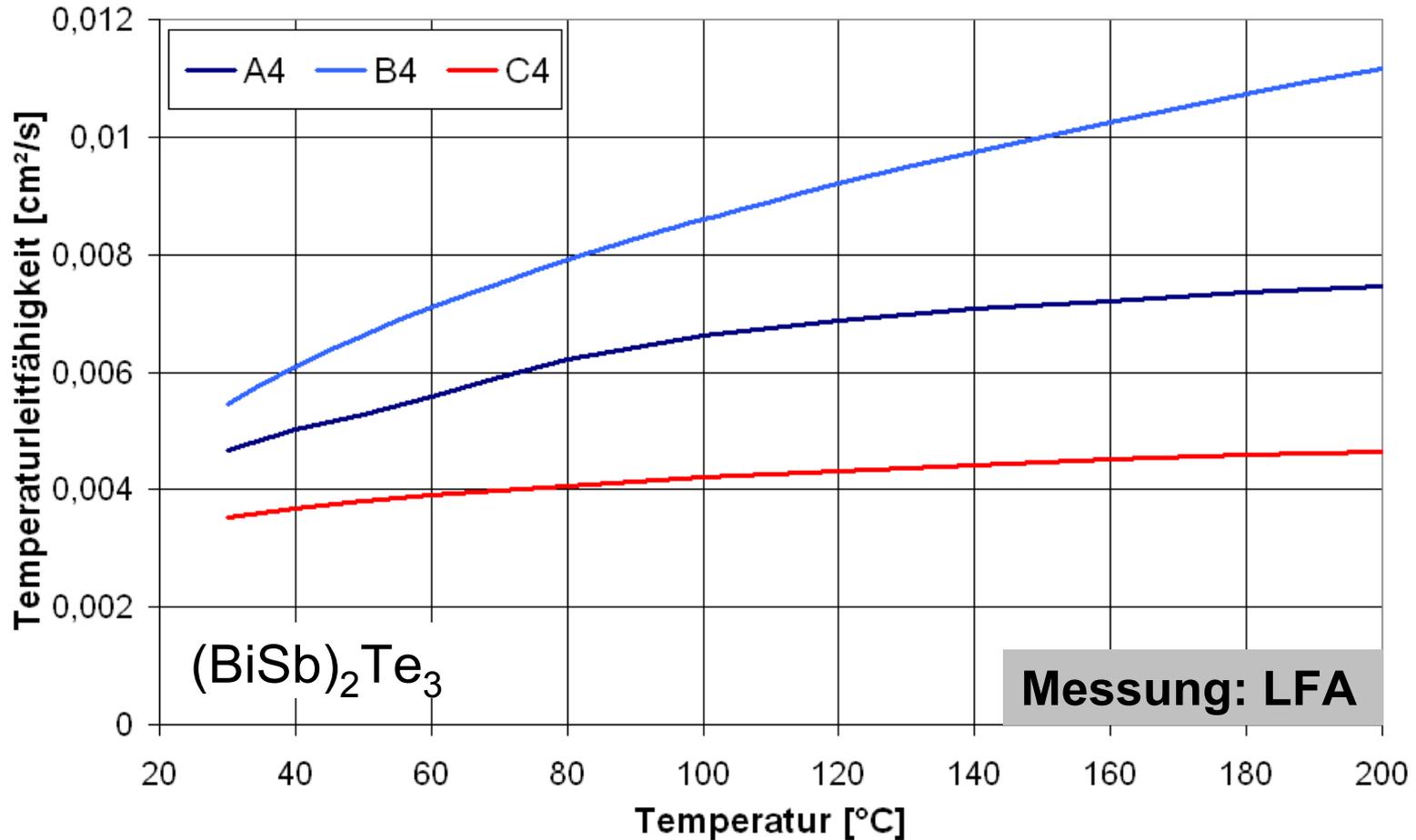
Proben aus der Tellur Familie verbunden mit Wismut und Antimon  
 $(\text{BiSb})_2\text{Te}_3$

Messreihe:

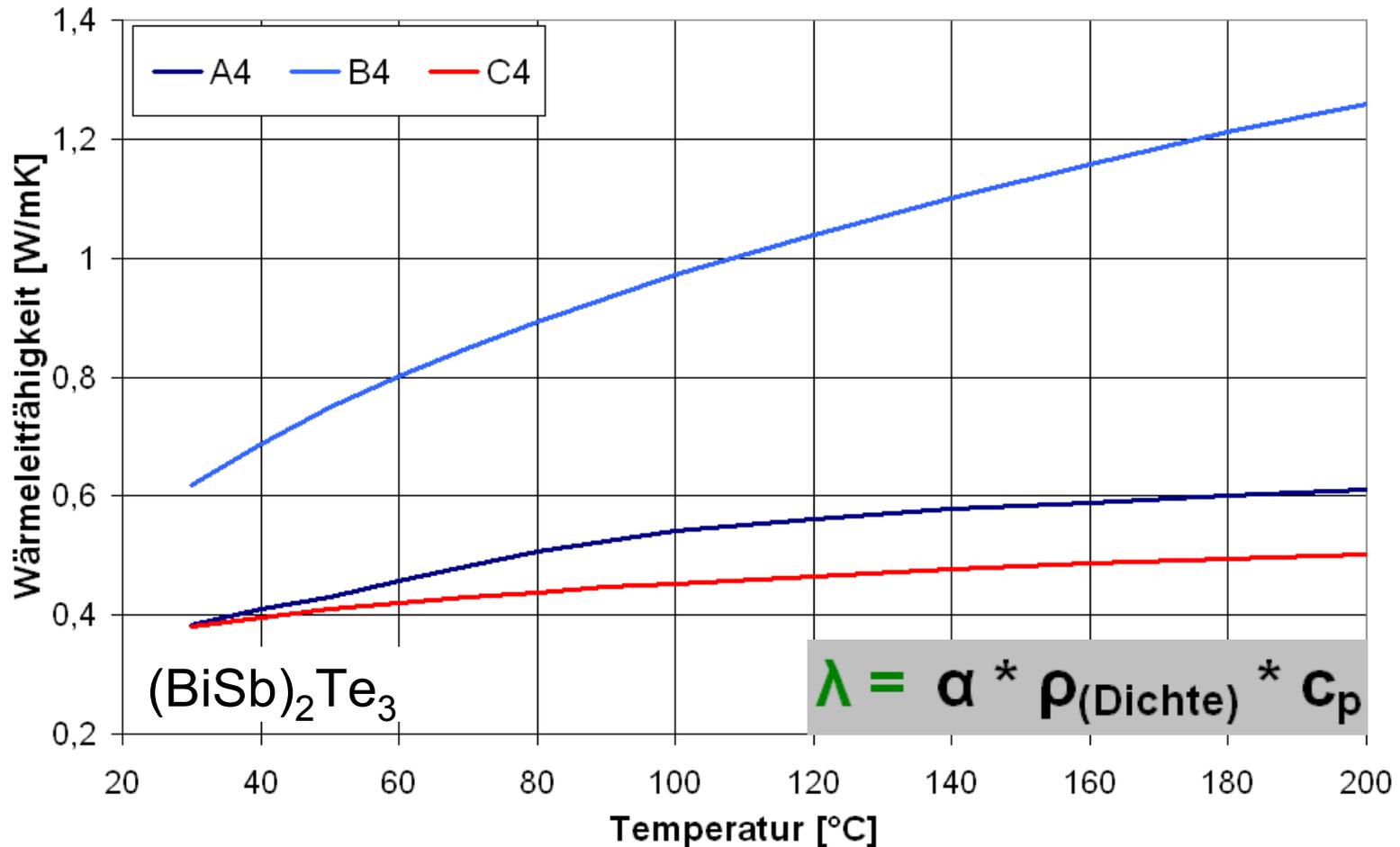
A4	A8	---
B4	B8	---
C4	C8	C12

A,B,C: Änderung der chemischen Zusammensetzung  
4,8,12: Änderung des Produktionsprozesses

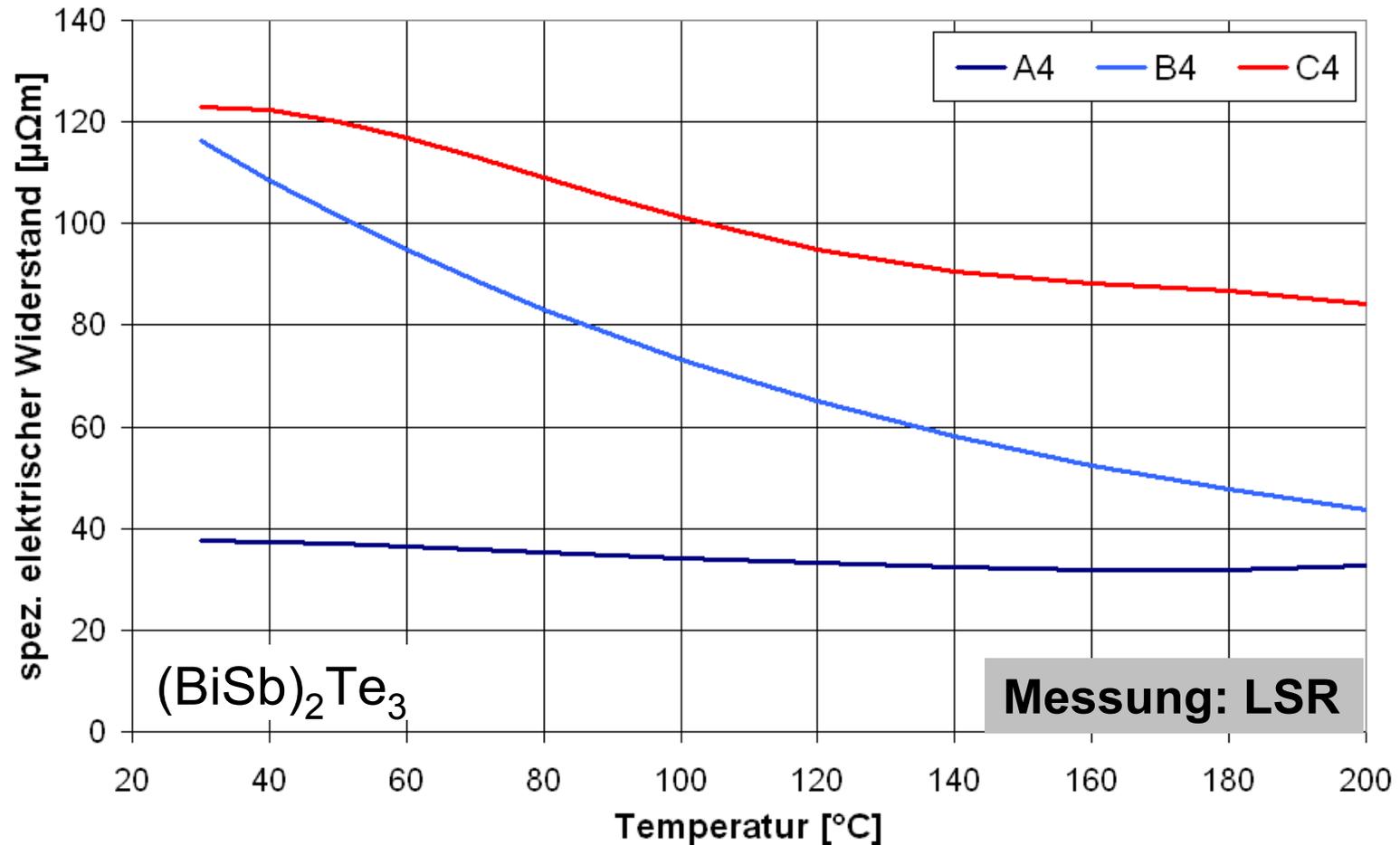
# Temperaturleitfähigkeit in Abhängigkeit der chemischen Zusammensetzung



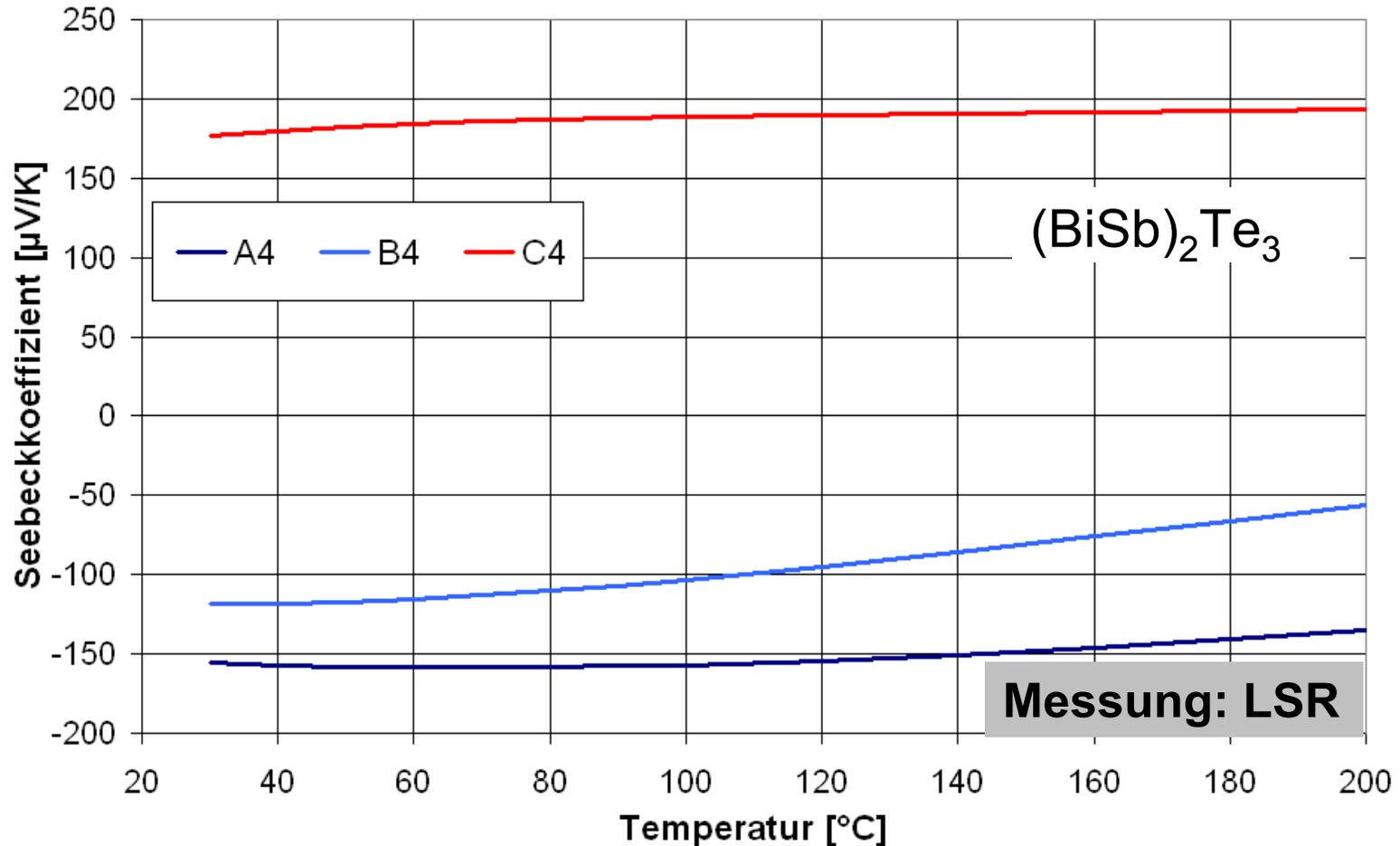
# Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit der chemischen Zusammensetzung



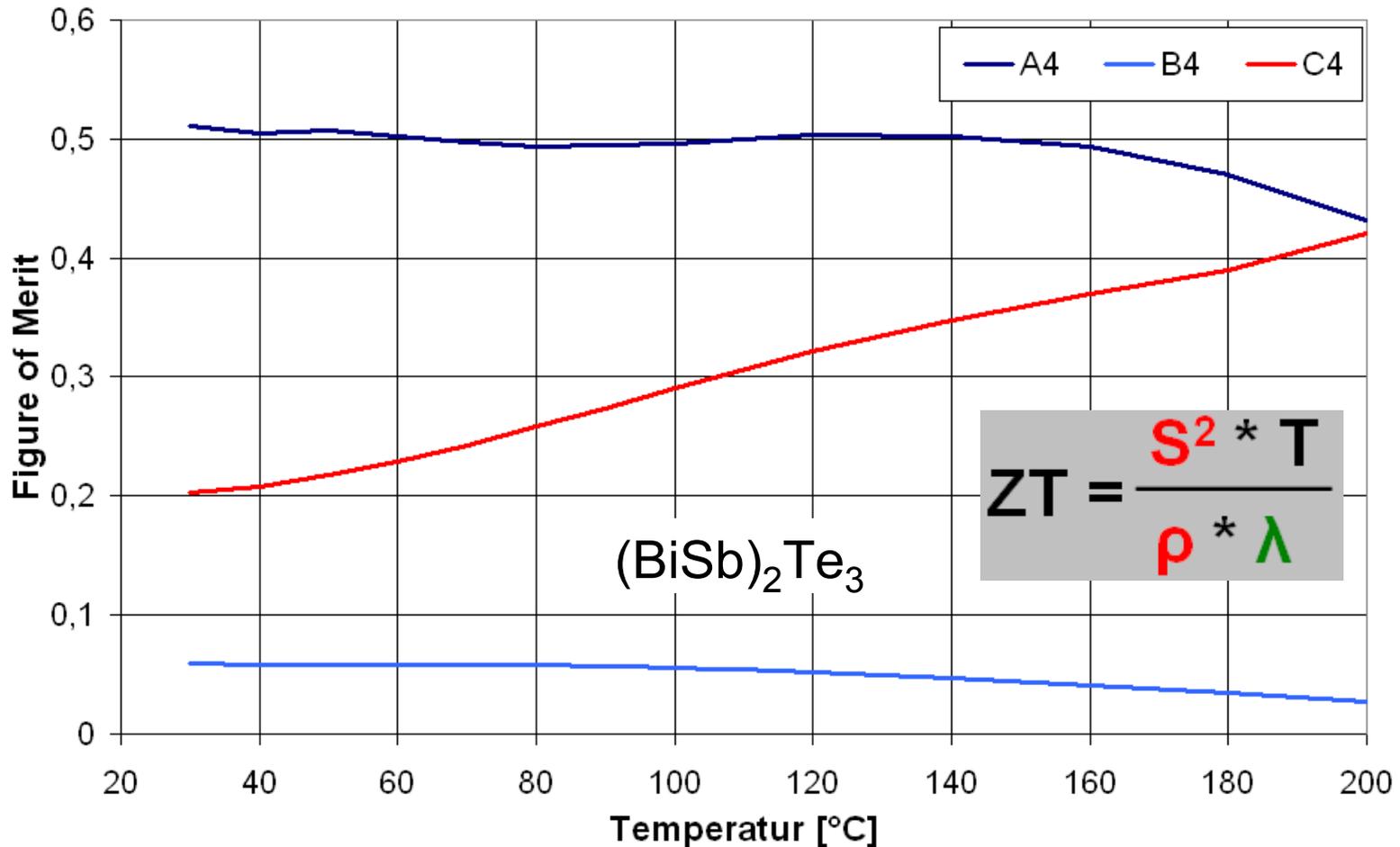
# Resistivität in Abhängigkeit der chemischen Zusammensetzung



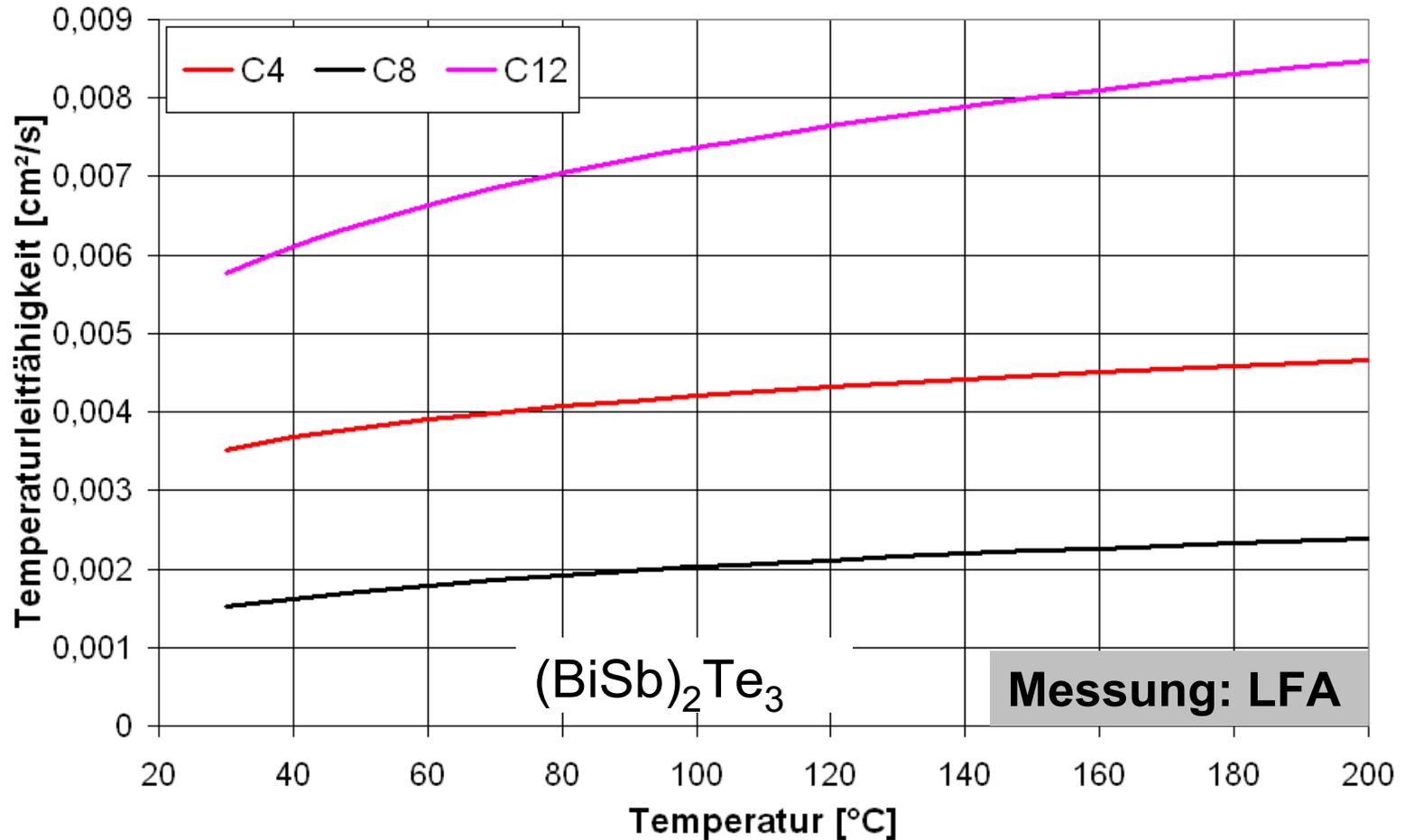
# Seebeckkoeffizient in Abhängigkeit der chemischen Zusammensetzung



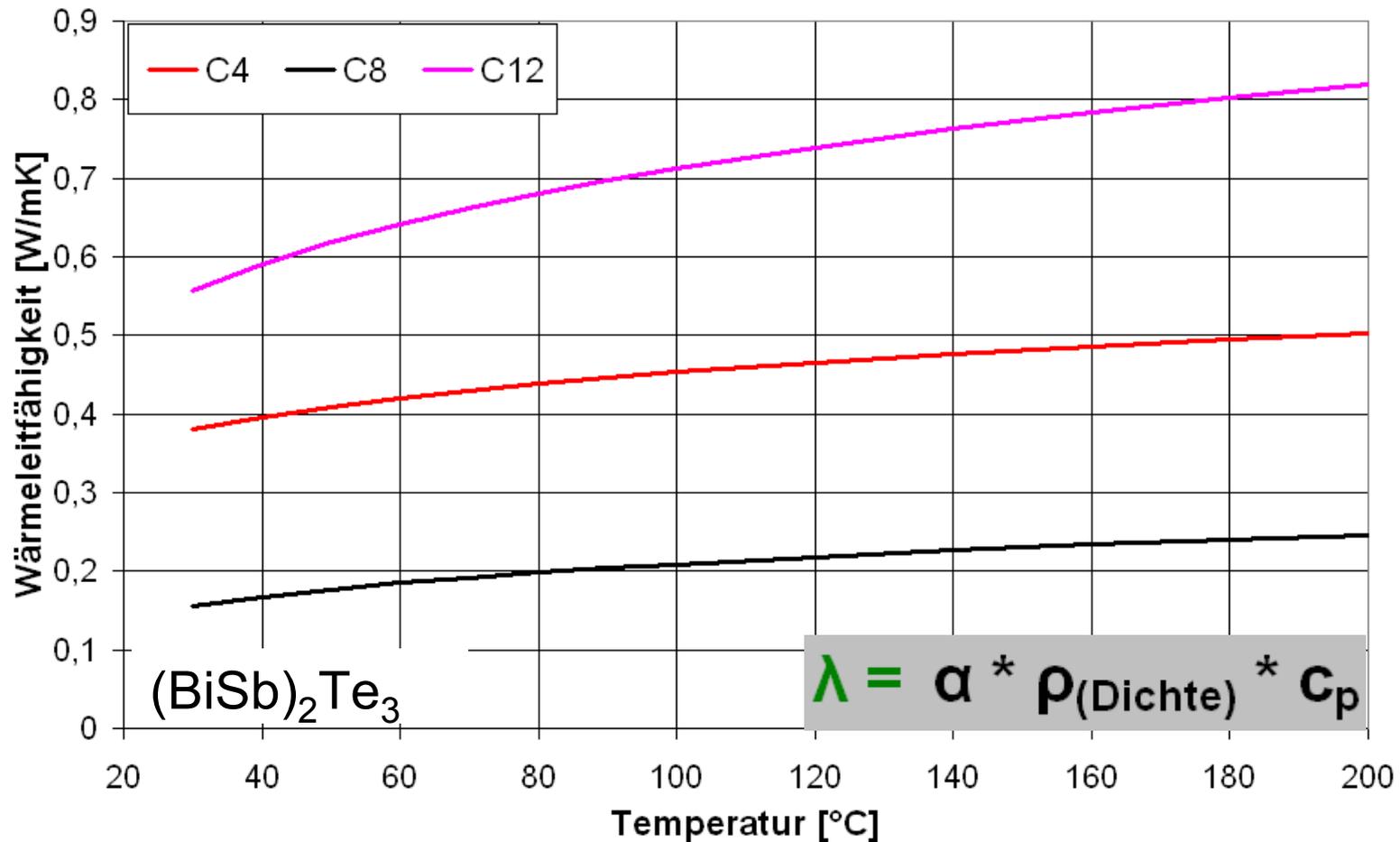
# Figure of Merit in Abhängigkeit der chemischen Zusammensetzung



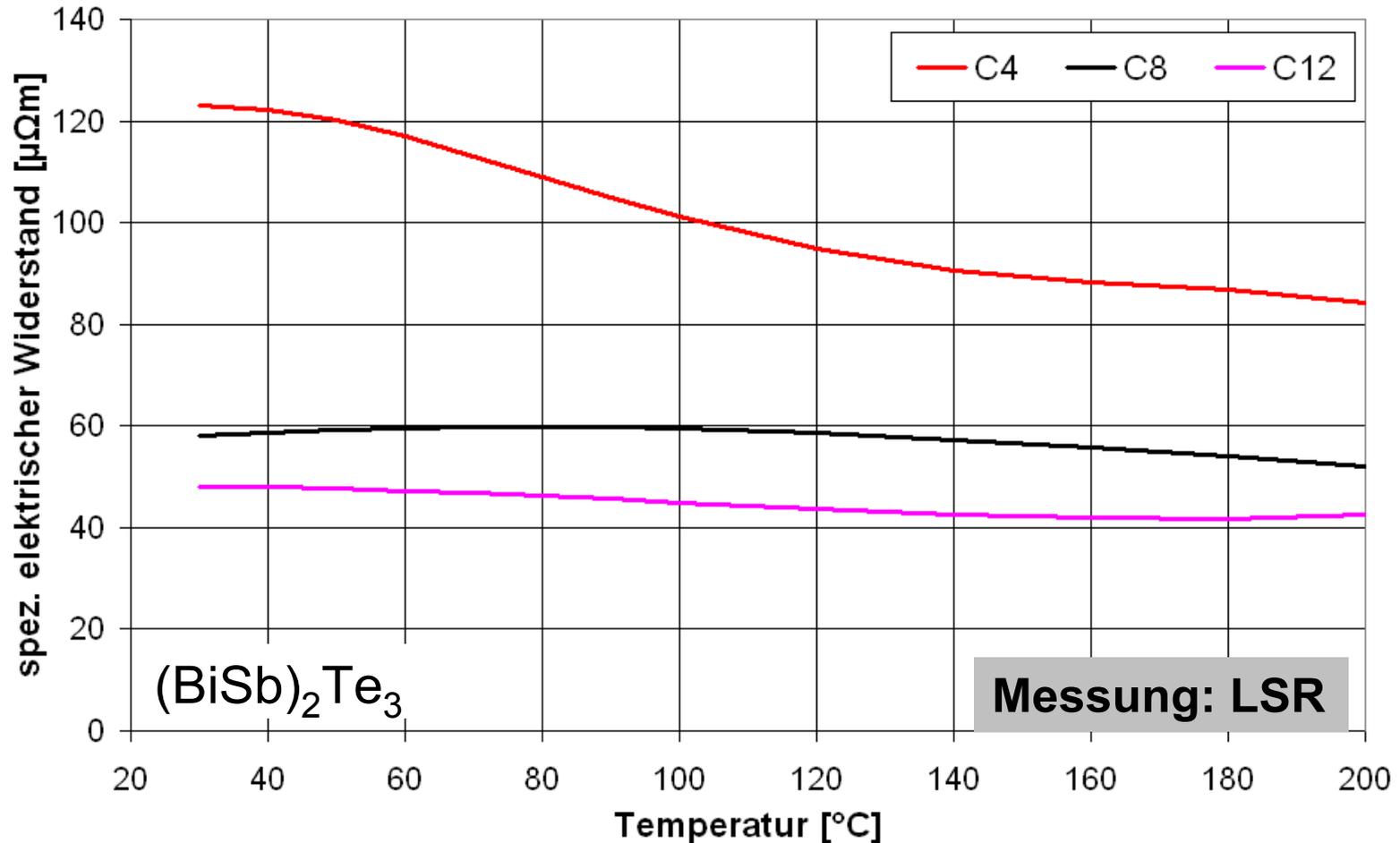
# Temperaturleitfähigkeit in Abhängigkeit des Produktionsprozess



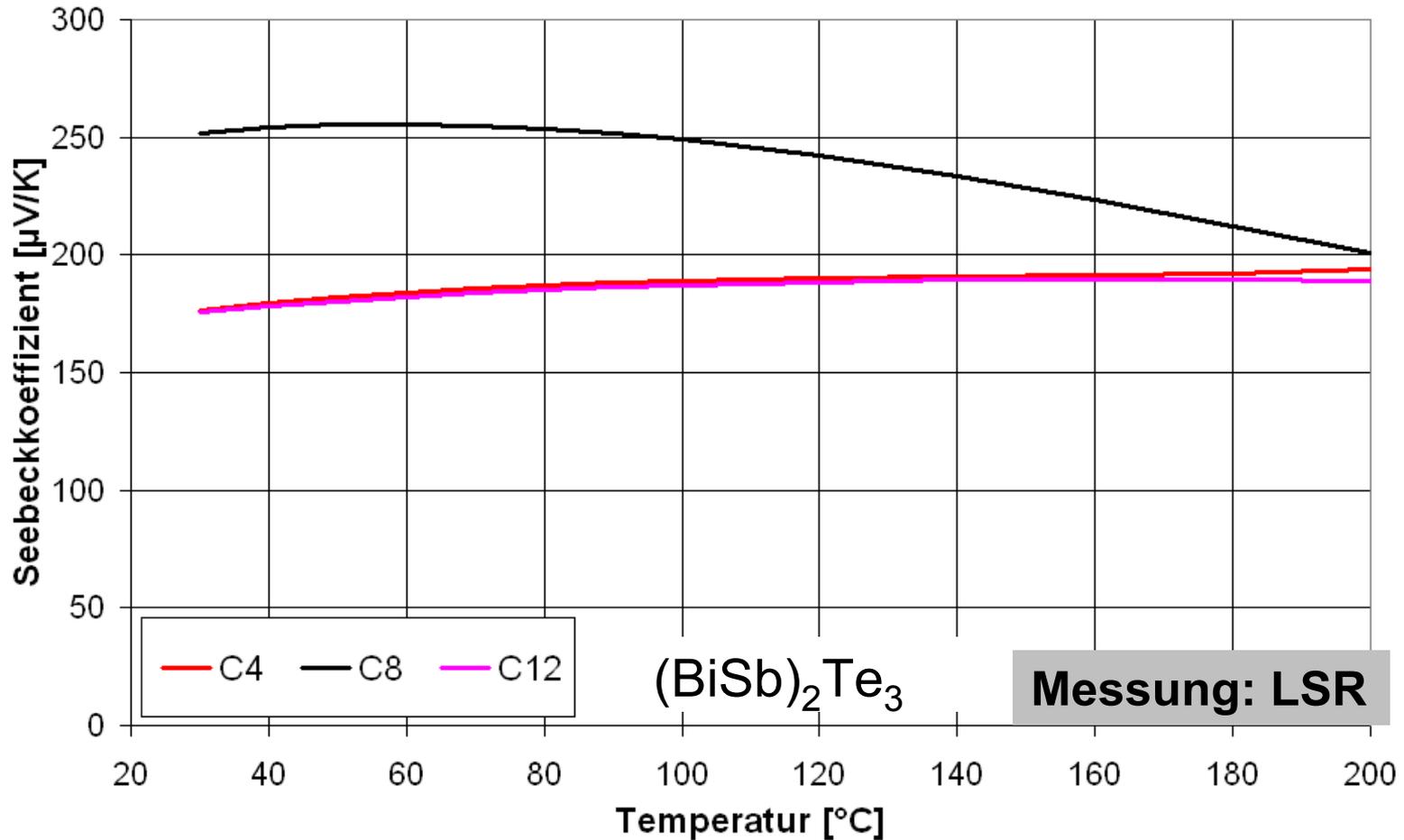
# Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit des Produktionsprozess



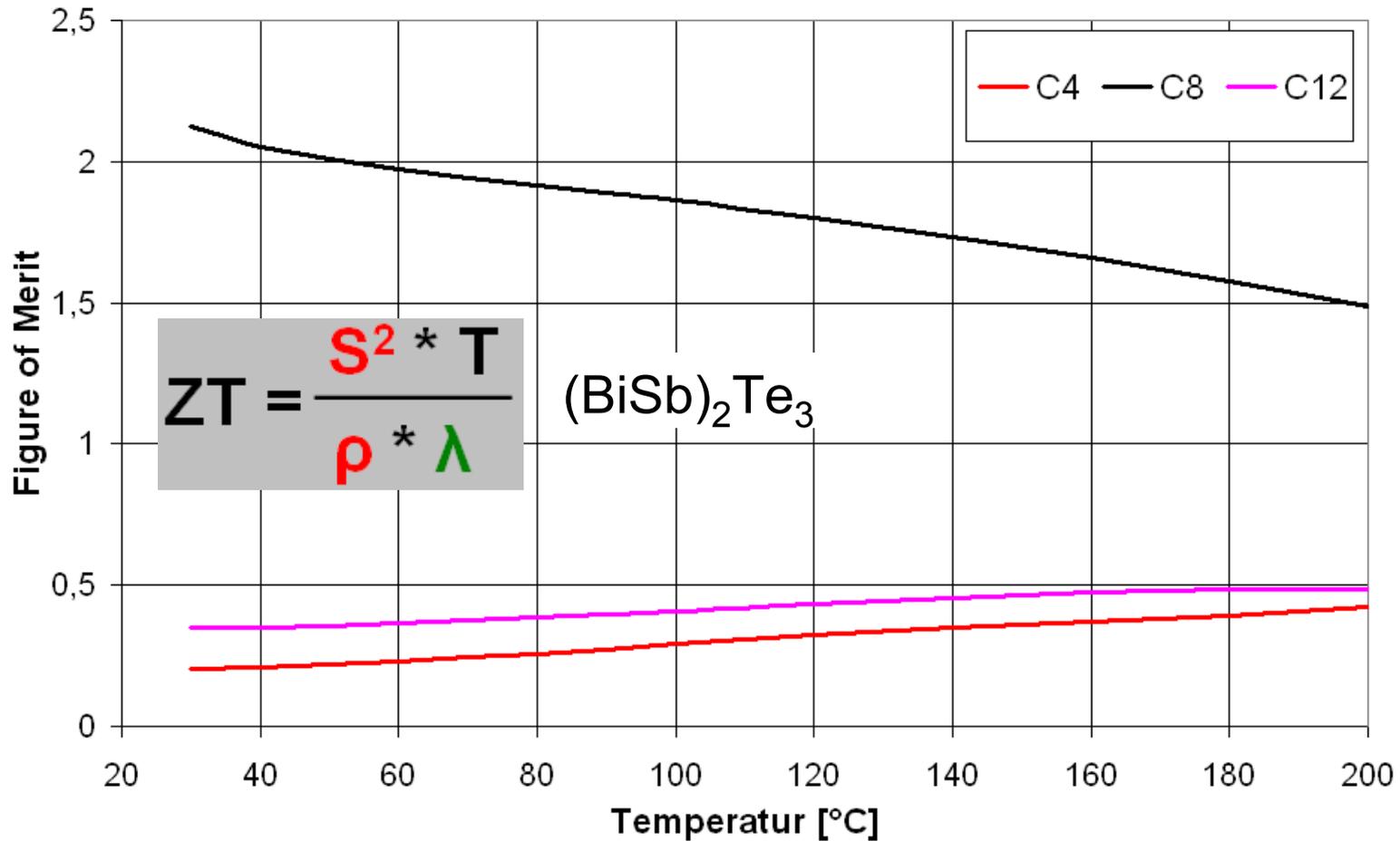
# Resistivität in Abhängigkeit des Produktionsprozess



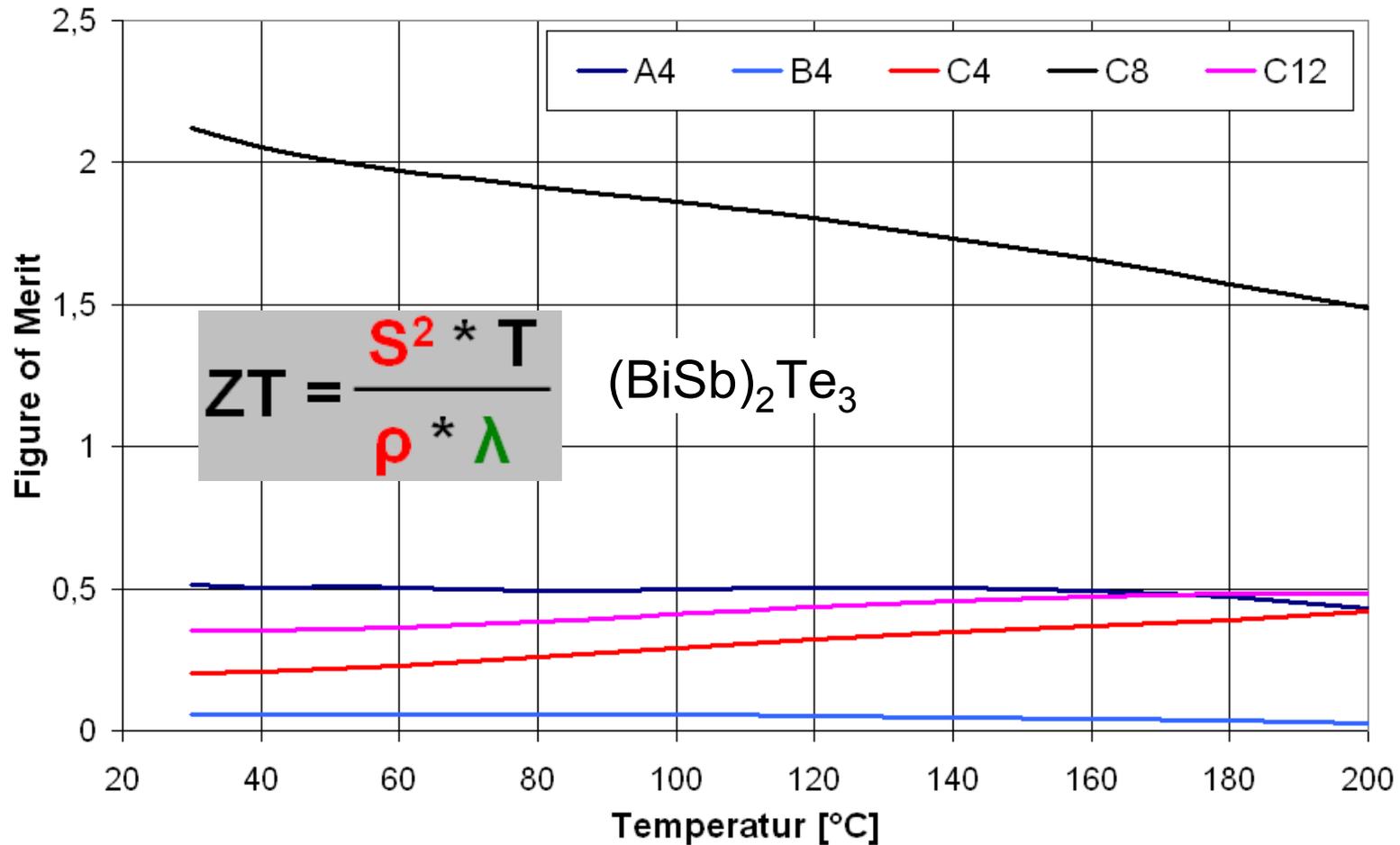
# Seebeckkoeffizient in Abhängigkeit des Produktionsprozess



# Figure of Merit in Abhängigkeit des Produktionsprozess



# Vergleich der Änderung der chemischen Zusammensetzung mit Prozessänderungen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

*LINSEIS*

# Eingabe Parameter

**Actual values**

Heating

Target-temperature: -273.1 °C

Heating-rate: 0.00

	Sample	Furnace
Set-temperature:	-273.1 °C	-273.1 °C
Real-temperature:	-273.1 °C	-273.1 °C
Ref.-temperature:	0.0 °C	
Max.-temperature:	500.0 °C	
Power-supply:	Off	
Power-output:	0.0 %	
Water-flow:	Error	
Gradient-heater:	Off	
Gradient-power:	0.0 %	

Measurement

-273.1 °C

-200.00 mA

0.0 °C

-2500.00 mV

0.0 °C

-273.1 °C

OK

**Setup parameter**

Current: 10.00 mA

2-Terminals  4-Terminals

Difference Temperature: 4.0 K

Wire Seebeck: seebeck

Heat Conductivity: lambda

OK Cancel

# Messung Temperaturleitfähigkeit

