

# *Ein- und mehrachsiges Werkstoffverhalten bei hohen Verformungsgeschwindigkeiten von Metallen*

**Prof. emer. Dr.-Ing. Dr. h.c. Lothar W. Meyer**  
(Früher : Leiter der Professur  
Werkstoffe des Maschinenbaus,  
Technische Universität Chemnitz)

jetzt:

Geschäftsführender Gesellschafter der

**Fa. Nordmetall GmbH**

Hauptstr. 16

**09221 Adorf ,Gemeinde Neukirchen**

Tel: 0371 – 503490-20

email: [lothar.meyer@nordmetall.net](mailto:lothar.meyer@nordmetall.net)

Fax: 0371 – 50349011



**LS- Dyna Update Forum 2009, 12.11.09**



# Nordmetall GmbH



## Nordmetall GmbH

Hauptstraße 16

09221 Adorf Gemeinde Neukirchen

phone.: +49 371 503490 0

fax: +49 371 503490 11

web: <http://www.nordmetall.net>

email: [info@nordmetall.net](mailto:info@nordmetall.net)



Unser neues Gebäude in ADORF/Chemnitz



## Allgemeine Angaben:

- 1. Geschäftsführer: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Lothar W. Meyer
- 2. Geschäftsführer: Dr.-Ing. Norman Herzig

## Daten:

- derzeit 15 Mitarbeiter, Labor und Büros 1500 m<sup>2</sup>
- Umsatz 2008: mehr als 1 Mio EUR,

## Geschichte der Firma Nordmetall GmbH:

1927 Gründung durch Hans Meyer: Herstellung versilberte Tafelwaren , bis 1970,

1996: 1. Neugründung der Fa. Nordmetall GbR, Kemtau

September 2003: 2. Neugründung der Nordmetall GmbH, Eibenberg

bis April 2009: Dienstsitz in der Technischen Universität Chemnitz, Professur Werkstoffe des Maschinenbaus, Ltr Prof. Meyer

seit April 2009: vollständige Verlagerung des Dienstsitzes nach Adorf (bei Chemnitz) und Schließung der Zweigstelle in Chemnitz,

**Kernkompetenz: Hochdynamisches Werkstoffverhalten (Exp. +Mod.)**



# Nordmetall-Überblick



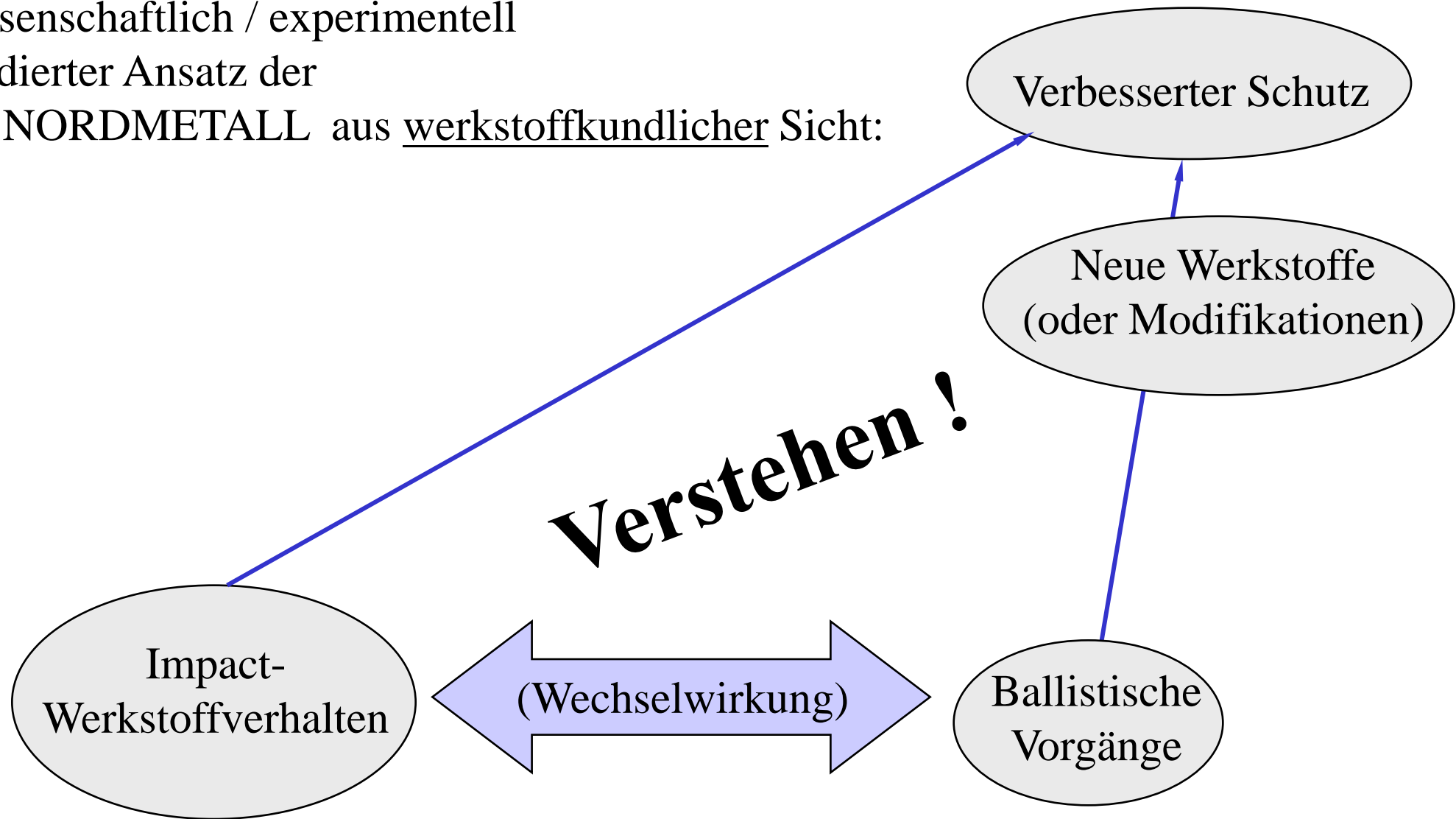
# Motivation?

**Leif Erikson, der Rote Wikinger:**

**... Ihr kennt nur „Kenntnis“ ...**

**Ihr kennt nicht **des Wissens heißen Trieb**,  
der Kenntnis erst gebiert.....**

Bedrohung steigt ständig, also wissenschaftlich / experimentell fundierter Ansatz der Fa. NORDMETALL aus werkstoffkundlicher Sicht:



**Beispiel:** Durch Verstehen des Werkstoffverhaltens zur Optimierung von Schutzaufbauten

# Kernkompetenzen:

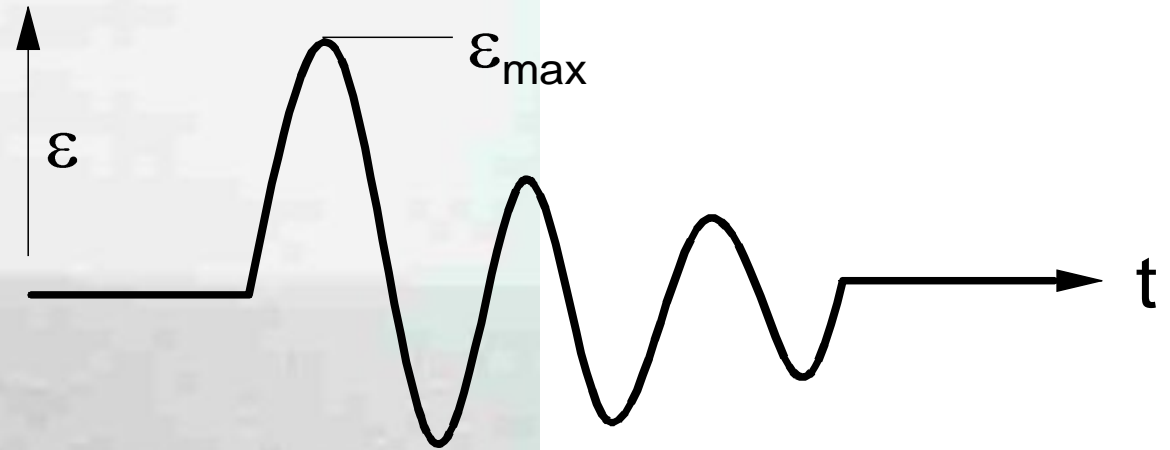
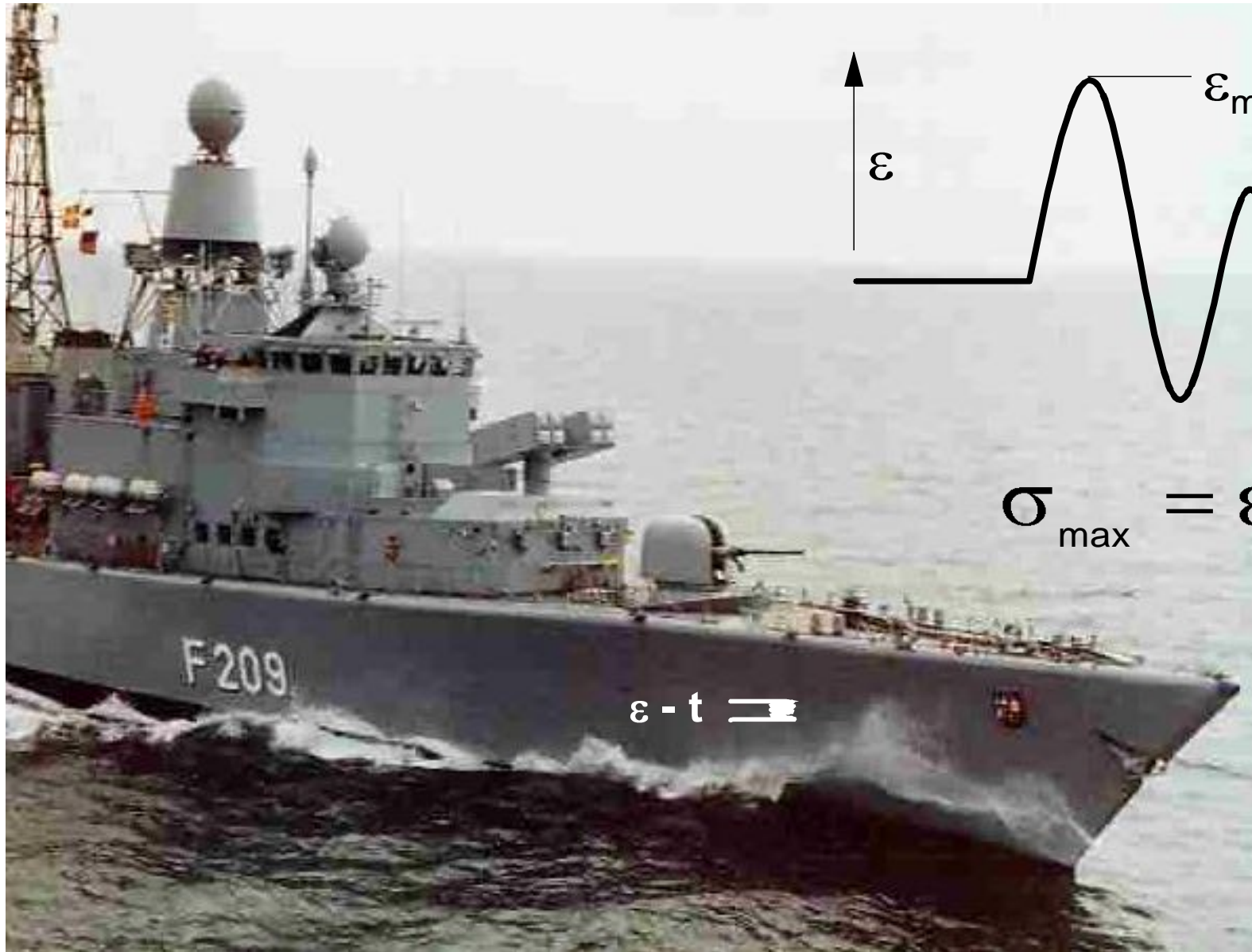
- A) Umfangreiche experimentelle Ausrüstung für höchste Prüfgeschwindigkeiten und hohes Erfahrungs-Potential des Labors
- B) Werkstoff-Fachwissen für Hochgeschwindigkeitsumformungen (HSC-Spanen, Schmieden, Stanzen, Blast , Penetration etc.)
- C) Beschreibung des Impact-Werkstoff-Verhaltens durch „konstitutive Gleichungen“ für FEM-Rechnungen
- D) Neue Werkstoffe, Verbesserung bekannter Werkstoffe z.B. durch thermomechanische Behandlung, ECAP



Leistungsprofil Prof. L.W. Meyer und Mitarbeiter  
( Fa. NORDMETALL GmbH)



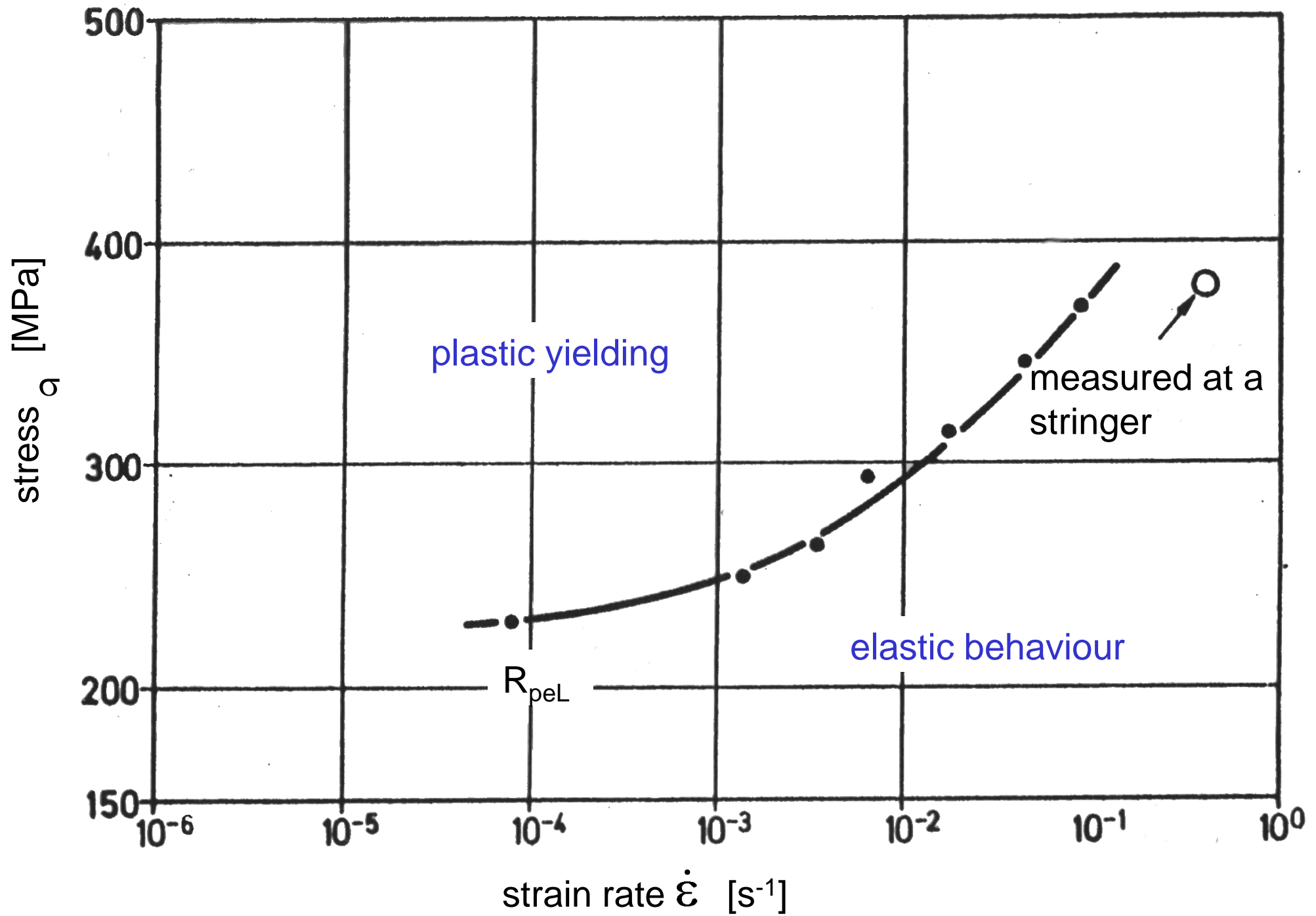
Dehngeschwindigkeit [s <sup>-1</sup> ]	Anwendungsbeispiele
10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>	Adiabatische Sicherung (im Mikrobereich)
10 <sup>5</sup>	Schneidladungen, Hohlladungen, Schock
10 <sup>4</sup>	Sprengplattieren Durchdringen von Panzerungen, Spanen (bei Chip-Bildung), Kugelstrahlen, Stanzen
10 <sup>3</sup>	plastische Rissausbreitung Drahtziehen, Nieten, Spanen (Fließspanen), Walzen, Schmieden
10 <sup>2</sup>	Fahrzeugkollisionen Abschuss von Penetratoren, Blast von Minen Extrudieren, Flugzeug-Fahrwerke
10 <sup>1</sup>	Belastung von Brücken durch schwere Fahrzeuge (LKW, Eisenbahn), Tiefziehen großer Teile
10 <sup>0</sup>	Nietquetschen, Durchsetzfügen
10 <sup>-1</sup>	Superplastisches Formen Rohrbiegen
10 <sup>-4</sup>	Quasistatische Werkstoffprüfung
10 <sup>-5</sup> 10 <sup>-6</sup>	Kriechen, Spannungsrelaxation

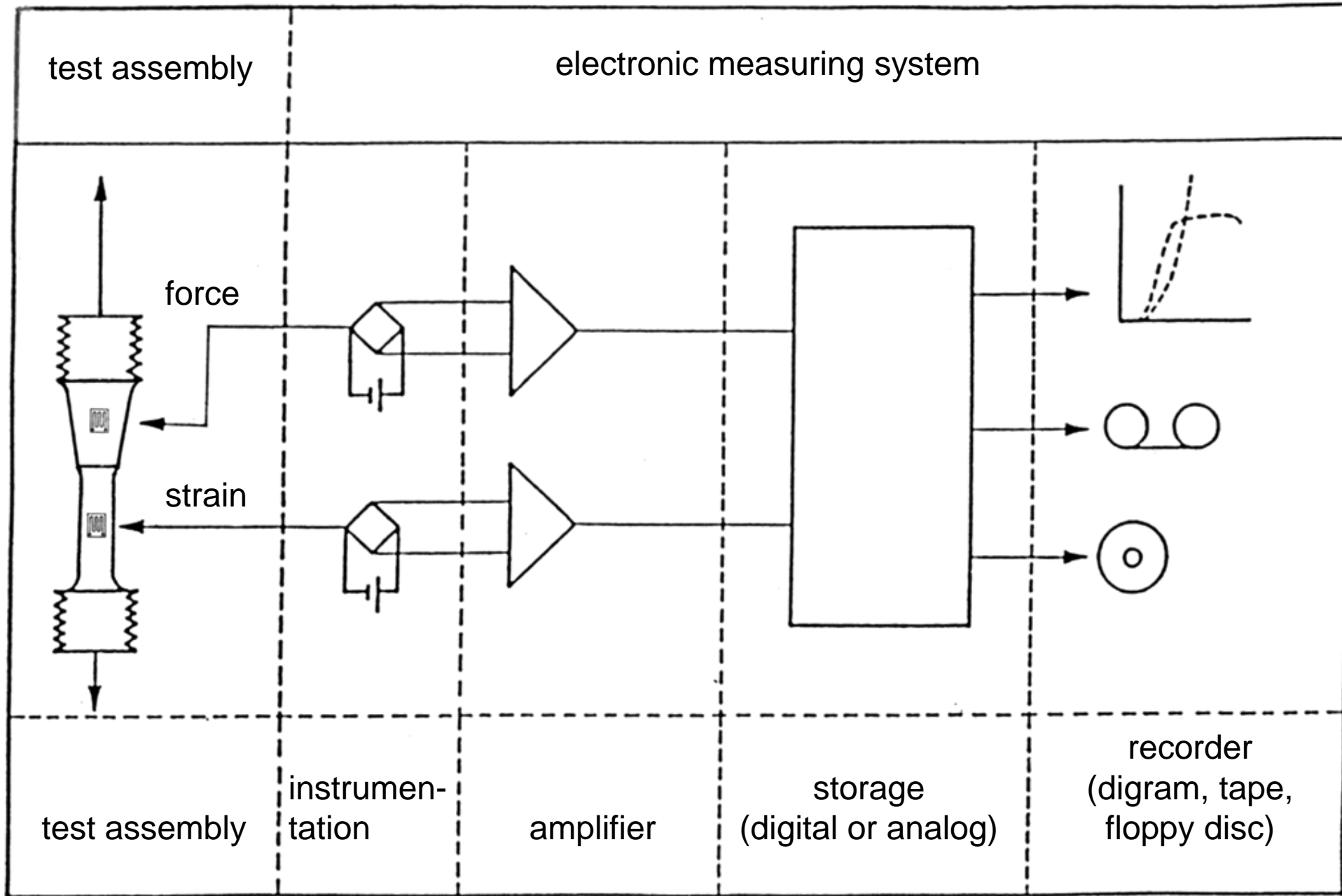


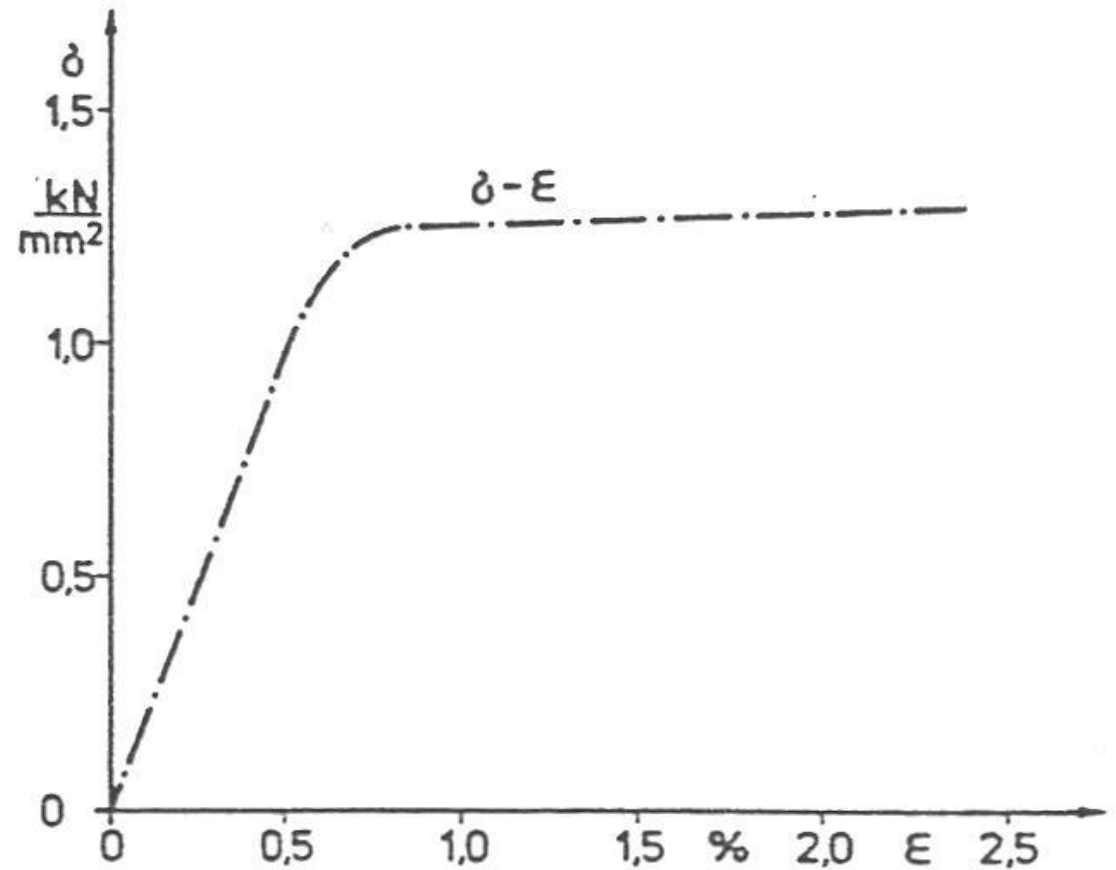
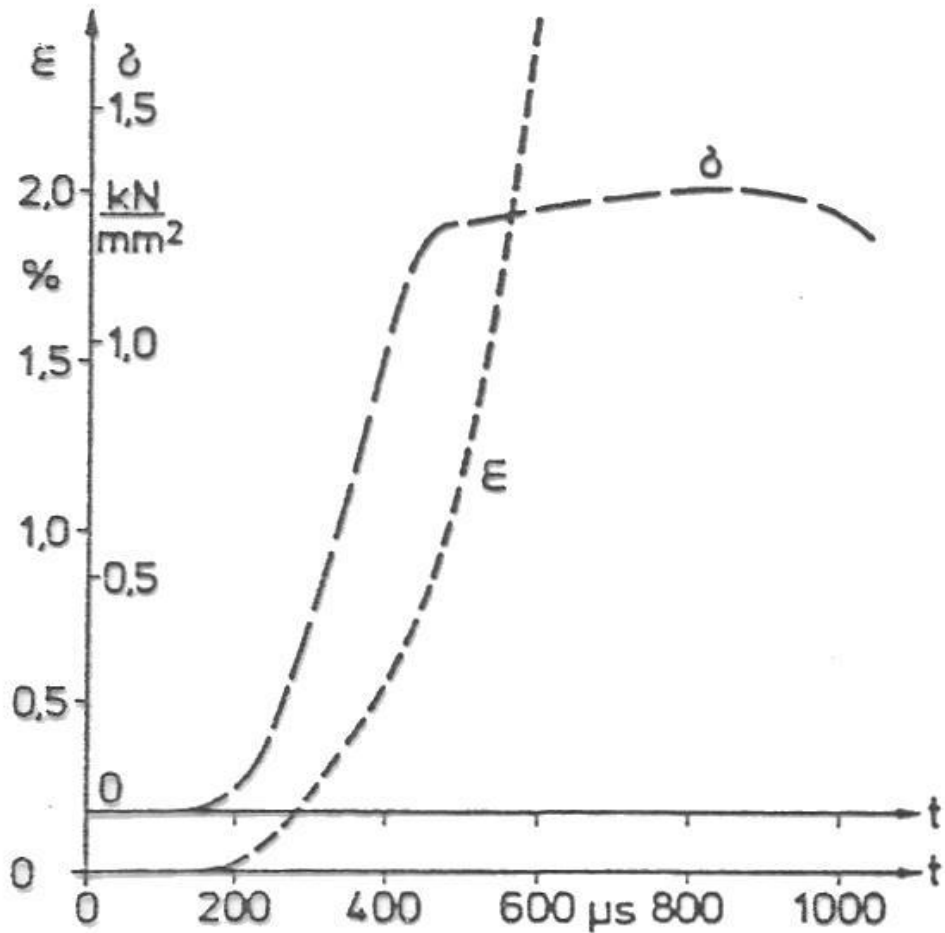
$$\sigma_{\max} = \varepsilon_{\max} \cdot E \approx 2 \cdot \sigma_s$$

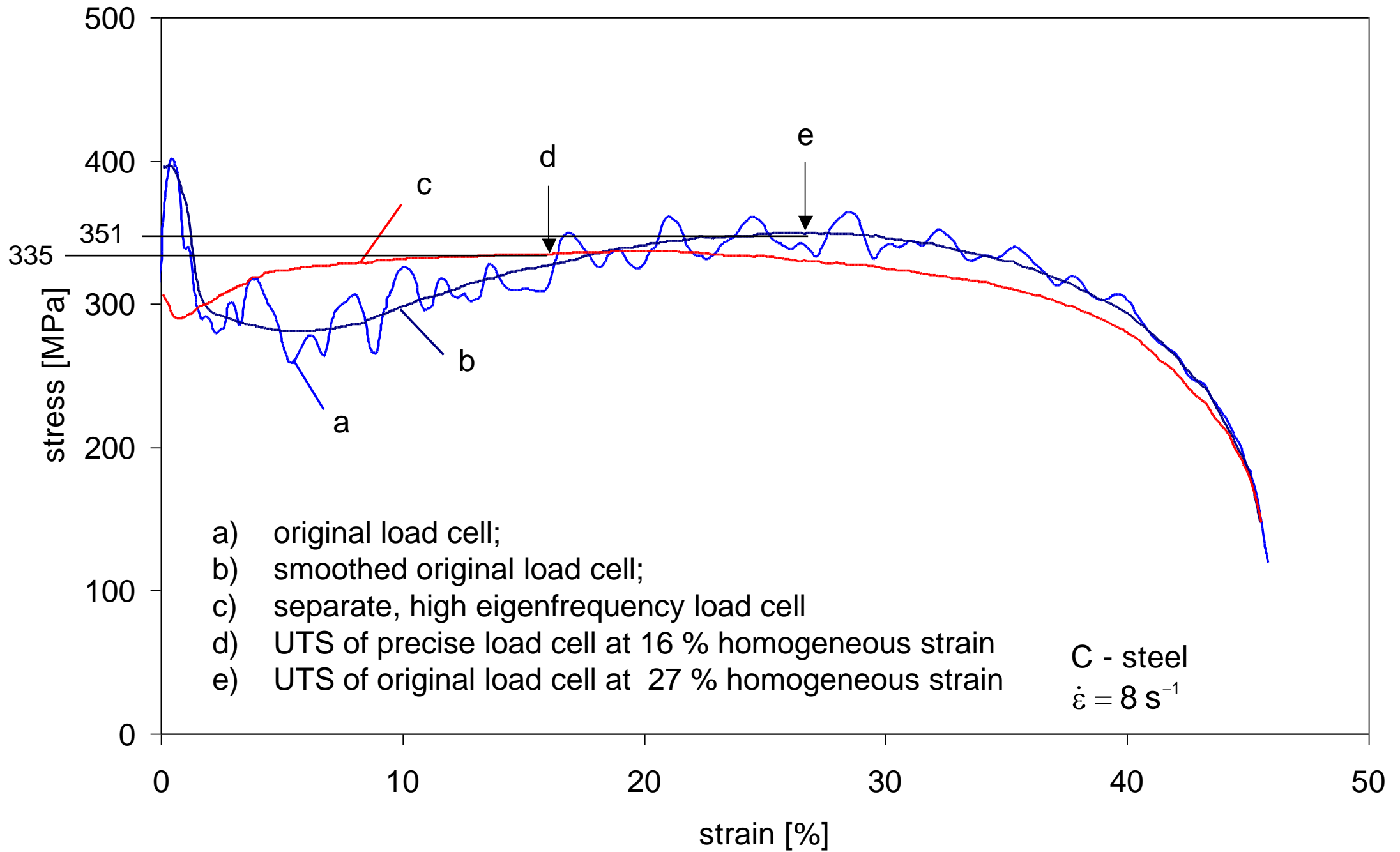
$\varepsilon - t \Rightarrow$

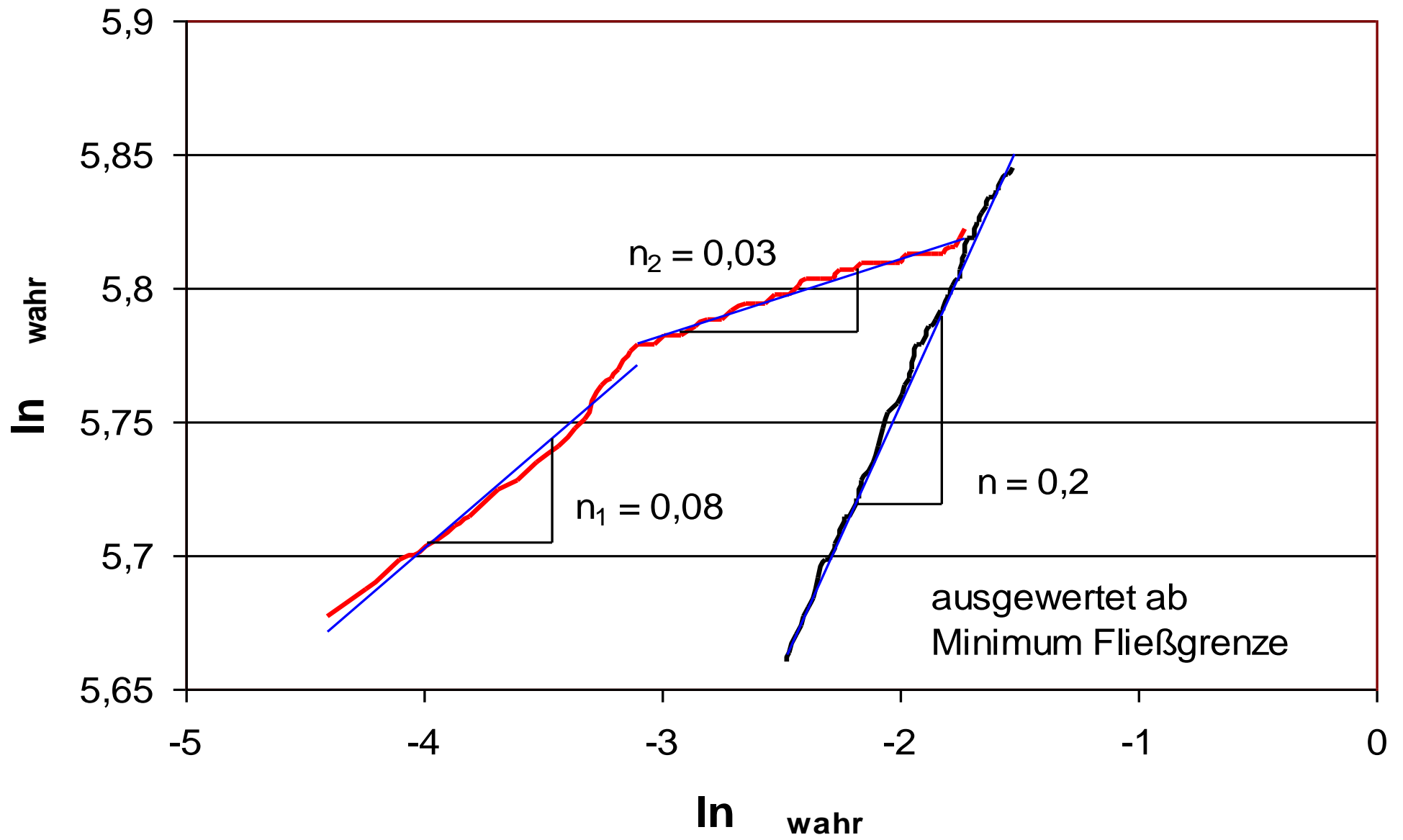


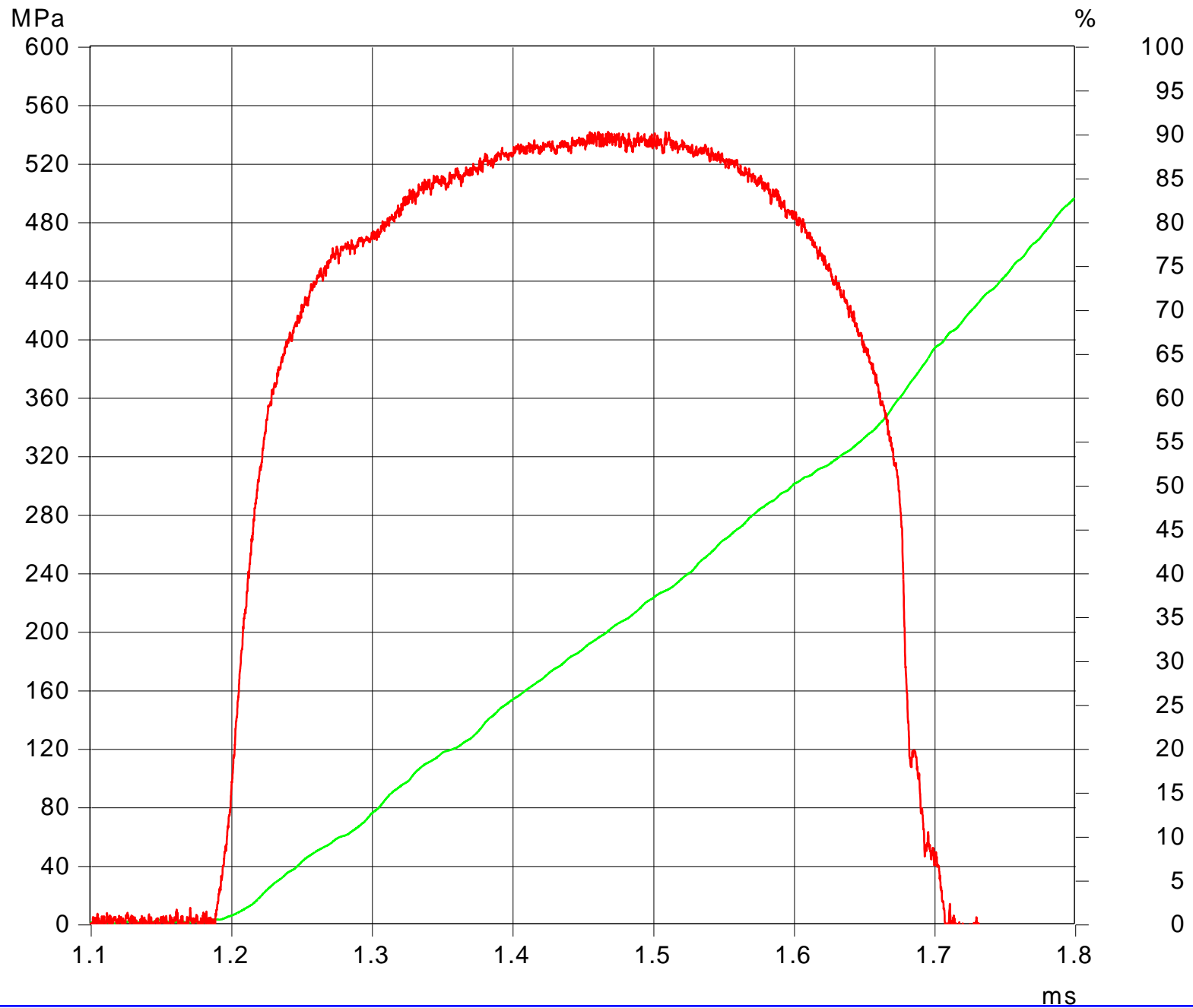








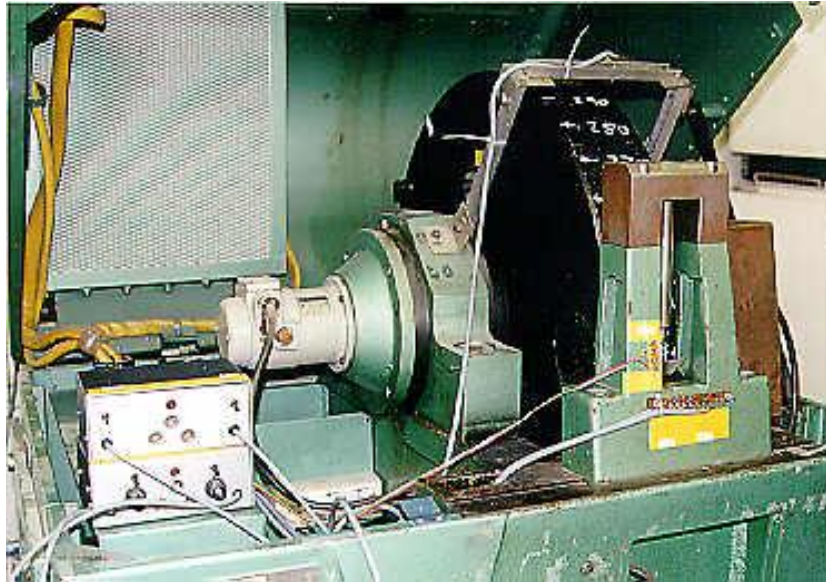




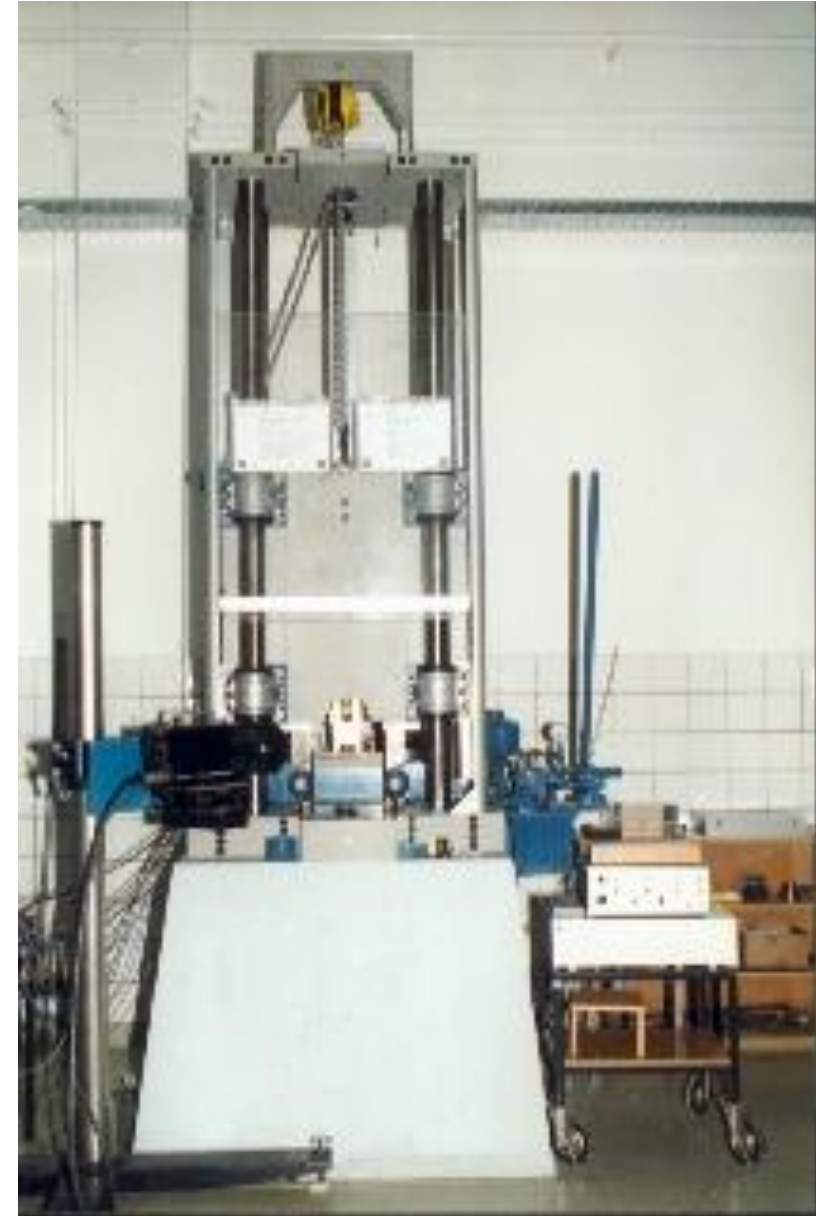
# Universal testing facilities and strain rates at Nordmetall GmbH

Belastungsart / Dehnrates [s <sup>-1</sup> ]		10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>0</sup>	10 <sup>1</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	Temperatur [°C]
uniaxial stress / strain	tension	■	■	■	■		■	■			-190 ... 1250
	compression	■	■	■	■		■	■	■		-190 ... 1250
	Torsion	■	■	■	■		■				-190 ... 1100
	Bending	■	■	■	■		■				-190 ... RT
	Shear	■	■	■	■	■	■				RT
biaxial stress / strain	servohydraulic (tension, compression + torsion, TU Chemnitz)	■	■	■	■						-190 ... 400
	drop weight (compression + shear)						■	■	■	■	-190 ... 1200
	gas gun (compression + shear)							■	■	■	RT
	Drop weight – blast simulator				■	■	■				RT
	Hopkinson (tension + torsion)					■	■				RT
	Charpy Impact test						■	■			-190 ... 600
	Biaxial drop weight (tension + tension by)					■	■				RT
	Fracture toughness K [Nmm <sup>-2/3</sup> s <sup>-1</sup> ]			■	■	■	■	■		■	-190 ... 400
triaxial	gas gun – penetration simulator							■	■	■	RT
	Flyer plate (IPCP Moskau)									■	-190 ... 600
	compression and hydrostatic compression (TU Chemnitz)	■	■	■	■		■				RT
	servohydraulic (TU Chemnitz, tension, compr. + torsion + hydrost. compr.)	■	■	■	■						RT
	tension + tension + tension	■	■	■	■		■	■	■		-190 ... 600

## Rotating wheel



## Dropweight tower



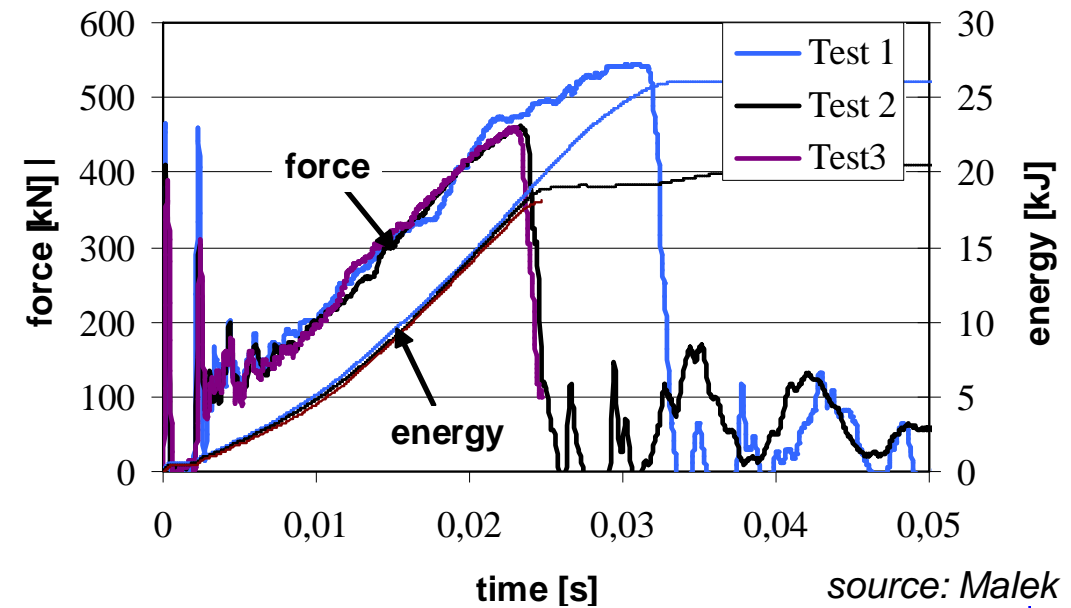
**dynamic tensile and  
compression testing**



**mass:** 4 t  
**velocity:** 5 m/s (max.)  
**test object:** 1300 x 1300 x 800 mm  
**available energy:** 35-40 kJ



**NORDMETALL**  
 Research and Consulting



**component testing at  
 crash conditions**



## Testing equipment

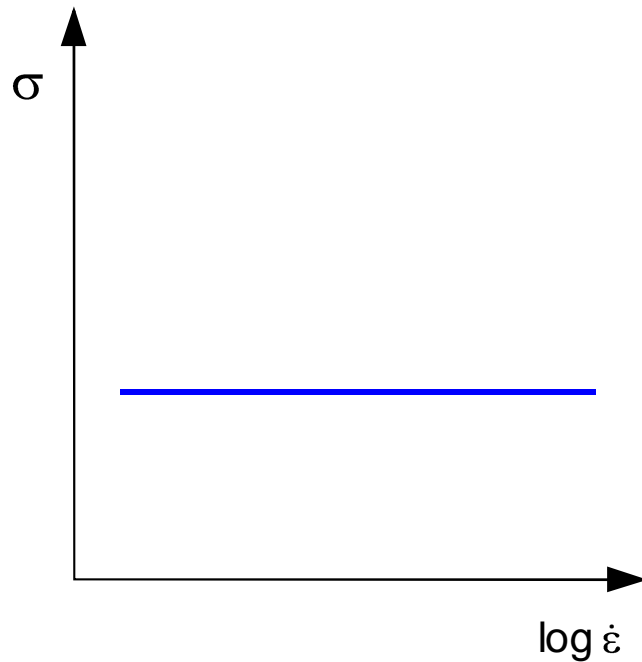
Servo-hydraulic Tension-Torsion-Pressure  
Testing-Machine Schenck PTT250 K1  
(TU Chemnitz, LWM)

$F_{\max} = 250 \text{ kN}$   
Axial Velocity = 0,005 ... 1400 mm/s  
Axial Path = +/- 50 mm  
Torque = 1000 Nm  
Angle = +/- 50°  
Angle Velocity = 2365 °/s  
Temperature = RT ... 800 °C  
Pressure: 0 ... 1500 bar

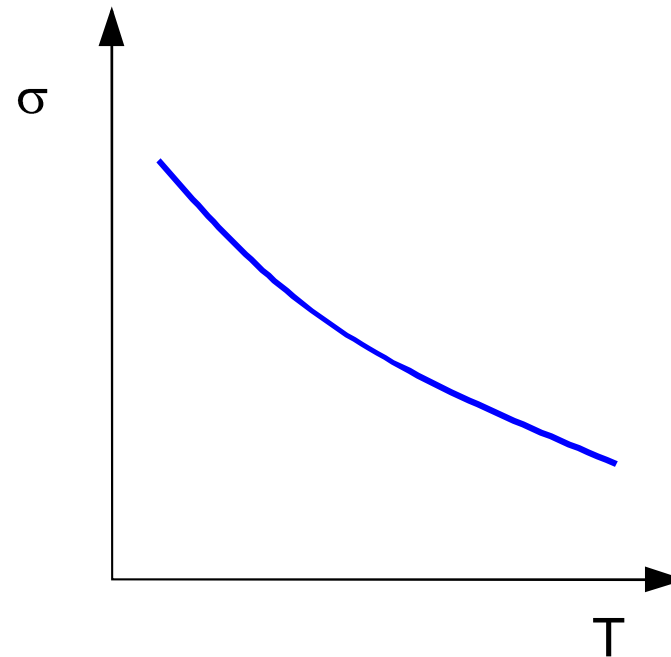


# Geschwindigkeitsbestimmende Verformungsmechanismen

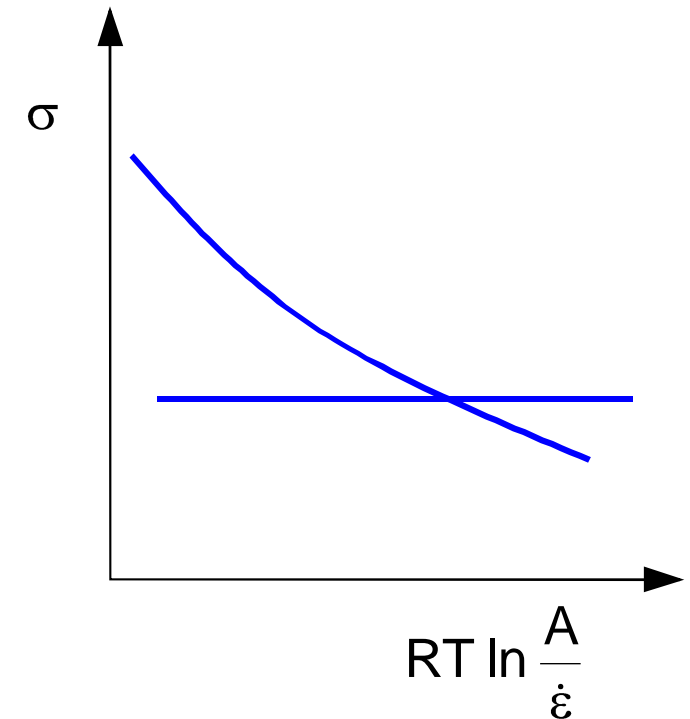
„athermisch“ / nicht geschwindigkeitsgesteuert



Dehngeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}$



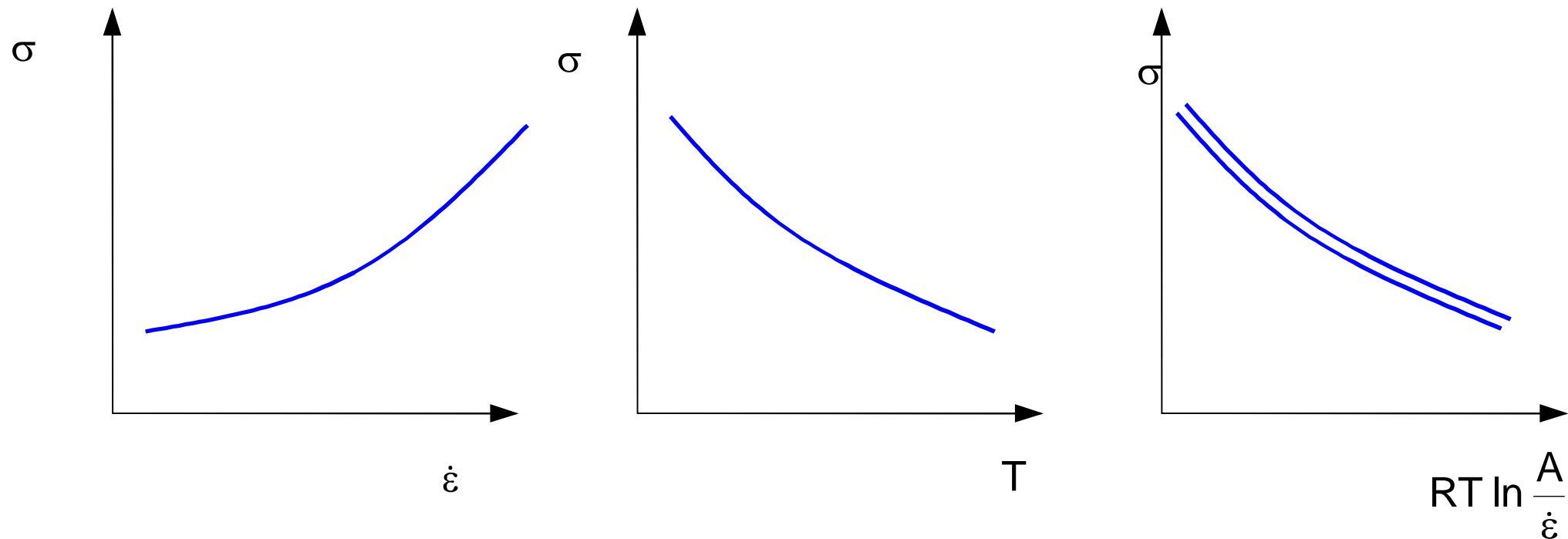
Temperatur  $T$

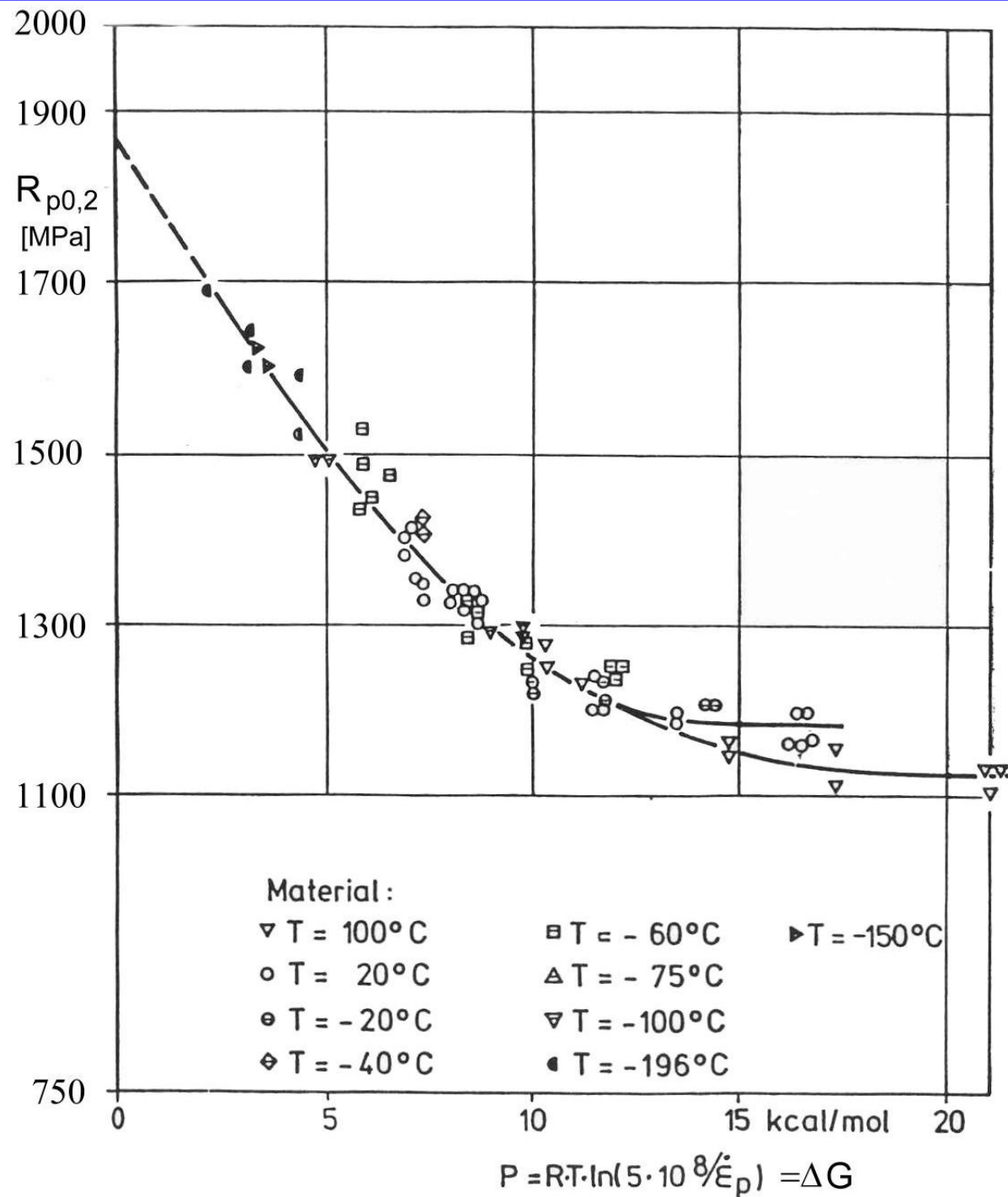


kombiniert  $\sigma = f(T, \dot{\epsilon})$

# Geschwindigkeitsbestimmende Verformungsmechanismen

thermisch aktiviert (Temperatur und  $\dot{\epsilon}$  gesteuert)





Fließspannung eines Vergütungsstahls  
 = f(Aktivierungsenergie  $\Delta G$ )

Arrhenius-Gleichung:

$$\dot{\epsilon}_{pl} = \dot{\epsilon}_0 \cdot \exp\left(-\frac{\Delta G(\sigma)}{kT}\right)$$

$$\Delta G(\sigma) = kT \ln \dot{\epsilon}_0 / \dot{\epsilon}_{pl}$$

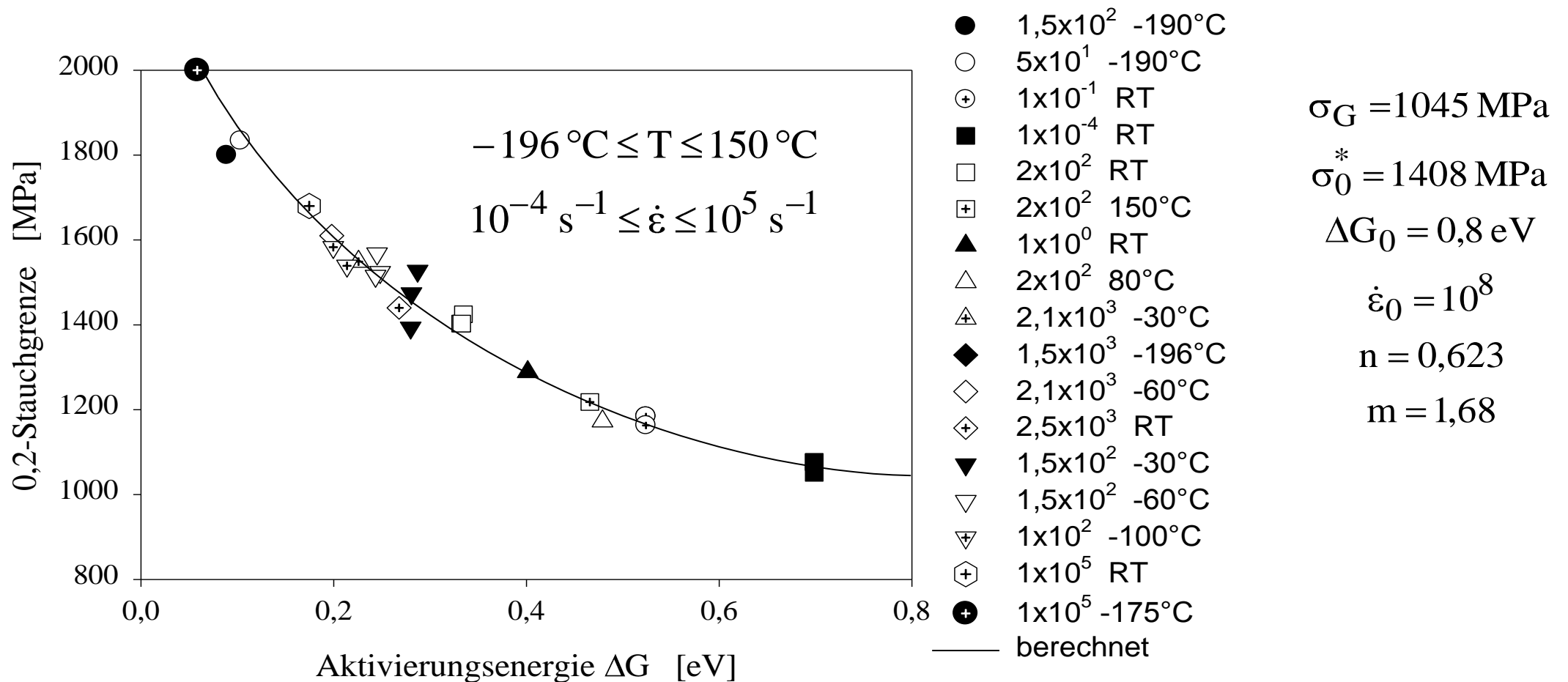
$\Delta G(\sigma)$  ... Aktivierungsenergie

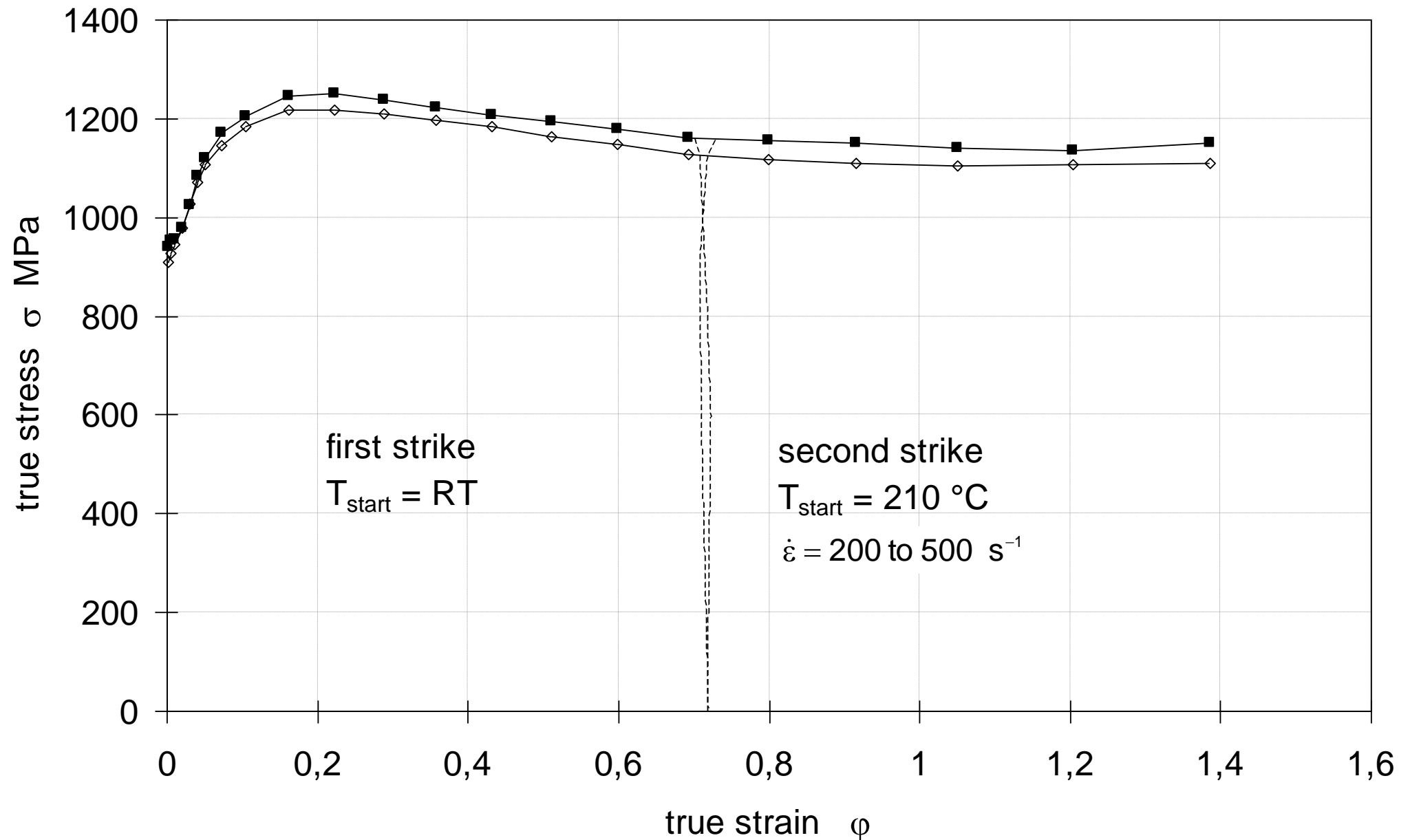
$k$  ... Boltzmann – Konstante

$T$  ... Temperatur

$\dot{\epsilon}_0$  ... Materialkonstante (Versetzungstruktur)

$$\sigma = \sigma_G + \sigma_0^* \left[ 1 - \left( \frac{kT}{\Delta G_0} \ln \frac{\dot{\epsilon}_0}{\dot{\epsilon}} \right)^n \right]^m$$

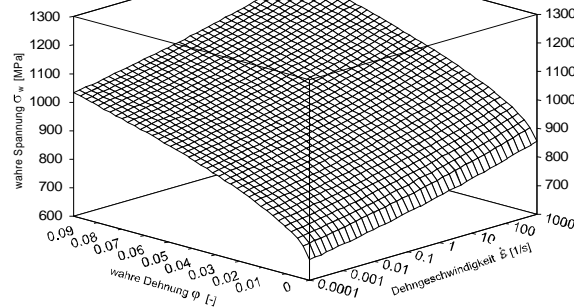




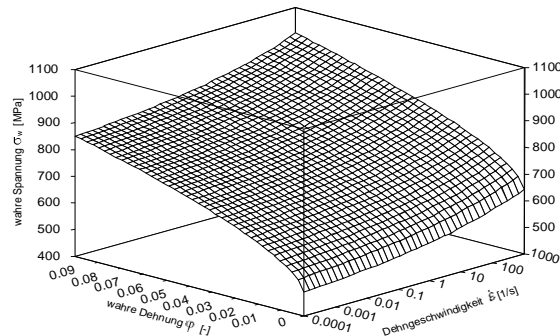
Ergebnisse:

C45E - 1.1191

40CrMnMo7- 1.2311



wahre **Zug**spannung in Abhängigkeit von der Dehnrage und der wahren Dehnung bei **RT**, (Modell nachZA)



wahre **Zug**spannung in Abhängigkeit von der Dehnrage und der wahren Dehnung bei **600°C**, (Modell nachZA)

spannung  
eit von  
e und der  
nung bei  
nachZA)

pannung  
it von  
und der  
nung bei  
ell nachZA)

Modelldaten:

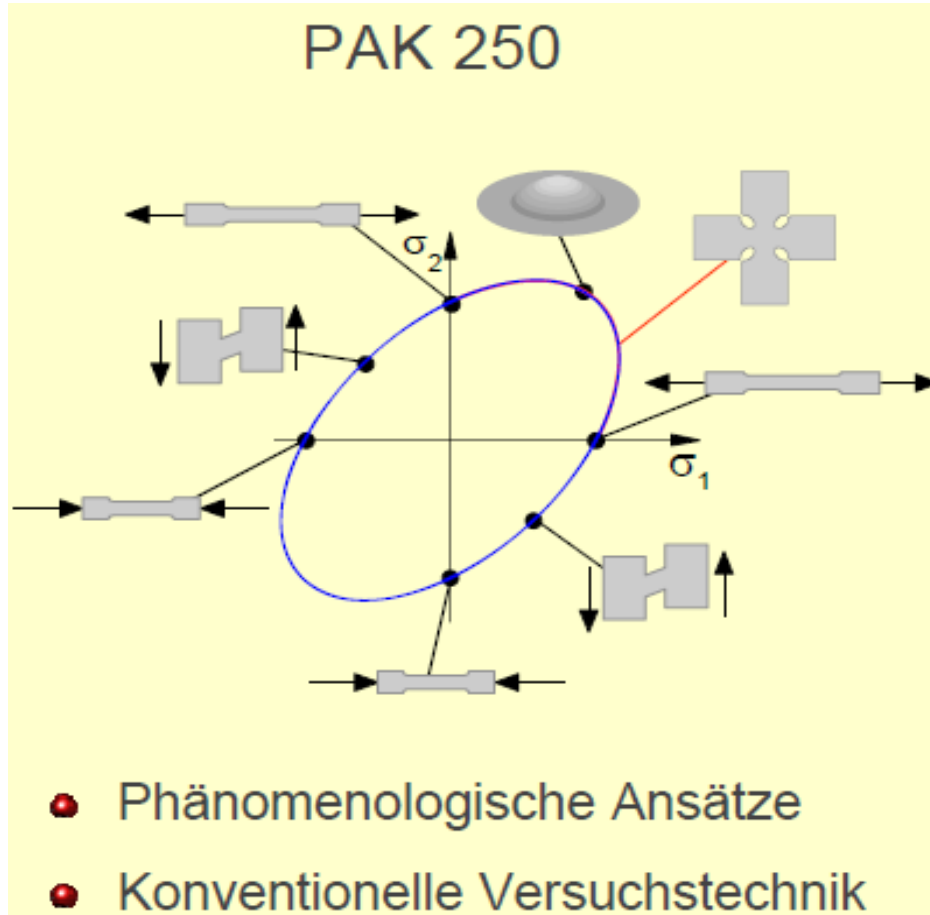
*Modell nach Zerilli-Armstrong*

$$\sigma = \Delta\sigma'_G + c_1 \exp(-c_3 T + c_4 T \ln \dot{\epsilon}) + c_5 \epsilon^n + c_6$$

**Ziel:** Schaffung einer experimentellen Basis zur Entwicklung von mathematischen Modellen, mit deren Hilfe das Werkstoffverhalten im gesamten interessierenden Bereich der Dehnungsgeschwindigkeiten und Temperaturen umfassend beschrieben werden soll.



# Verbesserung der numerischen Modellierung und der Simulation des Werkstoffverhaltens metallischer Werkstoffe bei Blechumformprozessen

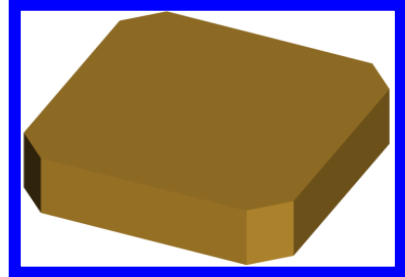


• **Dehnrage**

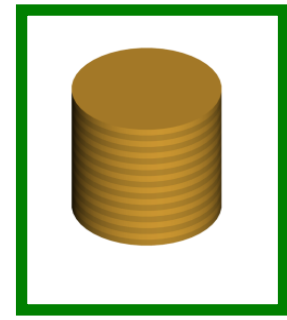
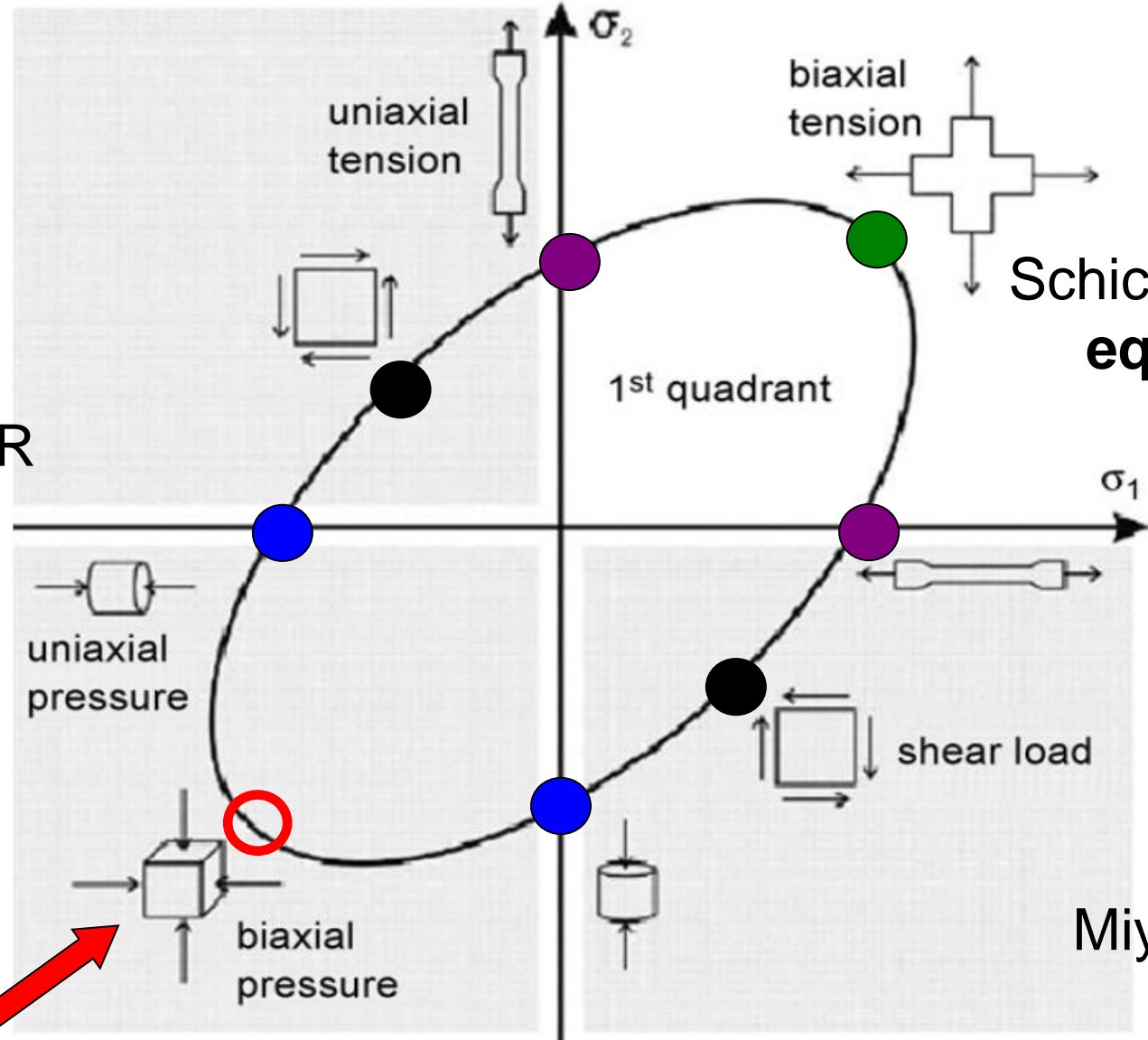
# Beispiel – Fließortkurven von Blechwerkstoffen



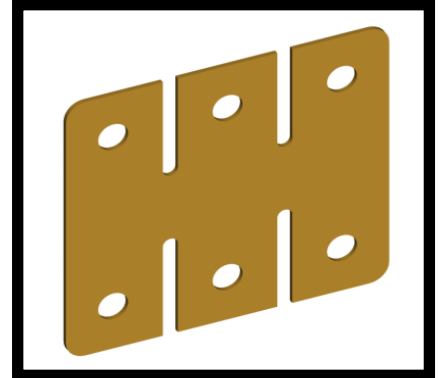
Zug-einachsig  
0°/45°/90° zur WR



Druck-einachsig  
0°/90° zur WR



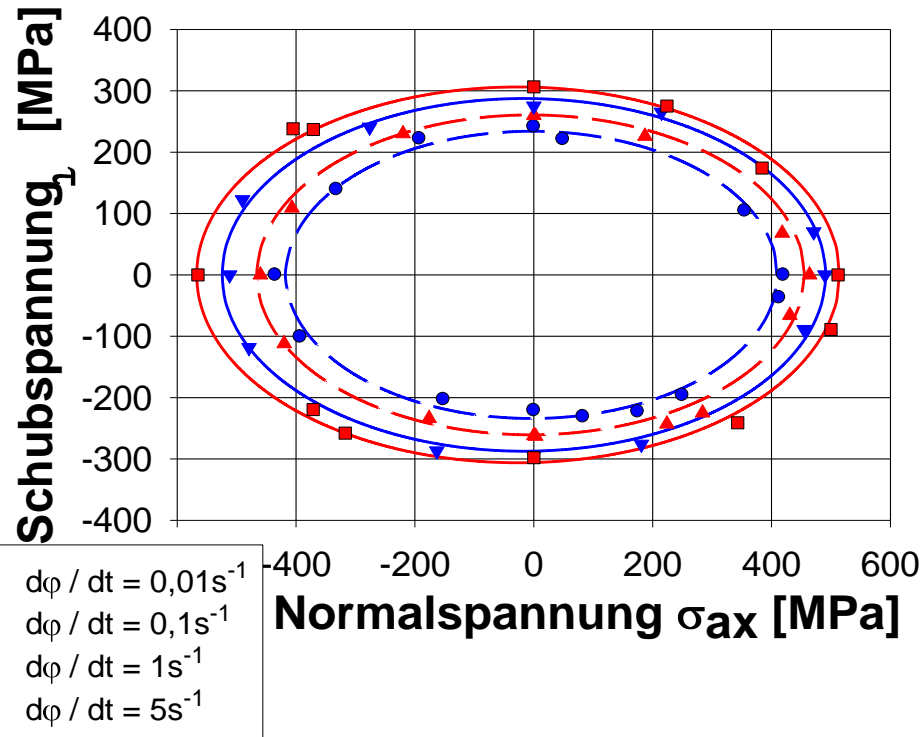
Schichtstauchversuche  
**equi-biaxial Zug**



Miyauchi-Shear-Test  
0°/90° zur WR

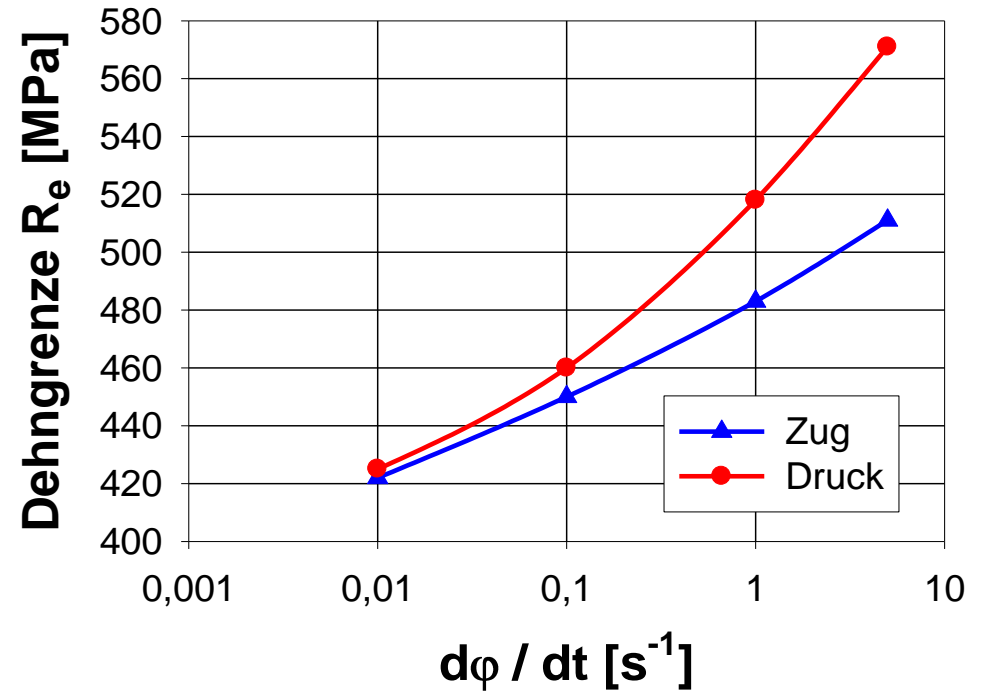
## Innovation: Druck-biaxial

# Einfluss der Formänderungsgeschwindigkeit auf den Fließort

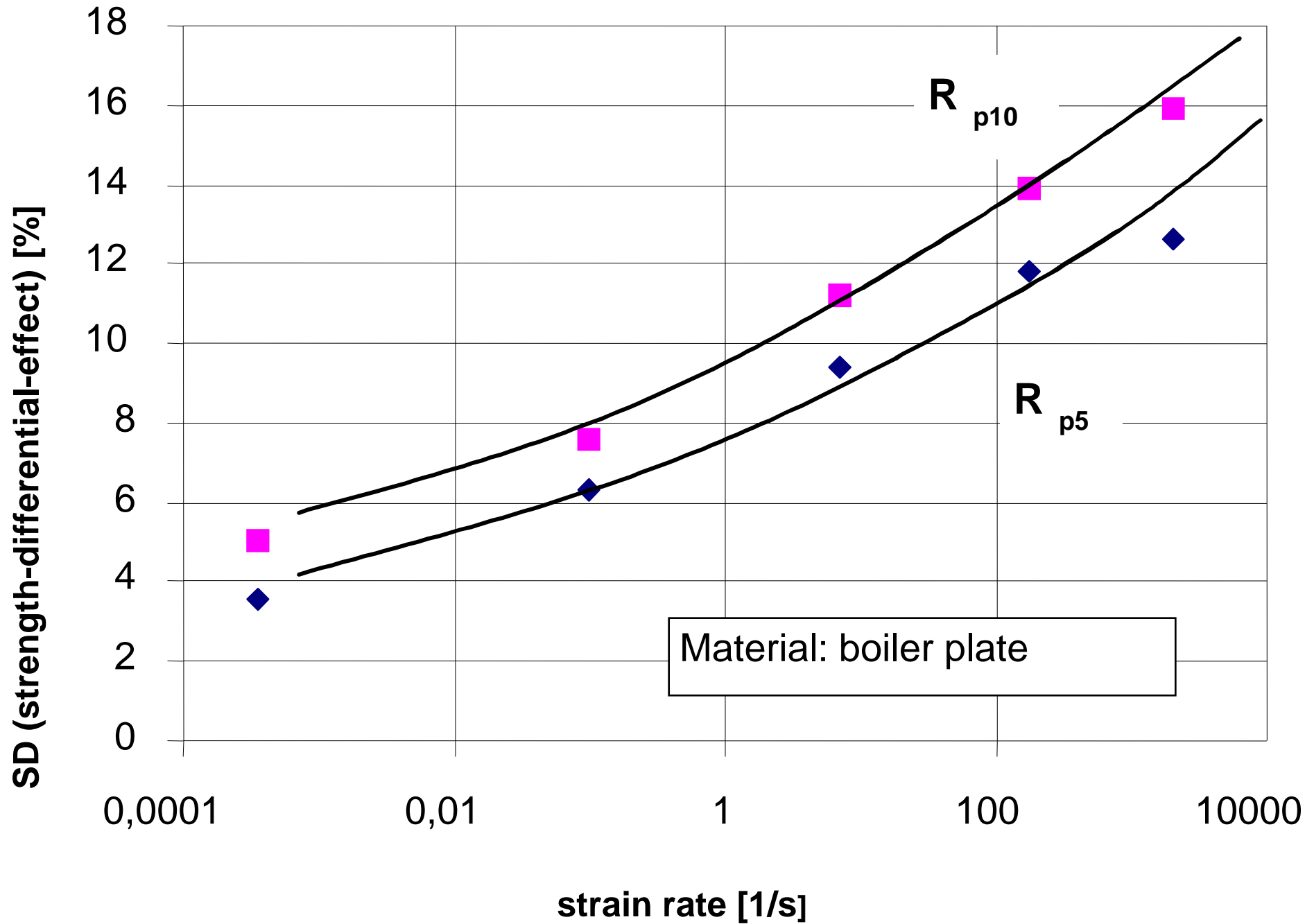


Fließortkurve eines niedrig legierten Stahls in Abhängigkeit von der Formänderungsgeschwindigkeit

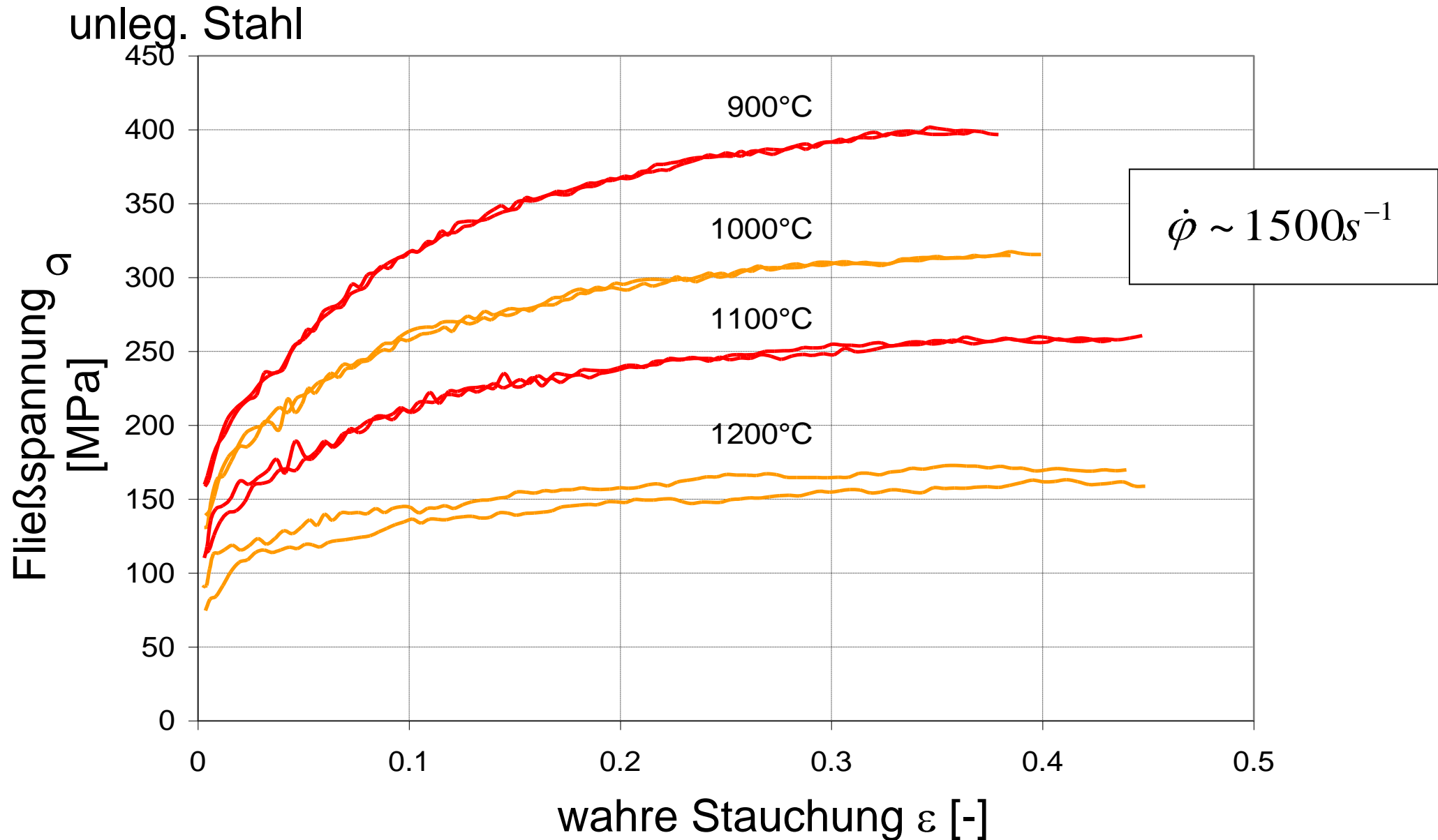
$$\frac{\sigma_{axial}^2}{\sigma_v^2} + \frac{a\tau^2}{\sigma_v^2} = 1 \quad \longrightarrow \quad \frac{\sigma_{axial}^2 - (b_1\dot{\phi}^{b_2}) * \sigma_{axial}}{[\sigma_{v_0} + c_1\ln(\dot{\phi})]^2} + \frac{a\tau^2}{[\sigma_{v_0} + c_1\ln(\dot{\phi})]^2} = 1$$

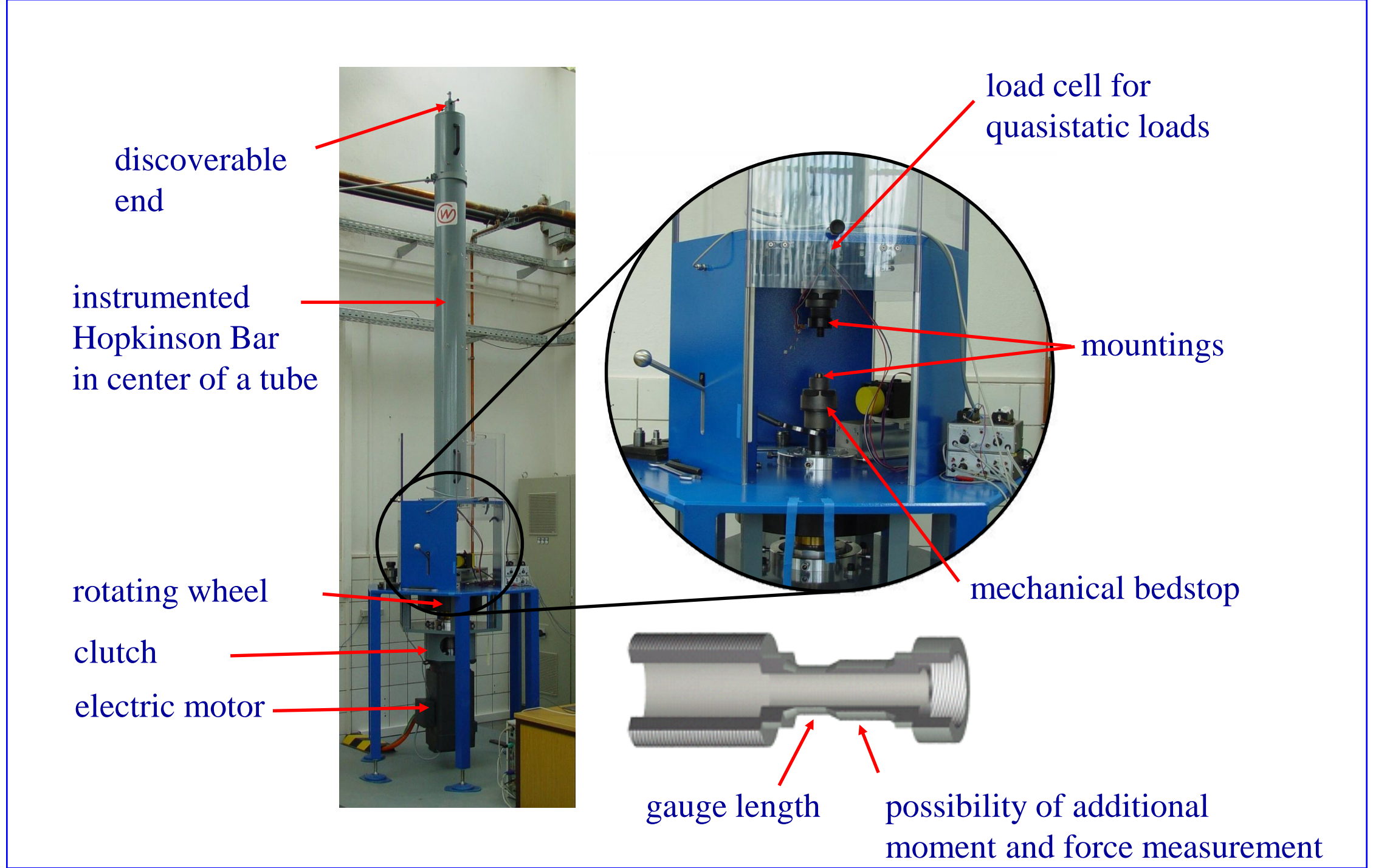


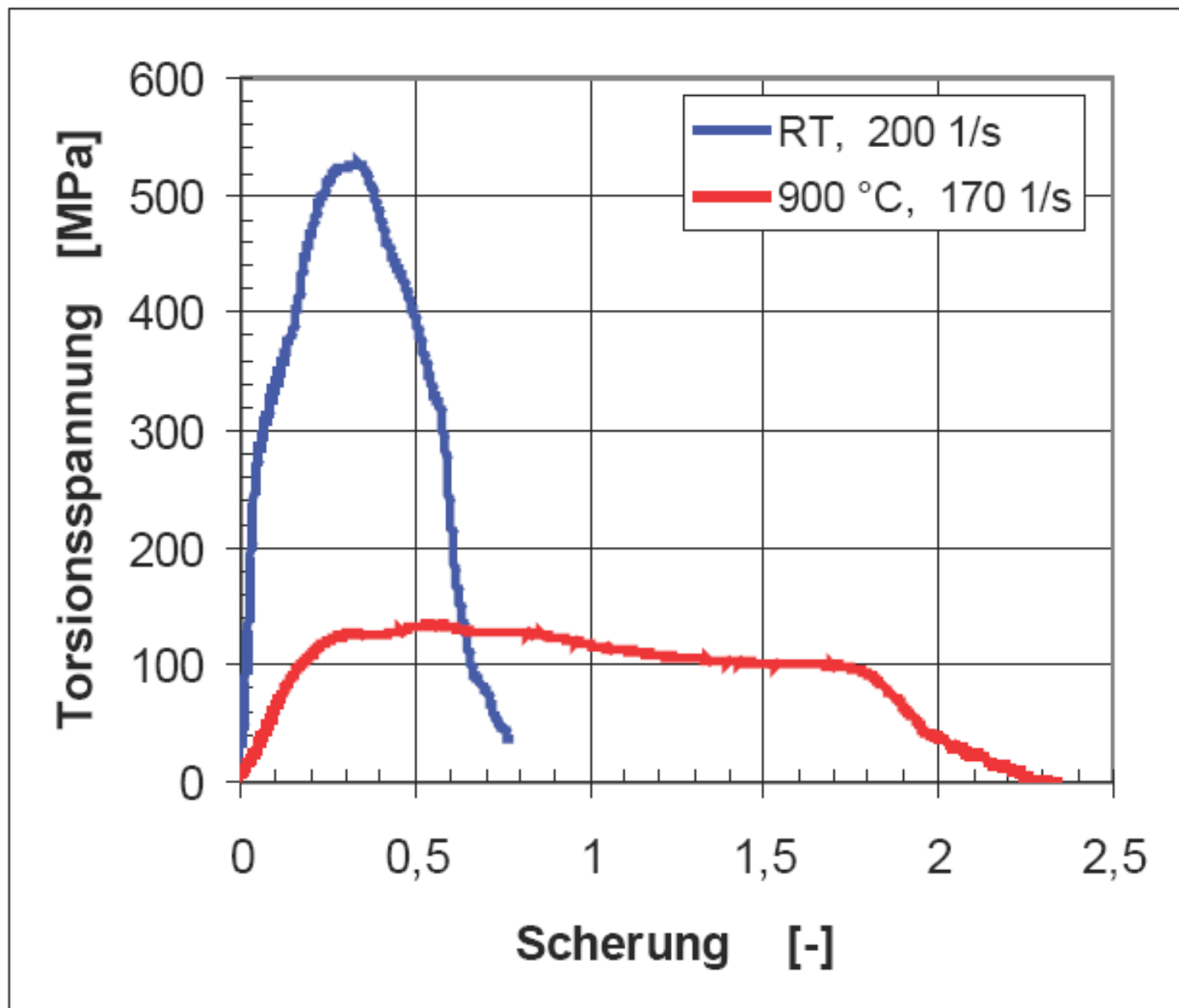
Stauch- und Dehngrenzen eines niedriglegierten Stahls in Abhängigkeit von der Verformungsgeschwindigkeit



# Beispiel - Warmfließkurven aus Versuchen am Hopkinsonaufbau

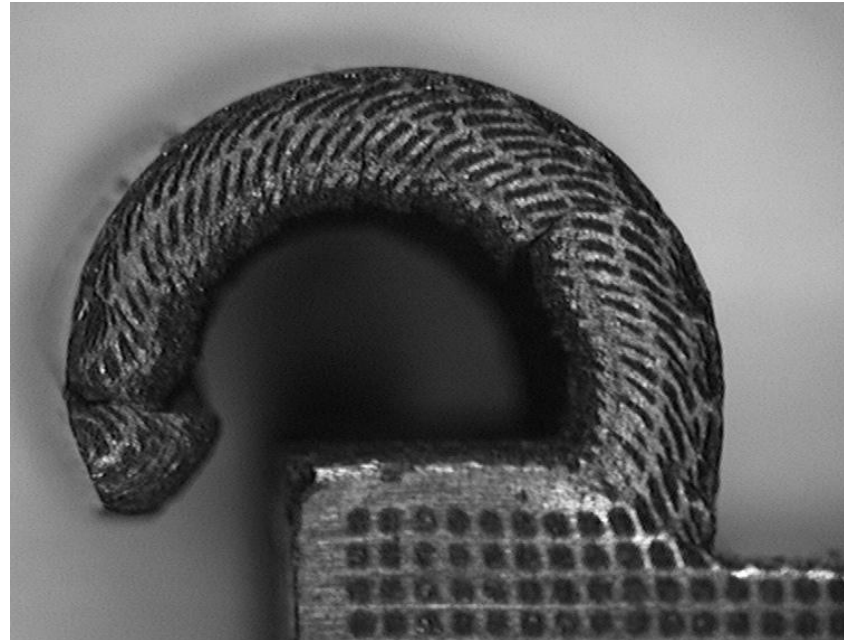
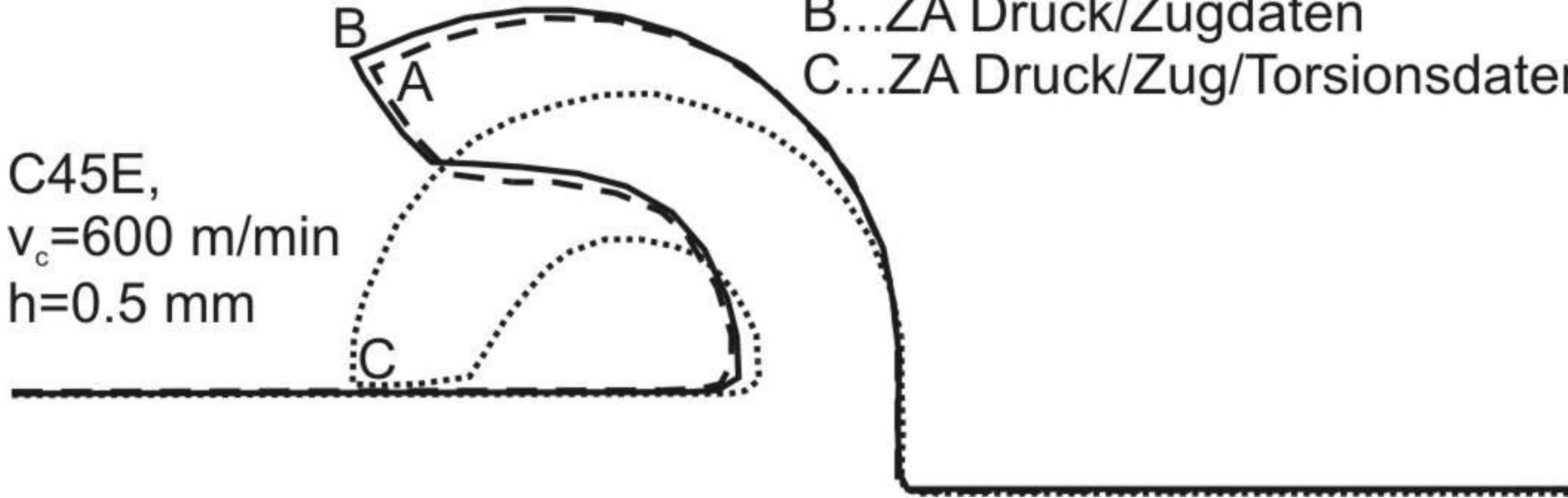






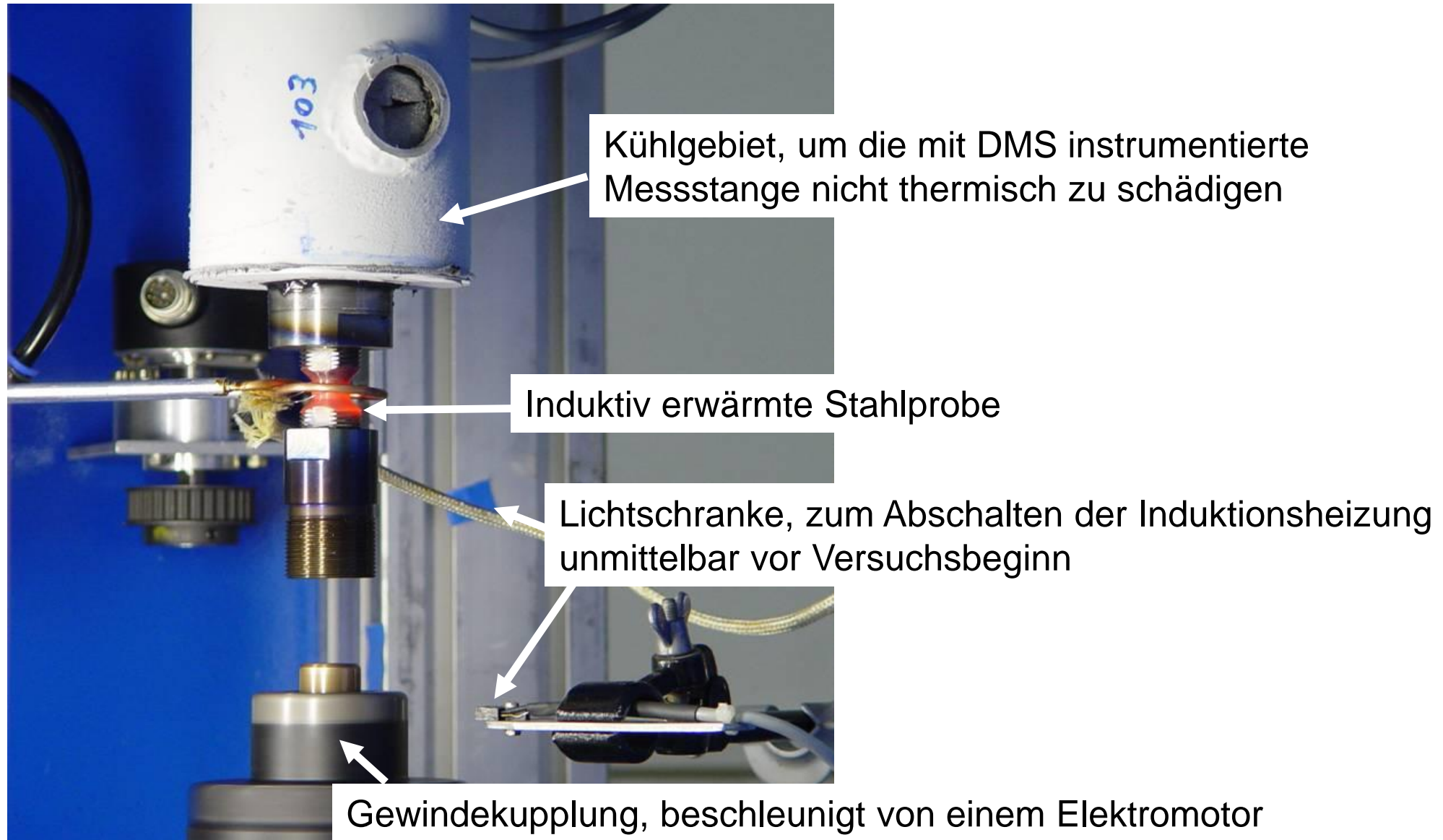
- A...PW Druck/Zugdaten
- B...ZA Druck/Zugdaten
- C...ZA Druck/Zug/Torsionsdaten

C45E,  
 $v_c=600$  m/min  
 $h=0.5$  mm





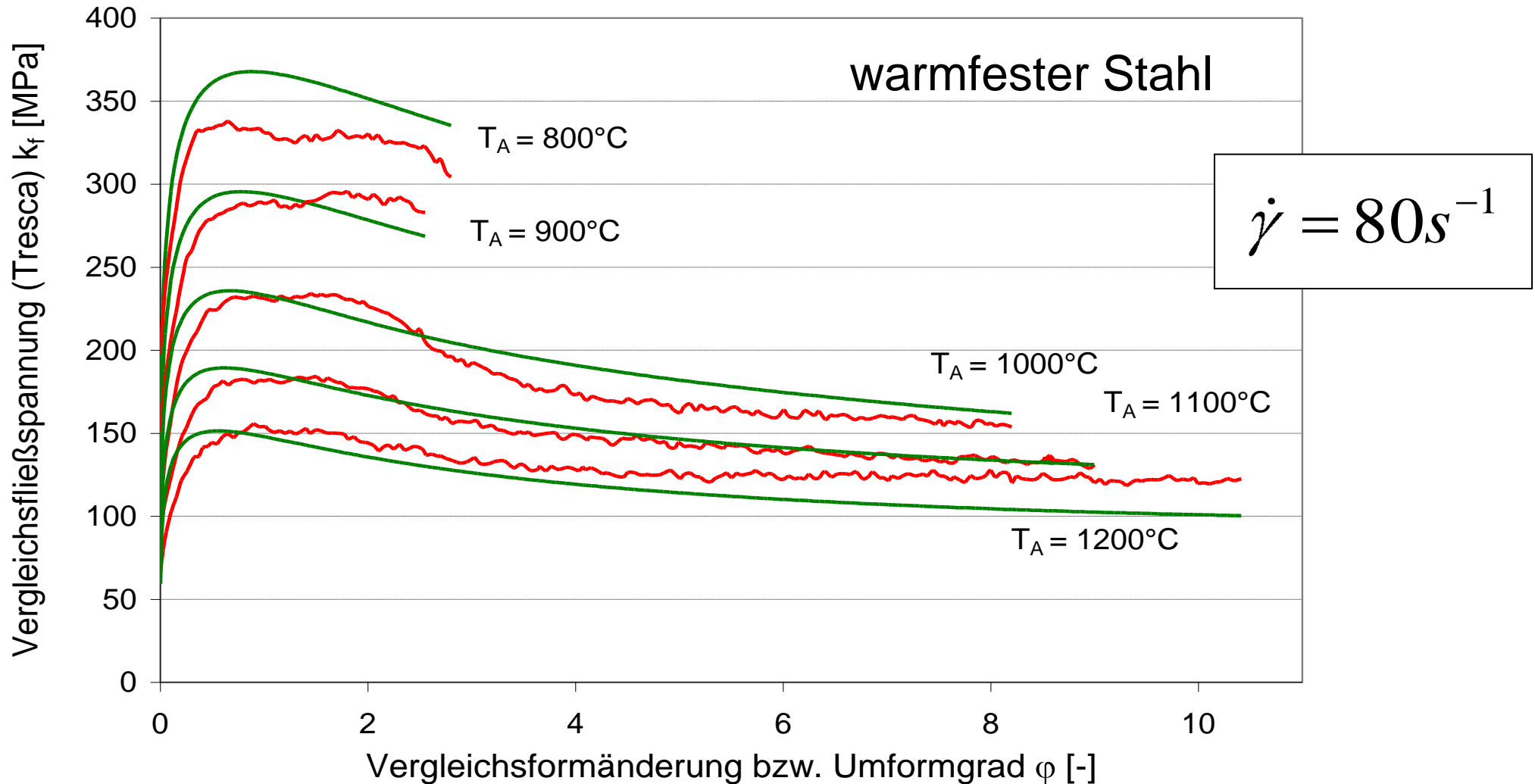
# Warmtorsionsversuche bei Schergeschw. bis $\dot{\gamma}=10^2 \text{ s}^{-1}$



# Torsionsfließkurven und Werkstoffmodellierung

Empirisches Materialmodell nach Spittel u. Spittel [Spittel, T.; Spittel, M.: Möglichkeiten und Grenzen der Kennwertbestimmung und –modellierung bei Kalt- und Warmumformung. In: MEFORM 98 Modellierung von Umformprozessen, Freiberg, D, 1998]

$$k_f = A e^{m_1 T} T^{m_9} \varphi^{m_2} e^{m_4 / \varphi} (1 + \varphi)^{m_5} e^{m_7 \varphi} \dot{\varphi}^{m_3} \dot{\varphi}^{m_8} T$$



- extensive special experimental devices as state of the art at Nordmetall GmbH, especially for high rate mechanical testing of materials
- in depth knowledge of high dynamic material forming technology (forging, deep drawing, shot peening) and machining operations (high speed cutting, grinding) and life protection applications (armoured vehicles, life vests)
- constitutive description of the mechanical behaviour of materials as a basis for the application of finite element analysis
- finite element simulations of high rate processes with accurate material models is possible
- development of new materials by either thermomechanical treatment or severe plastic deformation (ECAP with word largest die)
- close cooperation with companies and scientific associations including company specific and secret tasks

# Thank you very much!

## how to contact us:



**Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Lothar W. Meyer**

1. Managing Director

phone: +49 371 503490 21

email: lothar.meyer@nordmetall.net



**Dr.-Ing. Norman Herzig**

2. Managing Director

phone: +49 371 503490 22

email: norman.herzig@nordmetall.net

**Nordmetall GmbH**

Hauptstraße 16

D-09221 Adorf , Gemeinde

Neukirchen

Germany

phone: +49 371 503490 0

fax: +49 371 503490 11

web: <http://www.nordmetall.net>

email: info@nordmetall.net

