



AMAG
AUSTRIA METALL

Metallzugversuch: Warum die Dehngeschwindigkeit wichtig ist

Dr.-Ing. Christoph Henkel, AMAG rolling GmbH, Ranshofen / Österreich
testXpo – 28. Fachmesse für Prüftechnik, Ulm, 16.10.2019

AMAG rolling - Produktspektrum

Für die Freigabe von ca. 245.000 t Bleche und Platten aus Aluminium und Aluminium-Legierungen



werden
100.000 bis 115.000 Zugversuche / Jahr
benötigt .



Zugprüfmaschine mit Handlings-System

Funktionsweise



Zugprüfmaschine mit Handlings-System

Funktionsweise



Warum die Dehngeschwindigkeit wichtig ist

DIN 50 145: 1975-05 - Prüfung metallischer Werkstoffe – Zugversuch



DK 669.1/.8 : 620.172

überholt '91

Mai 1975

	Prüfung metallischer Werkstoffe Zugversuch	DIN 50 145
Testing of metallic materials; tensile test Essais des matériaux métalliques; essai de traction	<i>ers. d. EN 10002-1</i>	Zugleich Ersatz für DIN 50 112, DIN 50 143, DIN 50 144, DIN 50 146

Zu 7.4. Dehn- oder Spannungszunahme-Geschwindigkeit
Der Verformungswiderstand der metallischen Werkstoffe wird mit zunehmender Verformungsgeschwindigkeit größer. Deshalb dürfen bei der Bestimmung der Dehngrenze, Streckgrenze und Zugfestigkeit Höchstwerte der Dehngeschwindigkeit nicht überschritten werden. Bei einigen Zugprüfmaschinen-Bauarten kann die Dehngeschwindigkeit in der Weise eingehalten werden, daß von Hand eine Dehngeschwindigkeitskurve im Verlängerung-Zeit-Diagramm nachgesteuert wird. Dieses Verfahren erfordert vom Prüfer Geschick und ist nicht anwendbar, wenn sich im Verlauf des Zugversuches die Dehngeschwindigkeit plötzlich ändert, wie z. B. bei Werkstoffen mit ausgeprägter Streckgrenze. Zugprüfmaschinen bei denen die Dehngeschwindigkeit selbsttätig geregelt wird, sind erst seit kurzem auf dem Markt.

Warum die Dehngeschwindigkeit wichtig ist

Übliche Praxis – bis heute?

- Prüfung mit konstanter Traversengeschwindigkeit (selten)
- Prüfung mit maximaler Spannungsgeschwindigkeit

$$v_C = v_M + v_P = \frac{\dot{\sigma} \cdot S_o}{C_M} + \frac{\dot{\sigma} \cdot L_c}{E} = \dot{\sigma} \left(\frac{C_M \cdot L_c + S_o \cdot E}{C_M \cdot E} \right)$$

- EN 10 002-1:2001-12 – Metallische Werkstoffe – Zugversuch Teil 1:
- Prüfverfahren bei Raumtemperatur (zurückgezogen)
- EN 485-2:2004-09 - Aluminium und Aluminiumlegierungen - Bänder, Bleche und Platten - Teil 2: Mechanische Eigenschaften (alte Version)
- ASTM B 557:2010-07 - Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products
- ISO 6892-1:2009-11 - Metallische Werkstoffe – Zugversuch Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur - Verfahren B

Zugversuch im Wandel der Zeiten

Quo vadis Zugversuch?

ISO 6892-1: - Metallische Werkstoffe – Zugversuch

Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur - Verfahren A (closed loop)

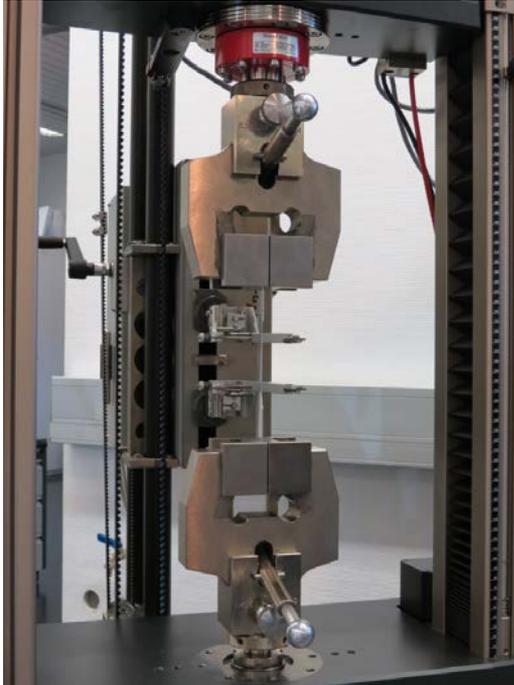
- Ist eine Umrüstung der Zugprüfmaschinen auf Verfahren A (closed loop) zwingend notwendig?
- Gibt es einfache kostengünstige Alternativen?
- Welche Unterschiede in den Dehngeschwindigkeiten ergeben sich bei unterschiedlichen Versuchsaufbauten?
- Welchen Einfluss haben diese Unterschiede in der Dehngeschwindigkeit auf die Bestimmung von $R_{p0,2}$?

Versuchsdurchführung

Legierung	Dicke [mm]	Probe	Verfahren ISO 6892-1	Steifigkeit	$d\sigma/dt$ [MPa/s]	$d\dot{\epsilon}_{pl}/dt$ [1/s]	Traversen- geschw. [mm/s]			
5083-H321	25,4	rund	A-closed loop	hoch	-	0,00025	-			
			A-open loop	hoch	-	-	$v_C = \dot{\epsilon}_{pl} \cdot L_C$			
			B	hoch	2	-	konstant			
			B	hoch	10	-	konstant			
			B	hoch	20	-	konstant			
			3003pl-F	3,0	flach	A-closed loop	mittel	-	0,00025	-
						A-closed loop	niedrig	-	0,00025	-
						A-open loop	niedrig	-	-	$v_C = \dot{\epsilon}_{pl} \cdot L_C$
			7075-T6	2,0	flach	B	niedrig	2	-	konstant
						B	niedrig	10	-	konstant
B	niedrig	20				-	konstant			
B	niedrig	20				-	konstant			
6013-T4	1,0	flach	B	niedrig	2	-	konstant			
			B	niedrig	10	-	konstant			
			B	niedrig	20	-	konstant			
			B	niedrig	20	-	konstant			

Steifigkeit des Versuchsaufbaus

niedrig



Keilspannzeug

mittel



Keilspannzeug
mit Vorspanneinrichtung

hoch

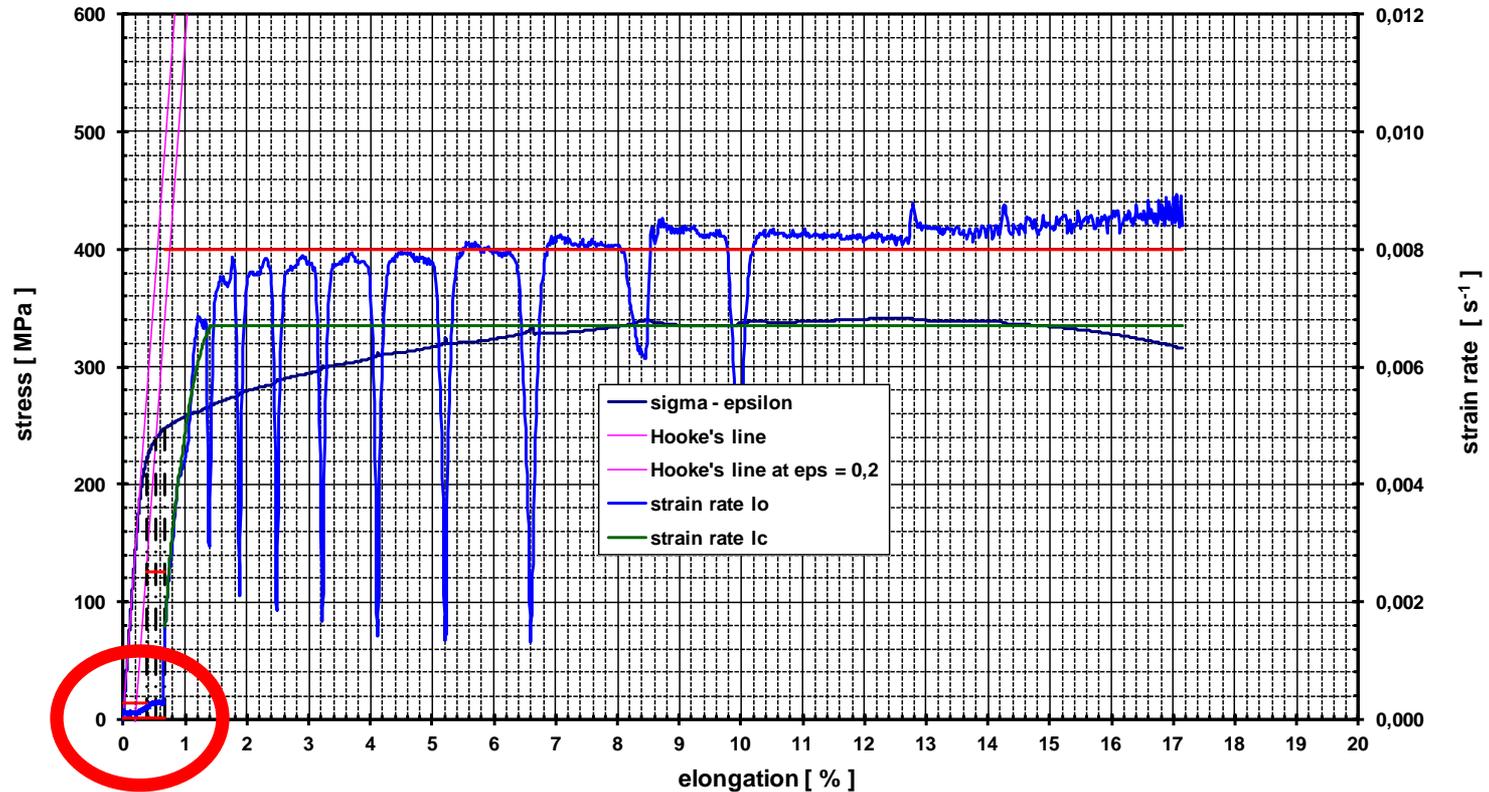


Hydraulisches
Spannzeug

- C_m ist die Steifigkeit des Versuchsaufbaus und setzt sich zusammen aus der Steifigkeit der Maschine, der Einspannung und der Probe

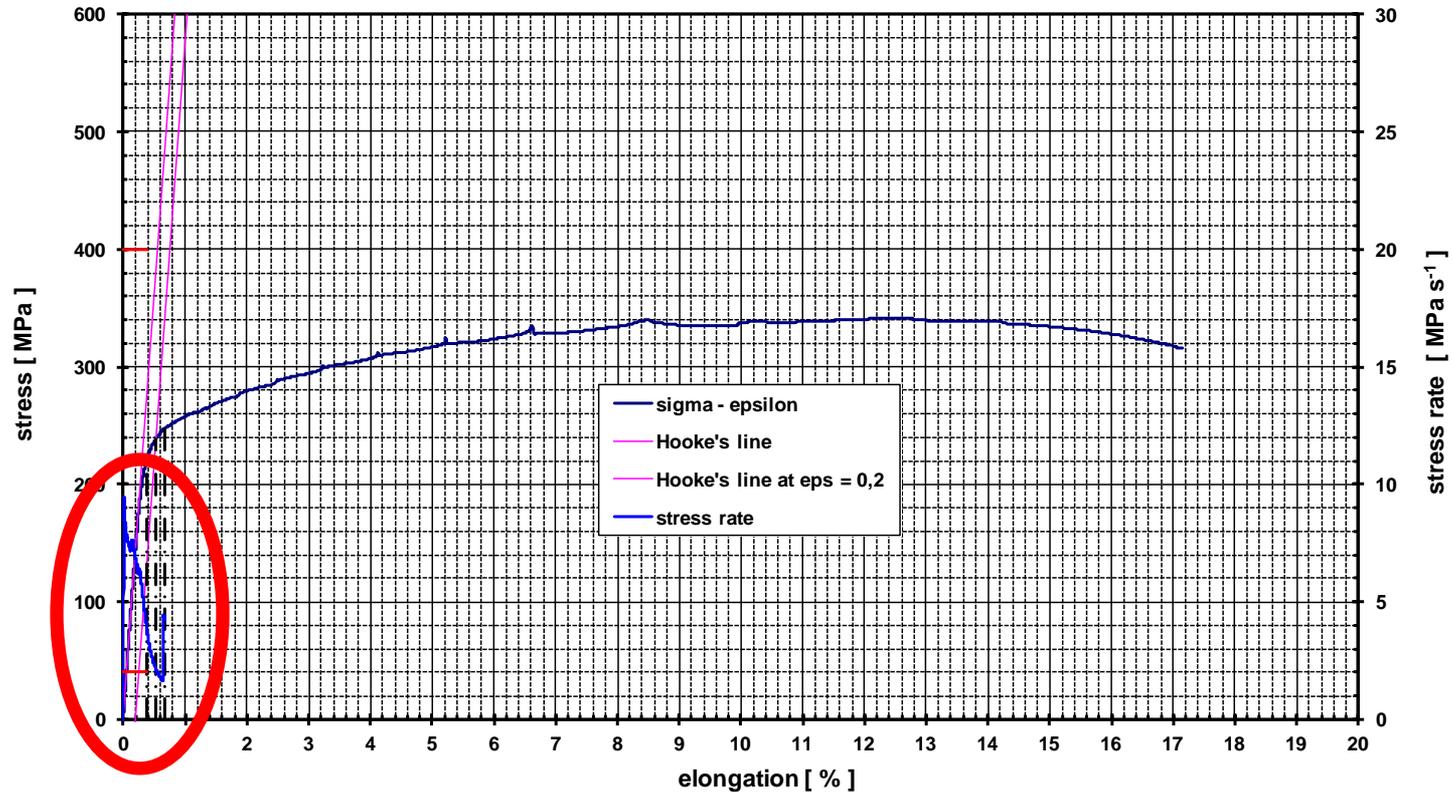
Versuchsauswertung

AA 5083-H321



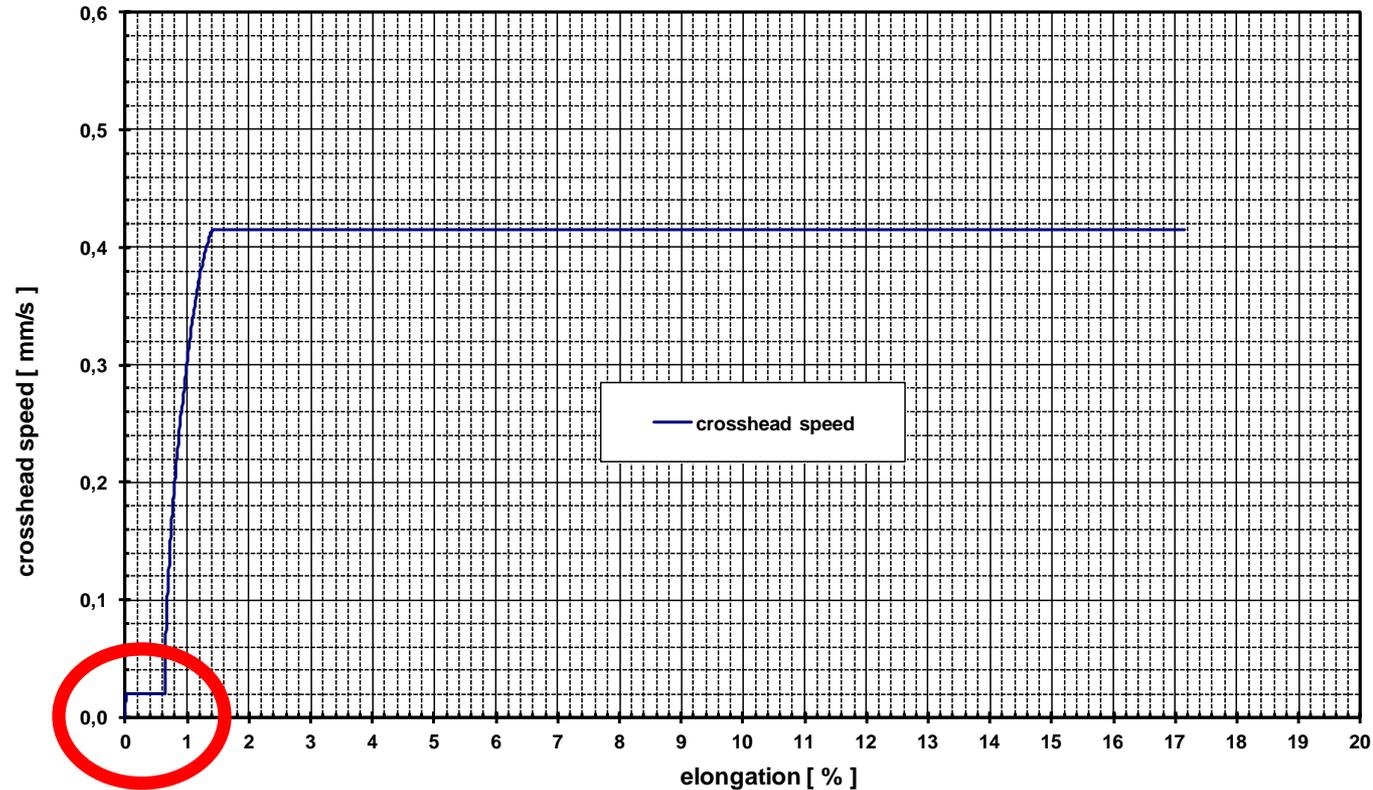
Versuchsauswertung

AA 5083-H321



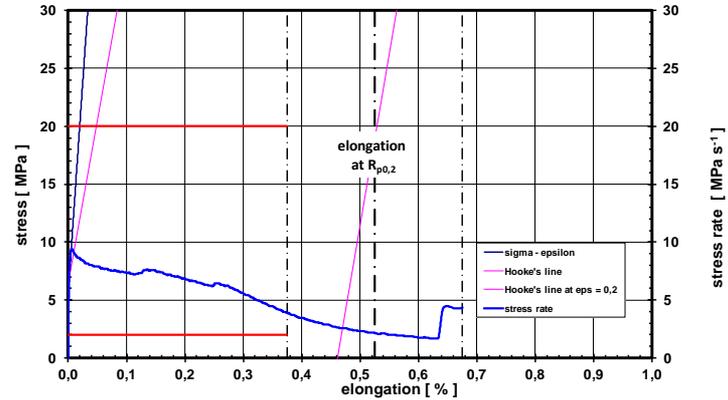
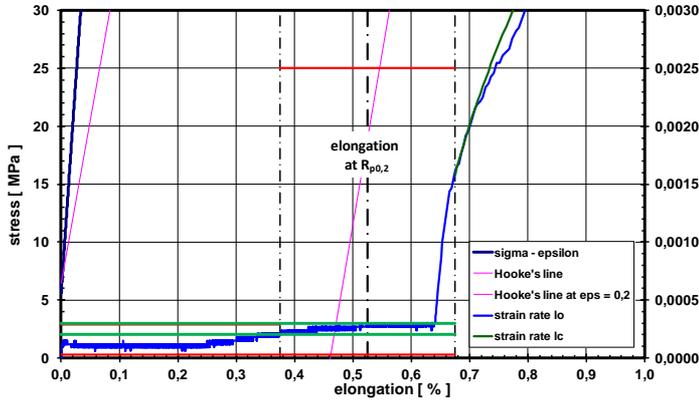
Versuchsauswertung

AA 5083-H321



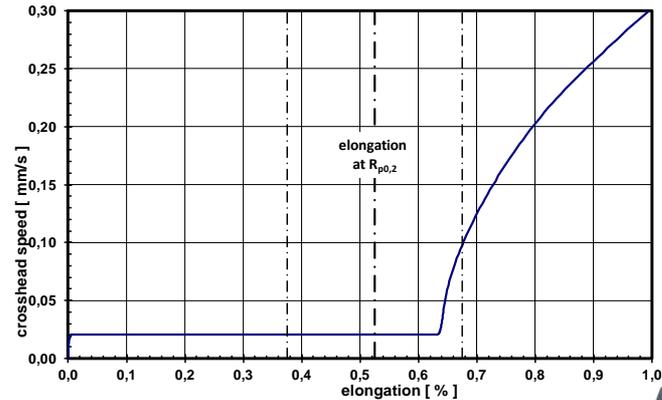
Versuchsauswertung

AA 5083-H321 - hohe Steifigkeit – Methode B mit 10 MPa/s



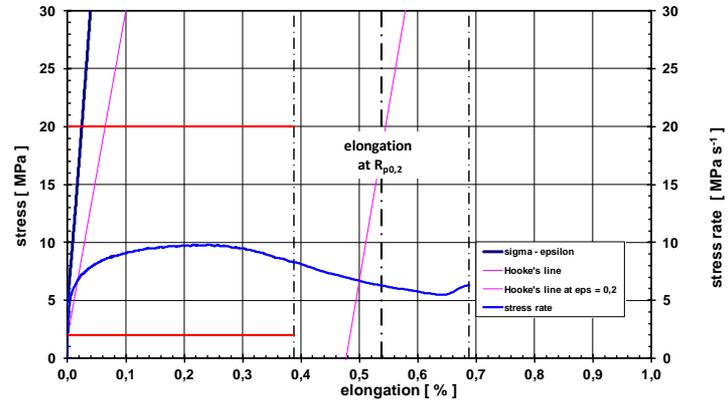
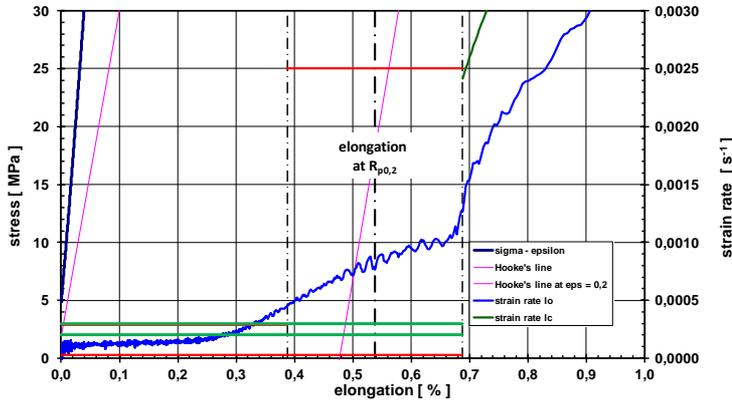
$$v_C = \dot{\sigma} \left(\frac{C_M \cdot L_C + S_0 \cdot E}{C_M \cdot E} \right)$$

- $C_M = 66.000 \text{ N/mm}$
- $L_C = 60 \text{ mm}$
- $d\sigma/dt_{\text{soll}} = 10 \text{ MPa/s}$
- $v_C = 0,020 \text{ mm/s}$
- $d\varepsilon/dt = 0,00028 \text{ 1/s}$



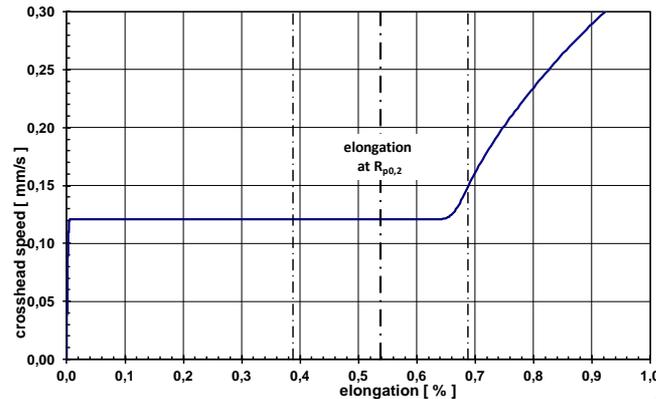
Versuchsauswertung

AA 5083-H321 – niedrige Steifigkeit – Methode B mit 10 MPa/s



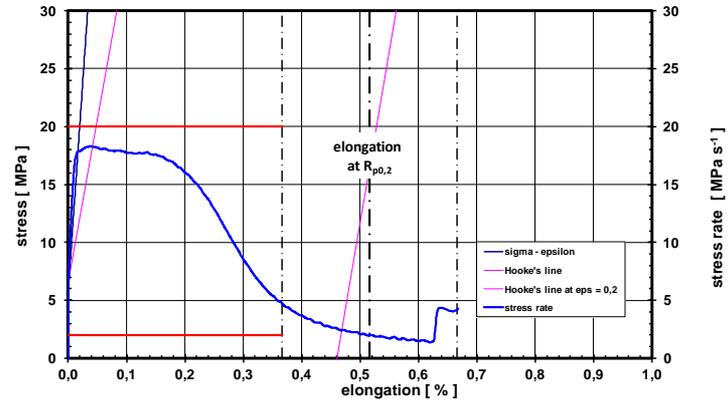
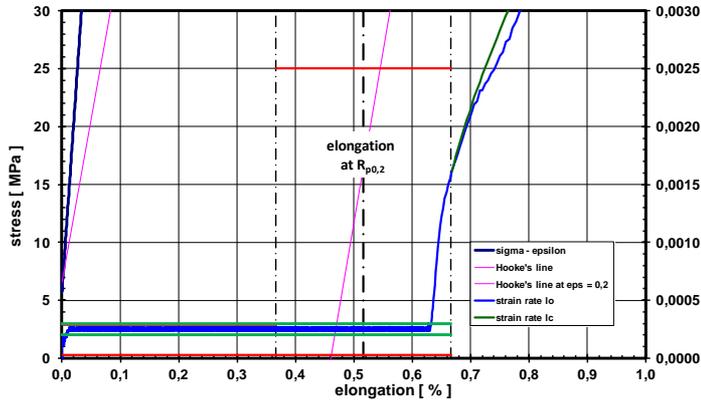
$$v_C = \dot{\sigma} \left(\frac{C_M \cdot L_C + S_0 \cdot E}{C_M \cdot E} \right)$$

- C_M = 7.000 N/mm
- L_C = 60 mm
- dσ/dt_{soll} = 10 MPa/s
- v_C = 0,120 mm/s
- dε/dt = 0,00083 1/s

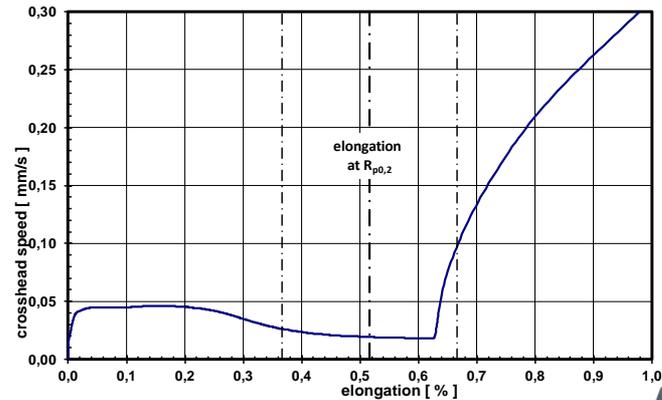


Versuchsauswertung

AA 5083-H321 - hohe Steifigkeit – Methode A (closed loop)

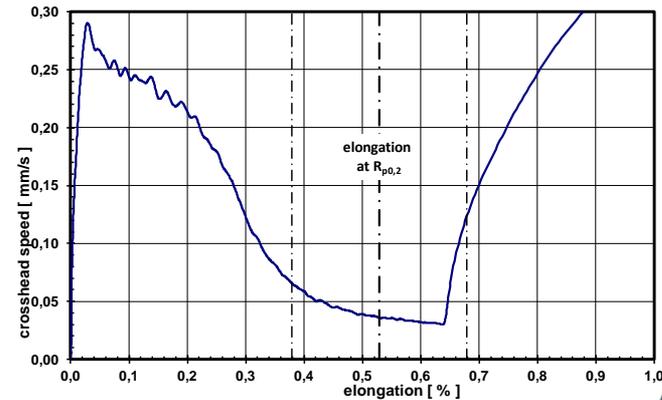
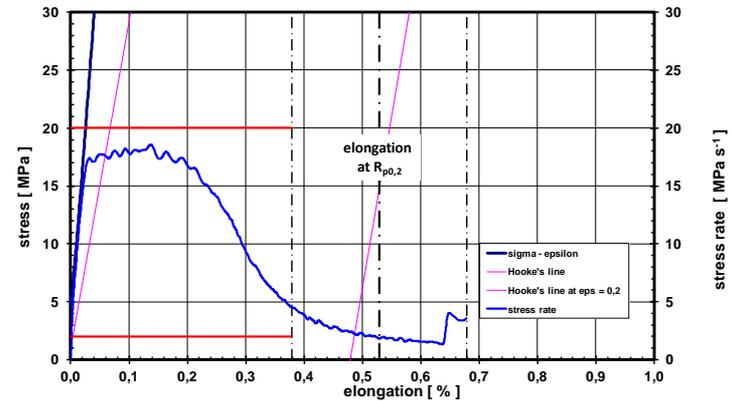
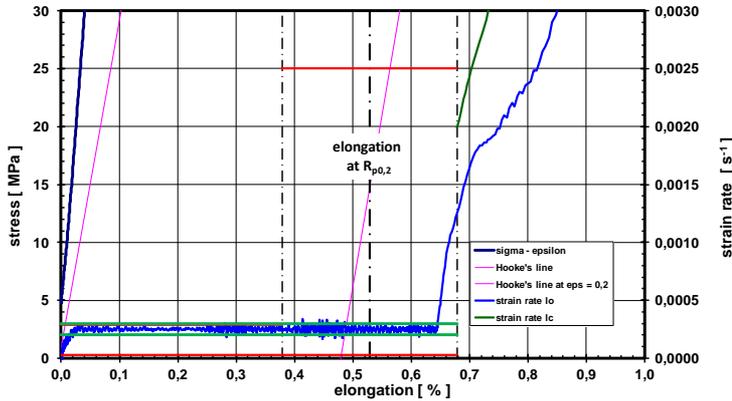


- C_M - nicht relevant
- L_C = 60 mm
- $d\varepsilon/dt_{\text{soil}}$ = 0,00025 1/s
- v_C - nicht konstant
- $d\sigma/dt$ - nicht konstant



Versuchsauswertung

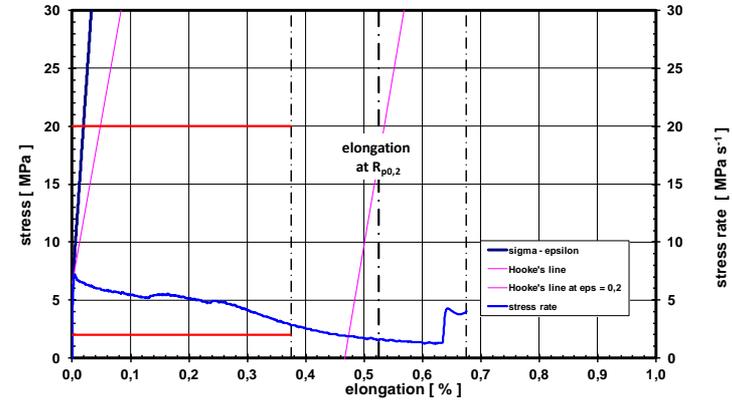
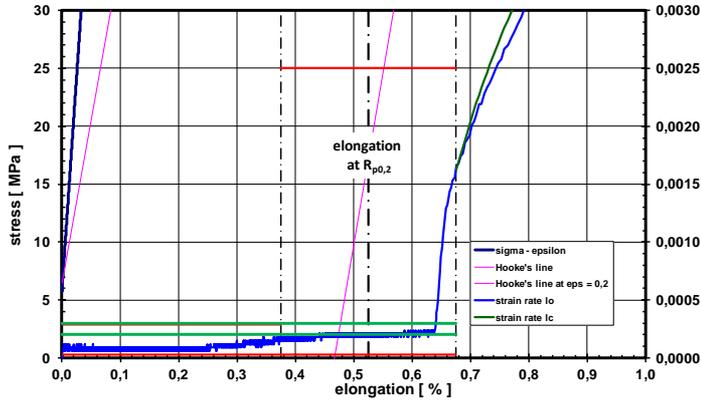
AA 5083-H321 – niedrige Steifigkeit – Methode A (closed loop)



- C_M - nicht relevant
- L_C = 60 mm
- $d\varepsilon/dt_{\text{soil}}$ = 0,00025 1/s
- v_C - nicht konstant
- $d\sigma/dt$ - nicht konstant

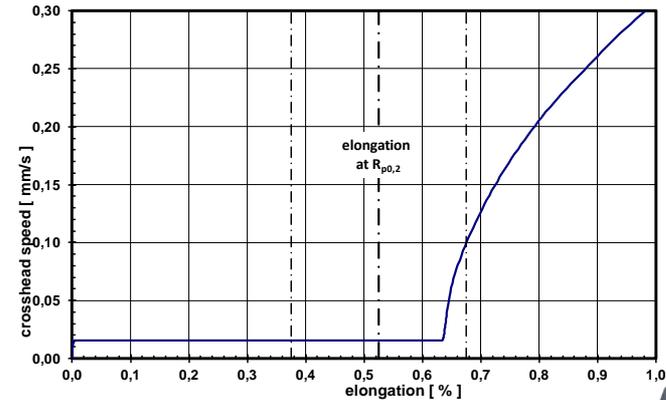
Versuchsauswertung

AA 5083-H321 - hohe Steifigkeit – Methode A (open loop - Anhang F)



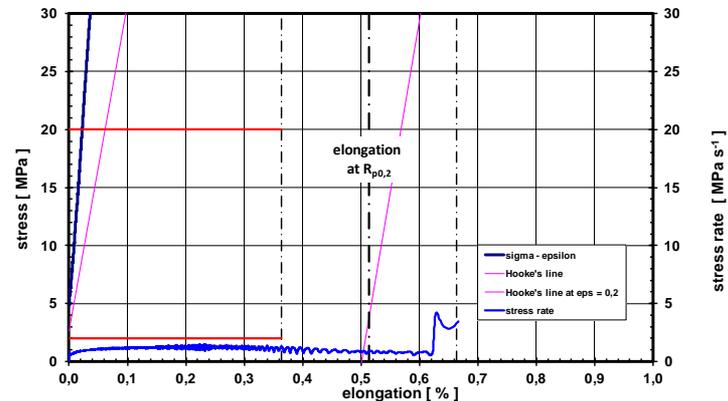
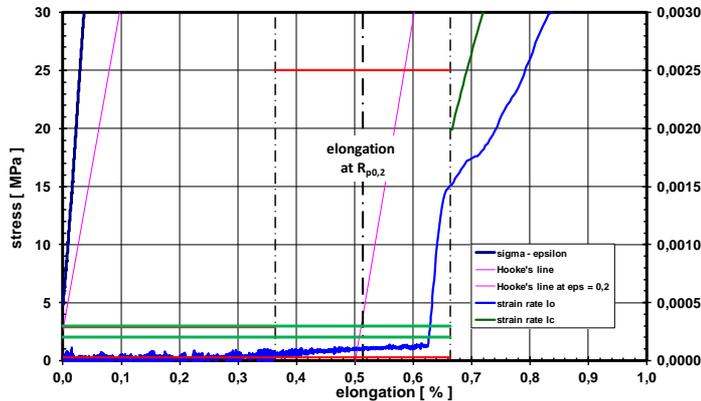
$$v_C = \dot{\epsilon}_{pl} \cdot L_C$$

- C_M - nicht relevant
- L_C = 60 mm
- $d\epsilon/dt_{soll}$ = 0,00025 1/s
- v_C = 0,015 mm/s
- $d\epsilon/dt$ = 0,00020 1/s



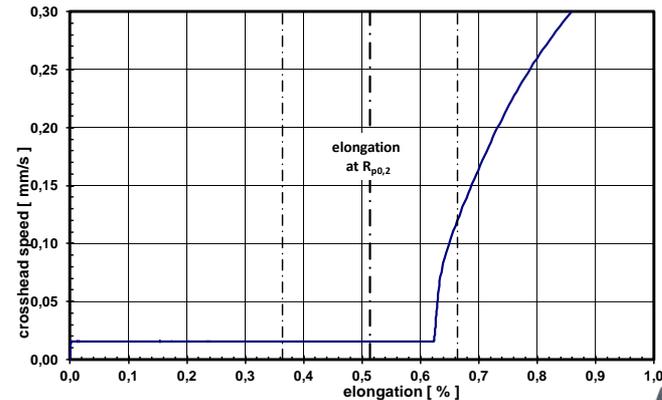
Versuchsauswertung

AA 5083-H321 - niedrige Steifigkeit – Methode A (open loop - Anhang F)



$$v_C = \dot{\epsilon}_{pl} \cdot L_C$$

- C_M - nicht relevant
- L_C = 60 mm
- $d\epsilon/dt_{soll}$ = 0,00025 1/s
- v_C = 0,015 mm/s
- $d\epsilon/dt$ = 0,00001 1/s



Grundlagen

kleine Formelsammlung

$$v_c = v_M + v_P = \frac{\dot{\sigma} \cdot S_0}{C_M} + \frac{\dot{\sigma} \cdot L_c}{E} = \dot{\sigma} \left(\frac{C_M \cdot L_c + S_0 \cdot E}{C_M \cdot E} \right)$$

mit $\sigma = E \cdot \varepsilon_{el}$ bzw. $\dot{\sigma} = E \cdot \dot{\varepsilon}_{el}$

$$v_c = \dot{\varepsilon}_{el} \left(\frac{S_0 \cdot E}{C_M} + L_c \right)$$

elastisch \Rightarrow plastisch

$$v_c = \dot{\varepsilon}_m \left(\frac{S_0 \cdot m}{C_M} + L_c \right)$$

$C_M \Rightarrow$ unendlich

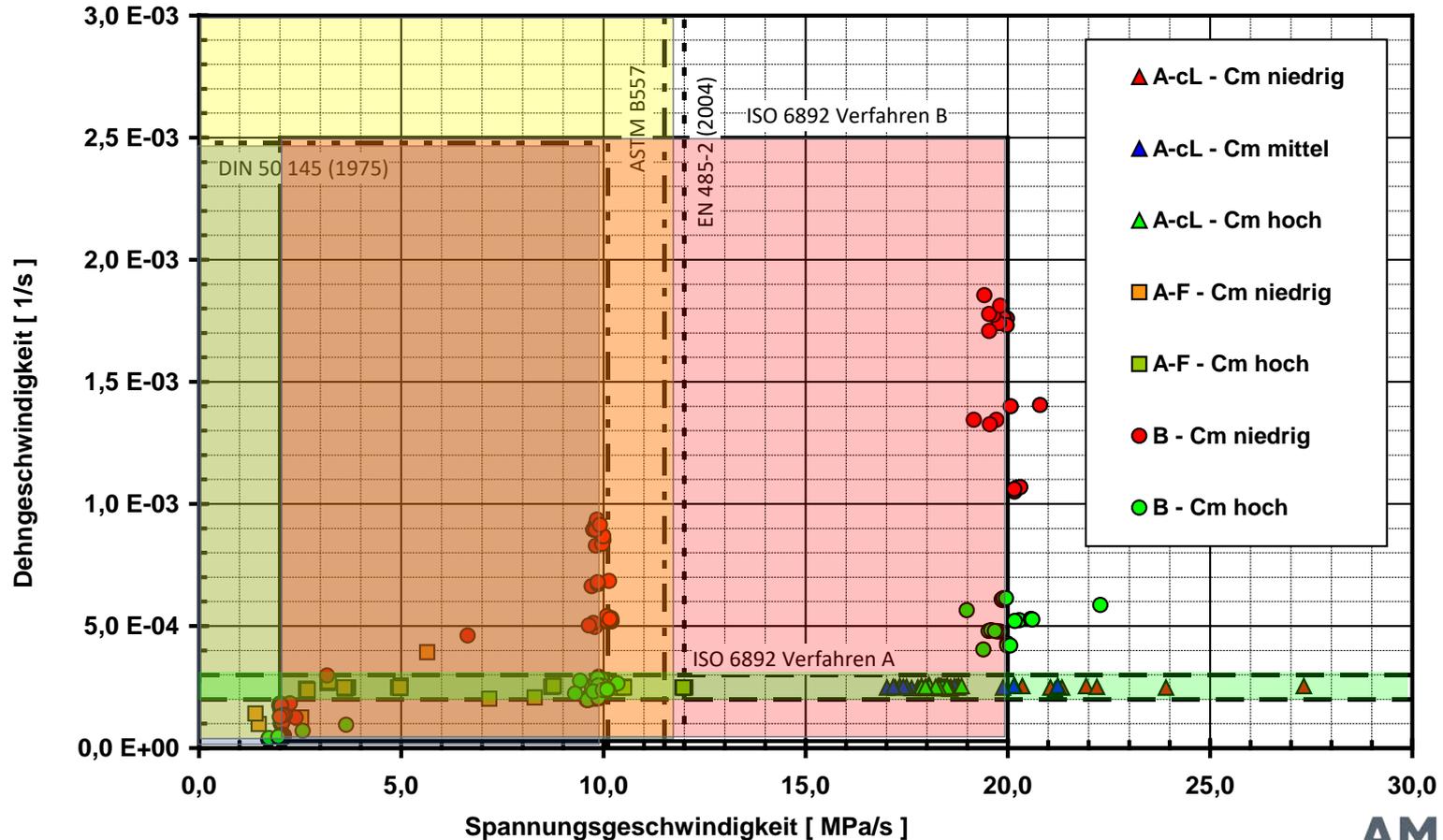
$$v_c = \dot{\varepsilon}_{Lc} \cdot L_c$$

$$C_M = \frac{S_0 \cdot m}{\frac{v_c}{\dot{\varepsilon}_m} - L_c}$$

- v Traversengeschwindigkeit
- $\dot{\sigma}$ Spannungsgeschwindigkeit
- $\dot{\varepsilon}$ Dehnungsgeschwindigkeit
- S_0 Anfangsquerschnitt der Probe
- L_c parallele Länge der Probe
- C_M Steifigkeit des Versuchsaufbaus
- E E-Modul
- m Anstieg der Spannungs-Dehnungs-Kurve im relevanten Bereich der Kennwertermittlung

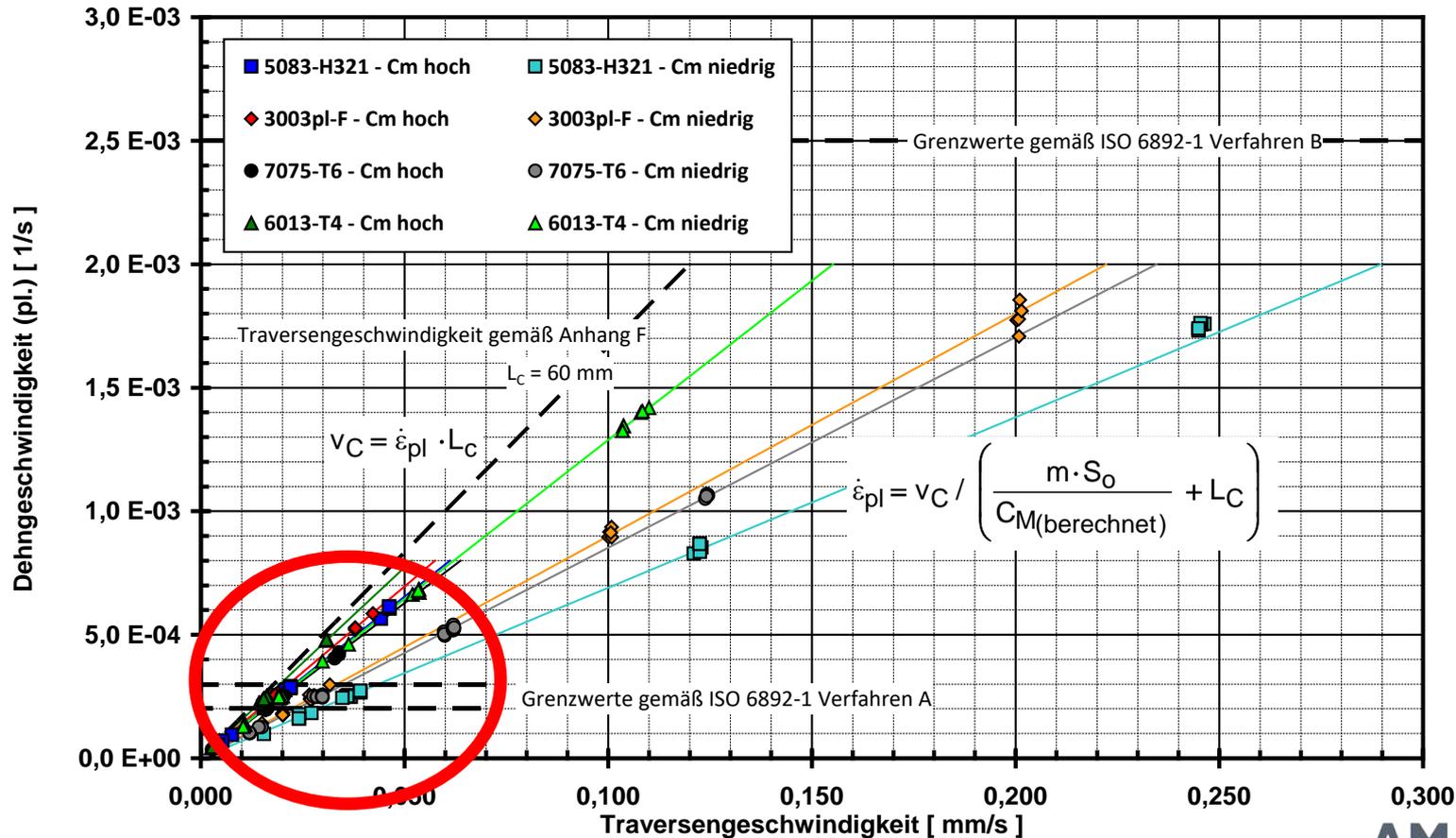
Einfluss der Versuchsparameter

auf $d\varepsilon/dt$ und $d\sigma/dt$



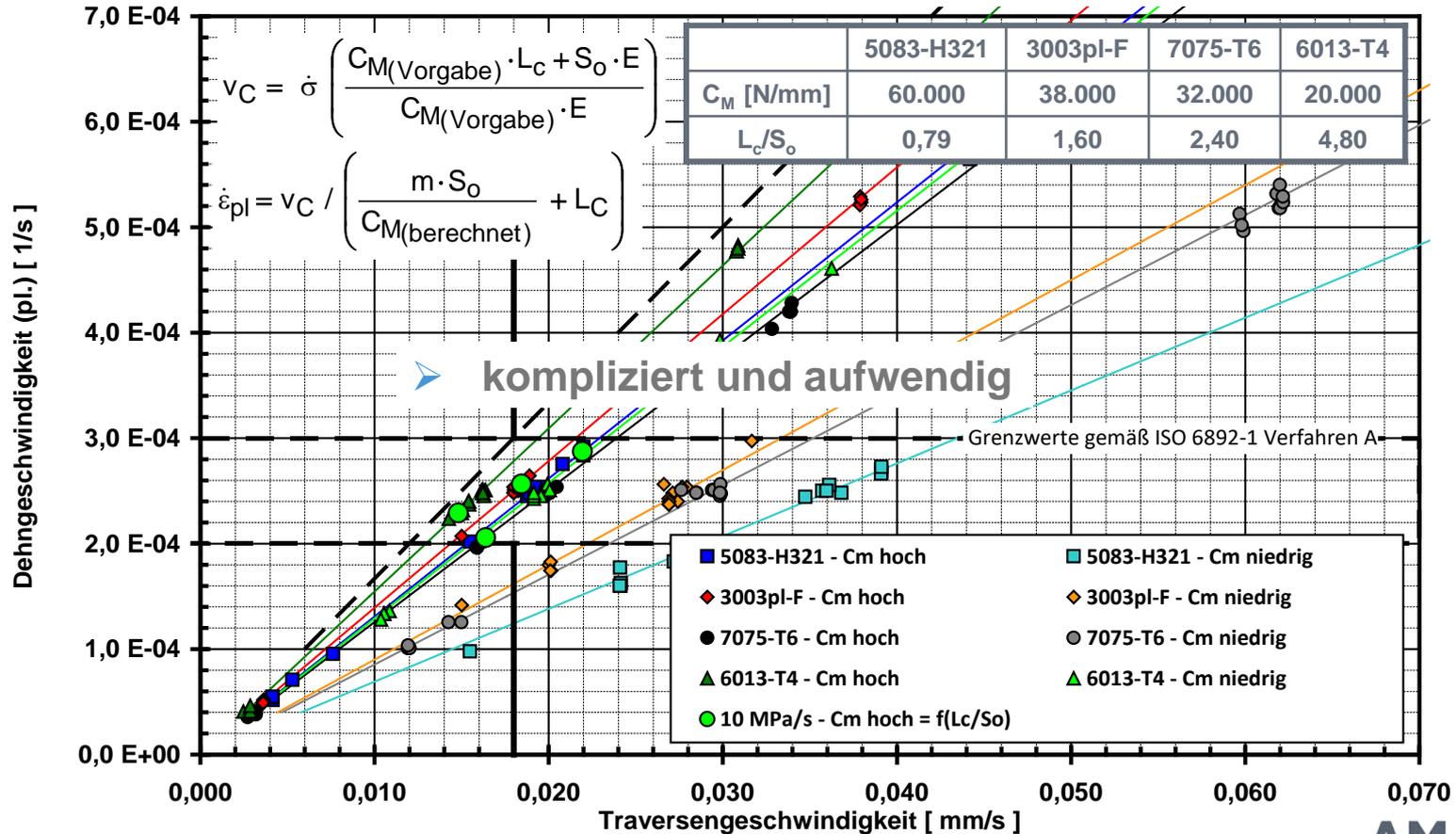
Einfluss der Versuchsparameter

auf $d\varepsilon/dt$ und v_C



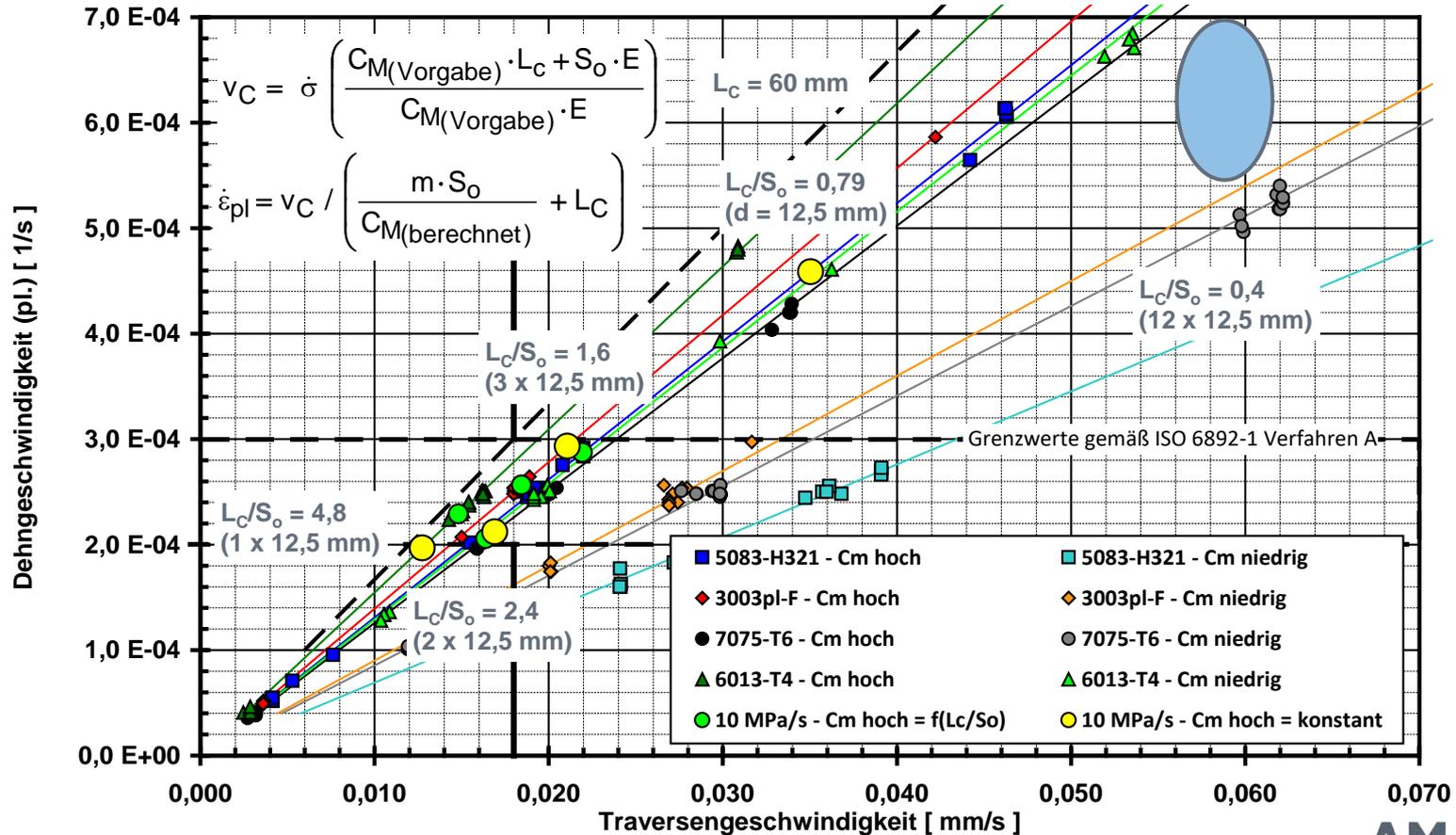
Dehngeschwindigkeiten bei Verfahren B

mit 10 MPa/s hohe Steifigkeit – $C_M = f(L_C/S_o)$



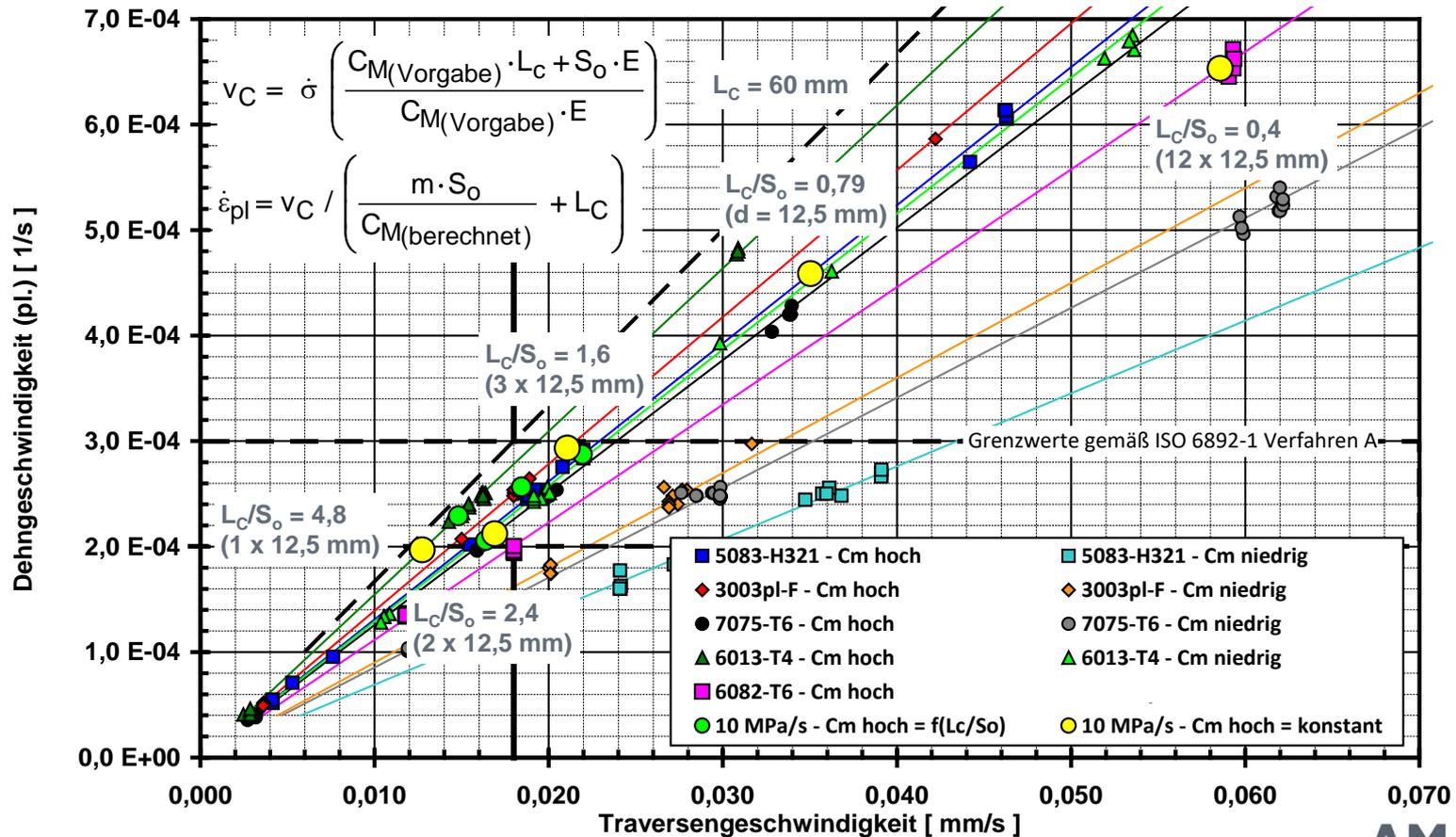
Dehngeschwindigkeiten bei Verfahren B

mit 10 MPa/s - hohe Steifigkeit – $C_M = \text{konstant} = 30.000 \text{ N/mm}$



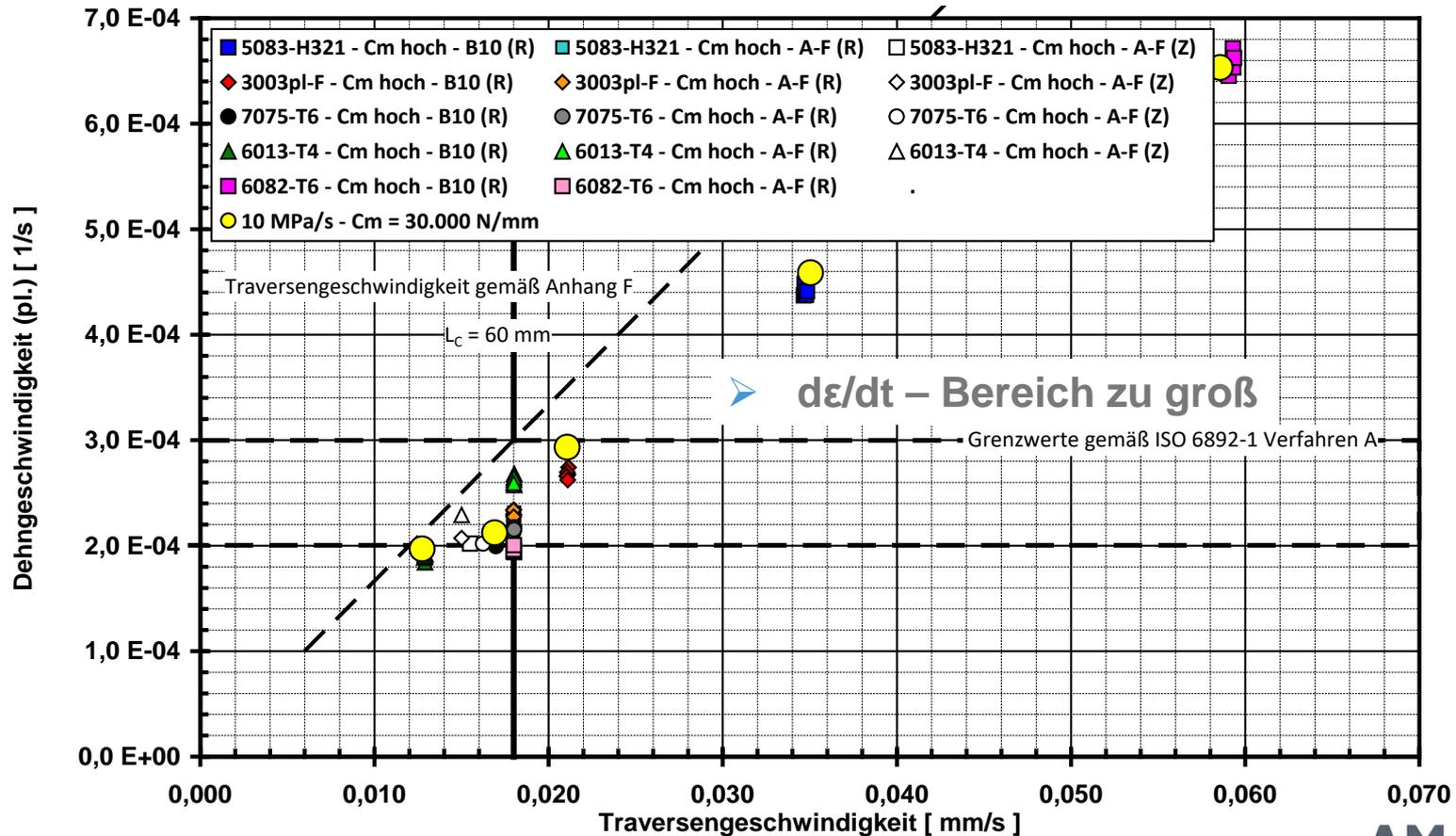
Dehngeschwindigkeiten bei Verfahren B

mit 10 MPa/s - hohe Steifigkeit – $C_M = \text{konstant} = 30.000 \text{ N/mm}$



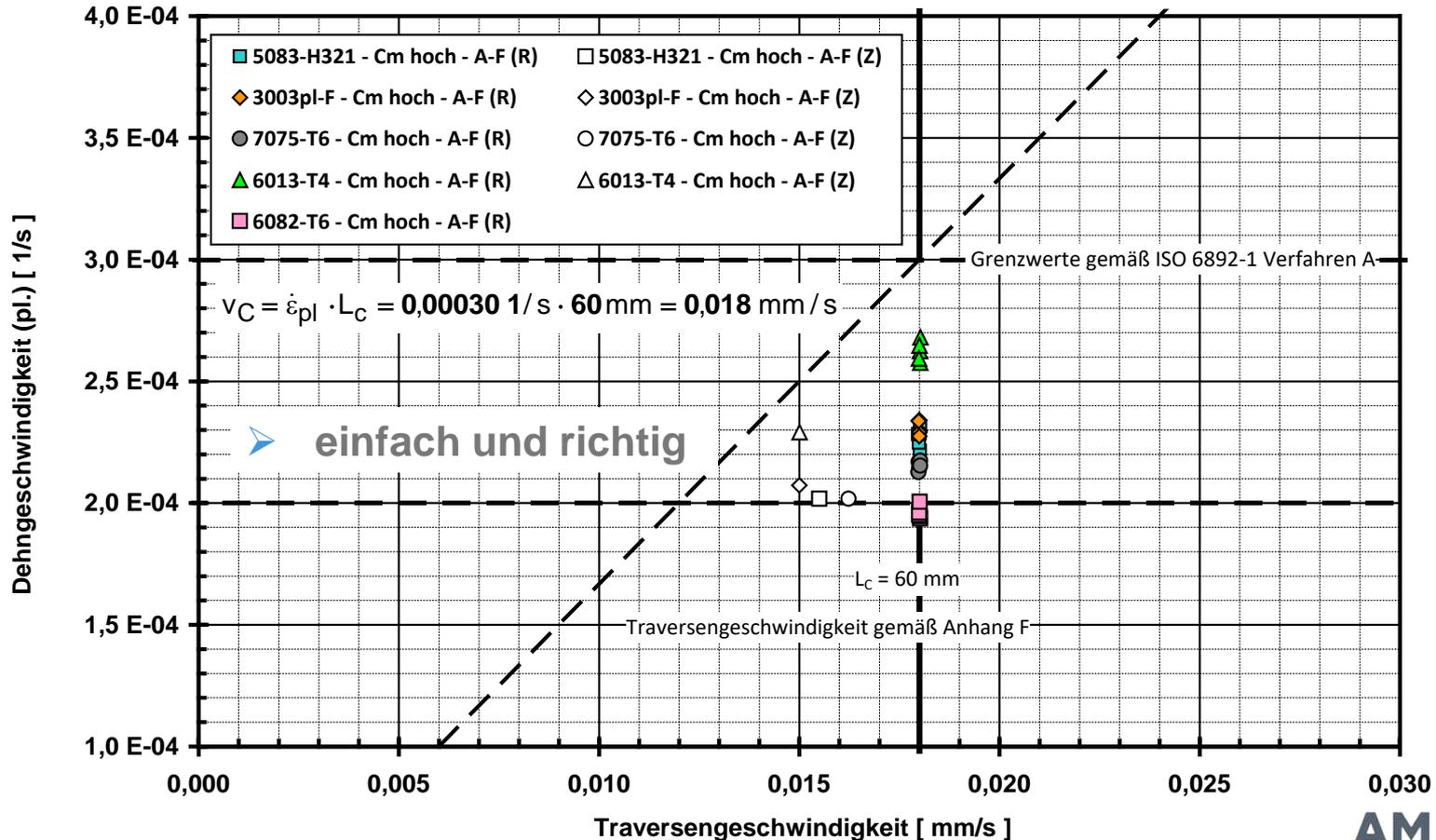
Dehngeschwindigkeiten bei Verfahren B

mit 10 MPa/s - hohe Steifigkeit – $C_M = \text{konstant} = 30.000 \text{ N/mm}$

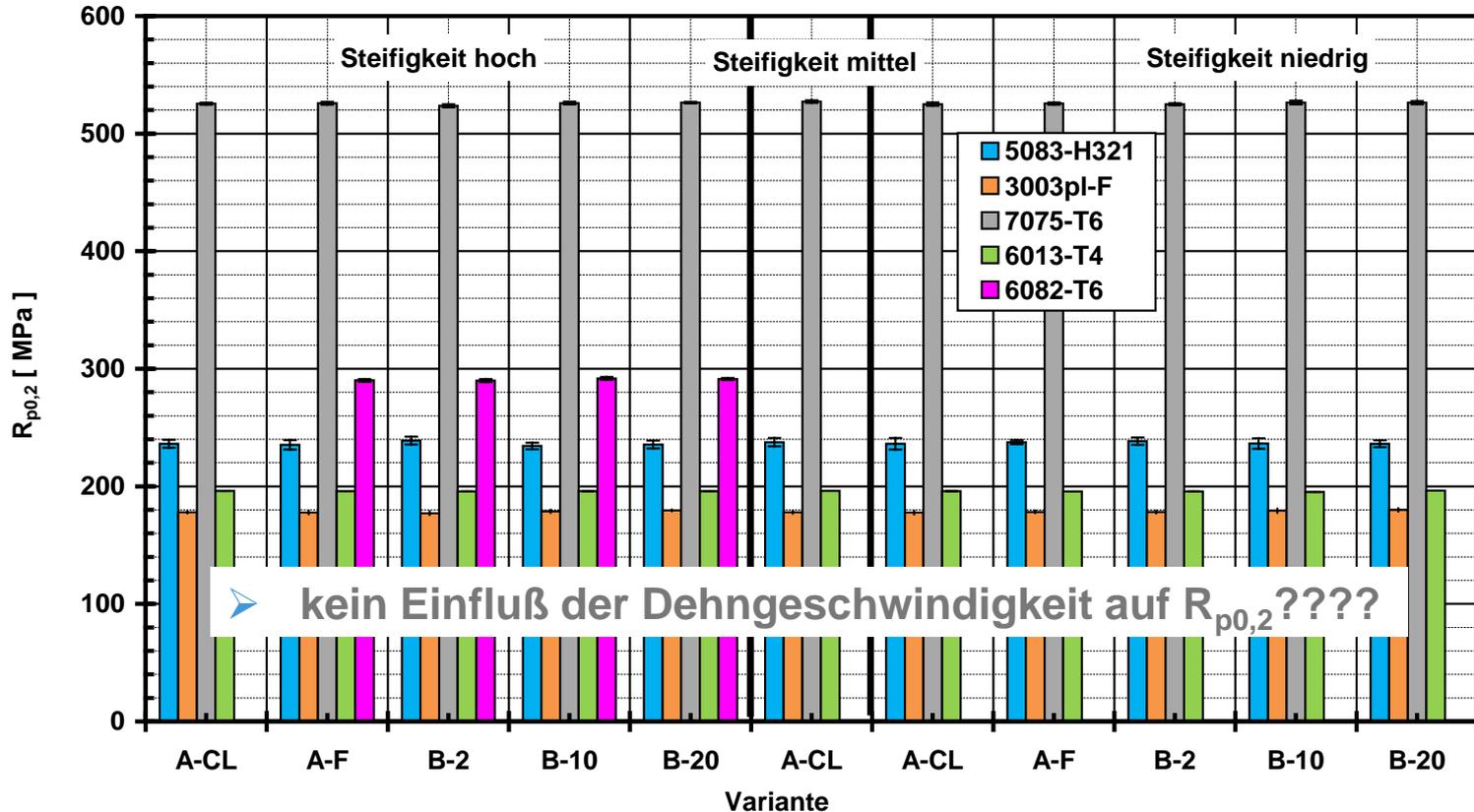


Dehngeschwindigkeiten bei Verfahren A

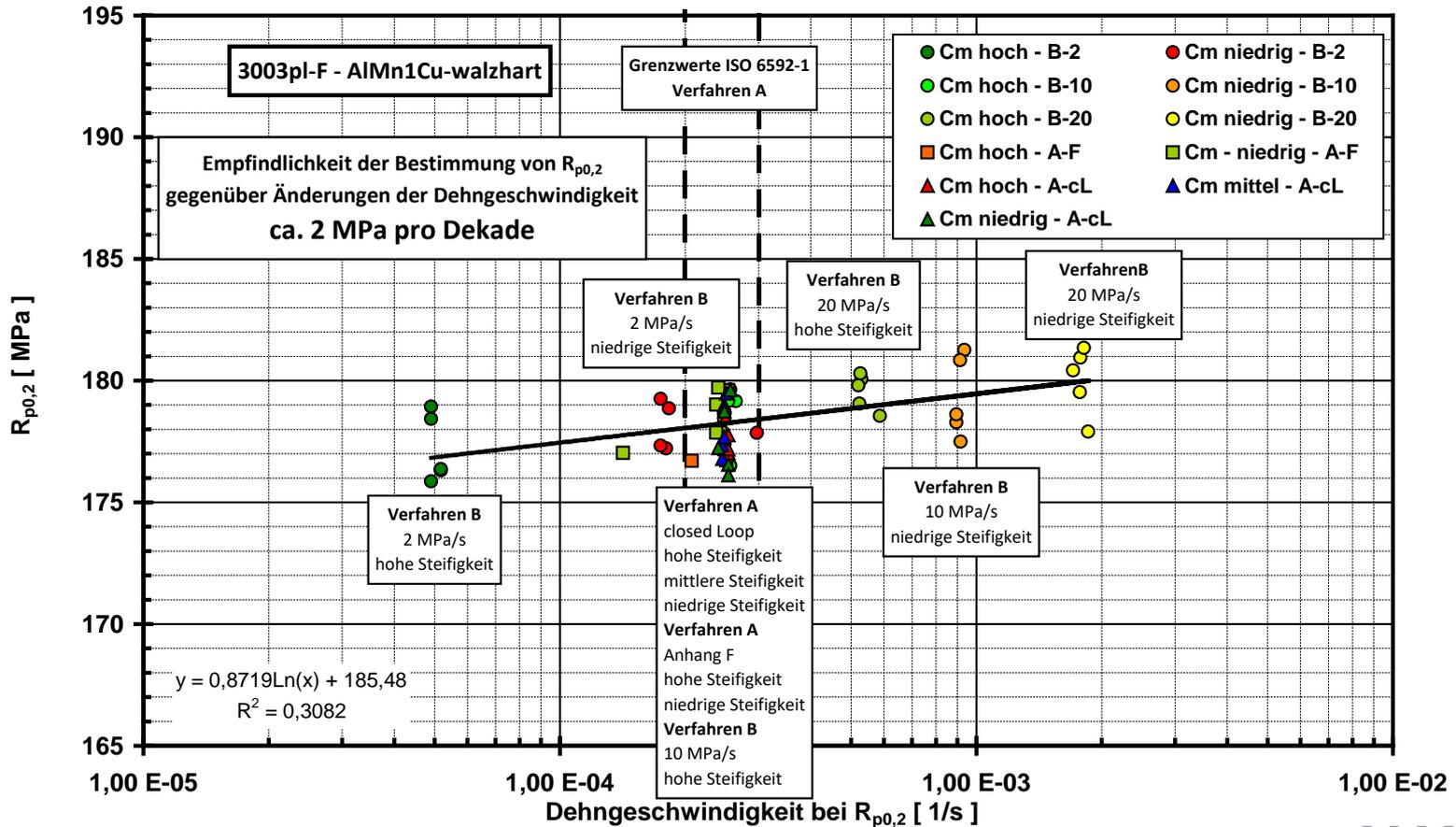
Anhang F - hohe Steifigkeit



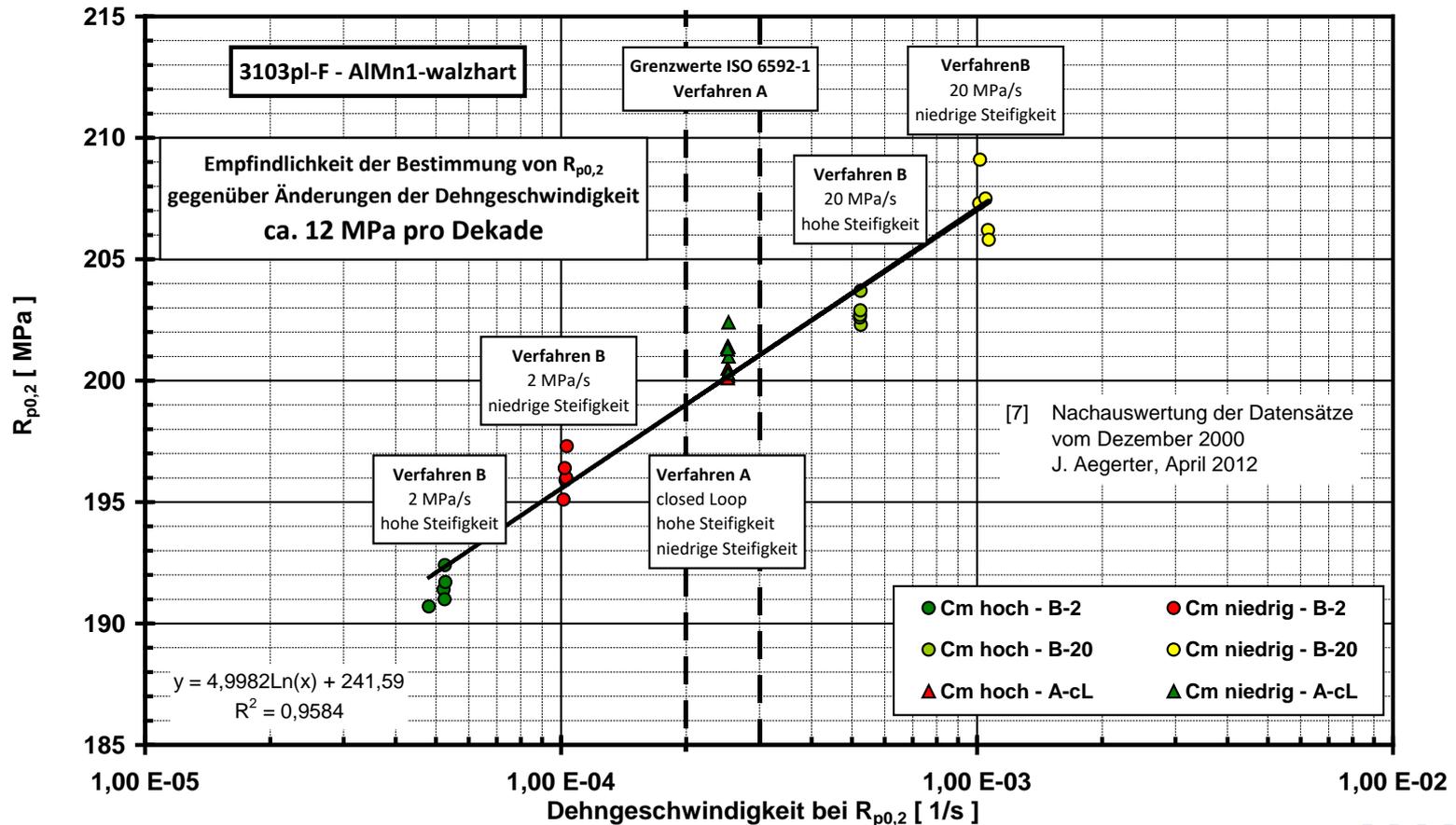
Einfluß der Dehngeschwindigkeit auf $R_{p0,2}$



Einfluß der Dehngeschwindigkeit auf $R_{p0,2}$



Einfluß der Dehngeschwindigkeit auf $R_{p0,2}$



Zusammenfassung - Versuchsdurchführung

- C_M ist die Steifigkeit des Versuchsaufbaus und setzt sich zusammen aus der Steifigkeit der Maschine, der Einspannung und der Probe.
- Mit Verfahren A (konstante Dehngeschwindigkeit) werden die vorgegebenen Dehngeschwindigkeiten von $2,0 - 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ 1/s}$ erwartungsgemäß eingehalten.
- Bei Verfahren B (maximale Spannungsgeschwindigkeit) mit 10 MPa/s ergeben sich selbst bei hoher Steifigkeit des Versuchsaufbaus Dehngeschwindigkeiten von $1,8 - 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/s}$.
- Bei höheren Spannungsgeschwindigkeiten und niedrigeren Steifigkeiten des Versuchsaufbaus sind noch höhere Dehngeschwindigkeiten bis $2,0 \cdot 10^{-3} \text{ 1/s}$ zu erwarten.
- Mit Verfahren A-Anhang F (konstante Traversengeschwindigkeit) lassen sich bei hoher Steifigkeit des Versuchsaufbaus ebenfalls Dehngeschwindigkeiten von $2,0 - 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ 1/s}$ einfach und reproduzierbar einstellen.

Zusammenfassung - Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf $R_{p0,2}$

- Bei einer Vielzahl von Legierungen hat die Dehngeschwindigkeit nur einen geringen Einfluss auf die Bestimmung von $R_{p0,2}$ (≤ 2 MPa/Dekade).
- Es existieren aber auch Legierungen, die bei der Bestimmung von $R_{p0,2}$ empfindlich auf Änderungen der Dehngeschwindigkeit reagieren (ca. 12 MPa/Dekade).

Danksagung

- **Der Fa. ZWICK wird gedankt für die Unterstützung bei der Durchführung und Auswertung der Versuche, die die Grundlage für die dargestellten Ergebnisse waren.**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr.-Ing. Christoph Henkel, AMAG rolling GmbH, Ranshofen / Österreich
testXpo – 28. Fachmesse für Prüftechnik, Ulm, 16.10.2019

AMAG
AUSTRIA METALL