

Metallzugversuch mit miniaturisierten Proben

Johannes Aegerter,
Stefan Keller,
Heike Berk
2016-10-13

Zielsetzung

Entwicklung und Optimierung einer Versuchstechnik für die Prüfung von miniaturisierten Zugproben zur Ermittlung der lokalen Festigkeitseigenschaften und Fließkurven von umgeformten Bauteilbereichen für z.B. folgende Anwendungsfälle:

- Nachweis der Bauteilspezifikationen und Optimierung der Bauteilfertigung
- Validierung von FE-Umformsimulationen
- Ermittlung von Input-Daten für die Crash- und Lebensdauerberechnung
- Charakterisierung der lokalen Eigenschaften von Schweißverbindungen
- Bewertung von Schadensfällen



Problemstellung und Randbedingungen

Problemstellung

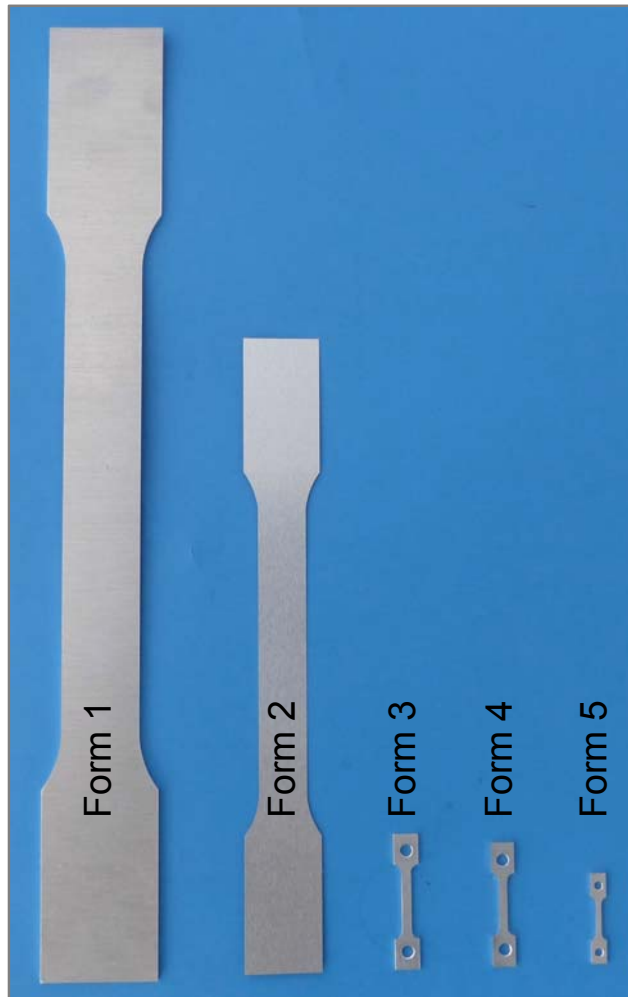
- Gewährleistung des 1-achsigen Spannungszustandes
- Maßgenaue Fertigung der Proben ohne Kaltverfestigung und Wärmeeintrag
- Einspannung der Probe ohne Biege- oder Querkräfte
- Realisierung kleiner Messlängen und genaue Messung von sehr kleinen Längenänderungen
- Weitgehende Einhaltung der normativen Vorgaben nach DIN EN ISO 6892-1:2009



Randbedingungen

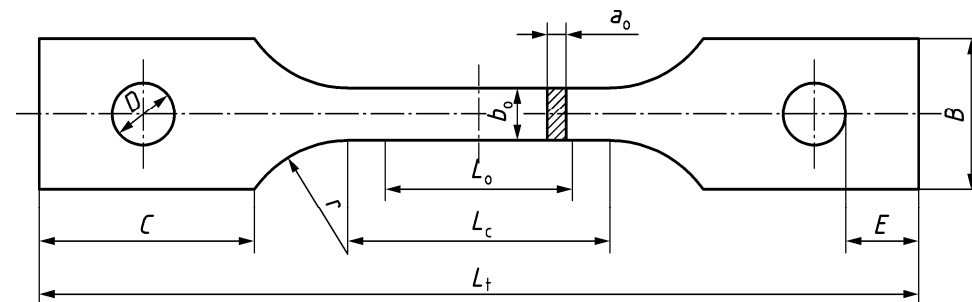
- **Nutzbar im normalen industriellen Umfeld, d.h. mit Standard-Equipment**
- **Weitgehende Vergleichbarkeit mit Standard-Zugversuchskennwerten**

Untersuchte Probengeometrien



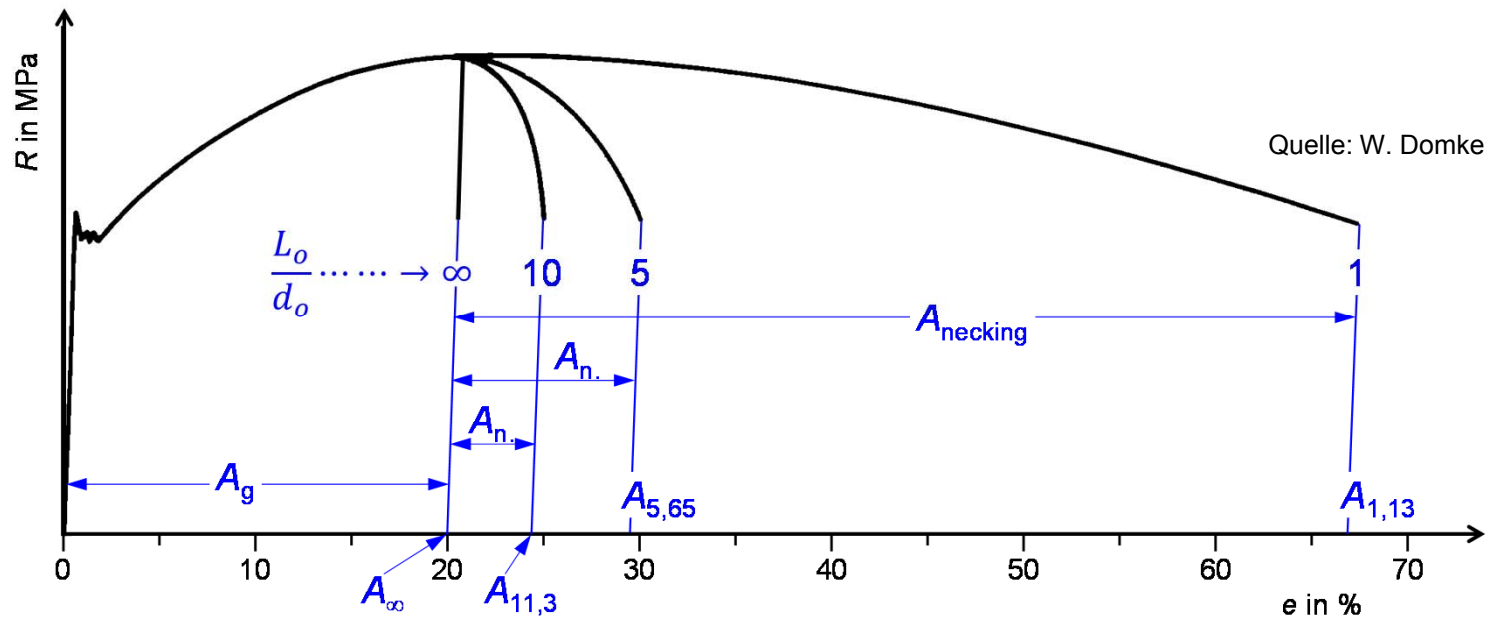
Form	L_t (mm)	B (mm)	b_o (mm)	L_c (mm)	L_e (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	r (mm)	$\frac{L_c}{b_o}$	$\frac{L_e}{b_o}$
Form 1	250	30	20	120	80	35	-	-	20	6	4
Form 2	165	20	12,5	75	50	30	-	-	20	6	4
Form 3	35	6,5	2,5	15	10	8	3	3	2	6	4
Form 4	32	6,0	2,0	12	10	8	3	3	2	6	5
Form 5	23	4,0	1,25	7,5	5	6	2	2	2	6	4

L_e = Extensometer-Messlänge



Quelle: DIN EN ISO 6892-2:2011-07

Einfluss der Messlänge auf die Bruchdehnung

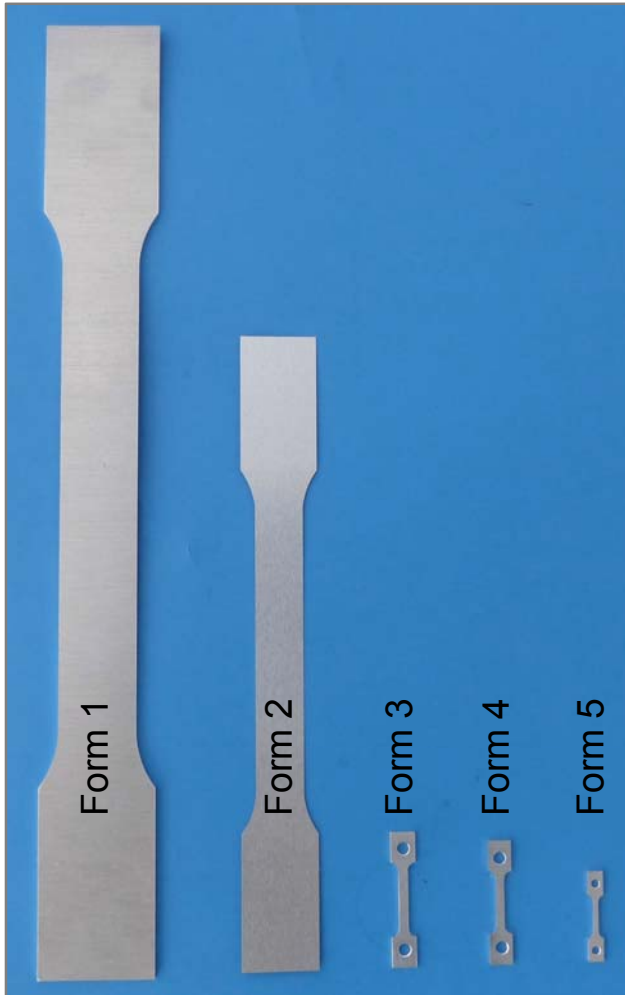


Annähernd gleiche Bruchdehnungswerte bei verschiedenen Probengeometrien nur, bei:

- gleichem Proportionalitätsfaktor k der Proben (Standard: 5,65)
- nahezu gleicher Dicke bei nichtproportionalen Proben (A_{50mm} , A_{80mm})

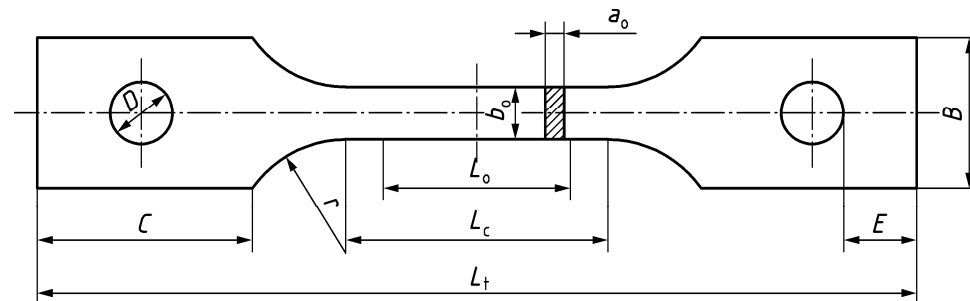
„Vergleiche der Bruchdehnung sind nur möglich, wenn die Messlänge oder die Extensometer-Messlänge und Form und Fläche des Querschnitts gleich sind oder der Proportionalitätsfaktor, k , gleich ist.“ (DIN EN ISO 6892-1:2009)

Proportionalitätsfaktoren für die untersuchten Probengeometrien



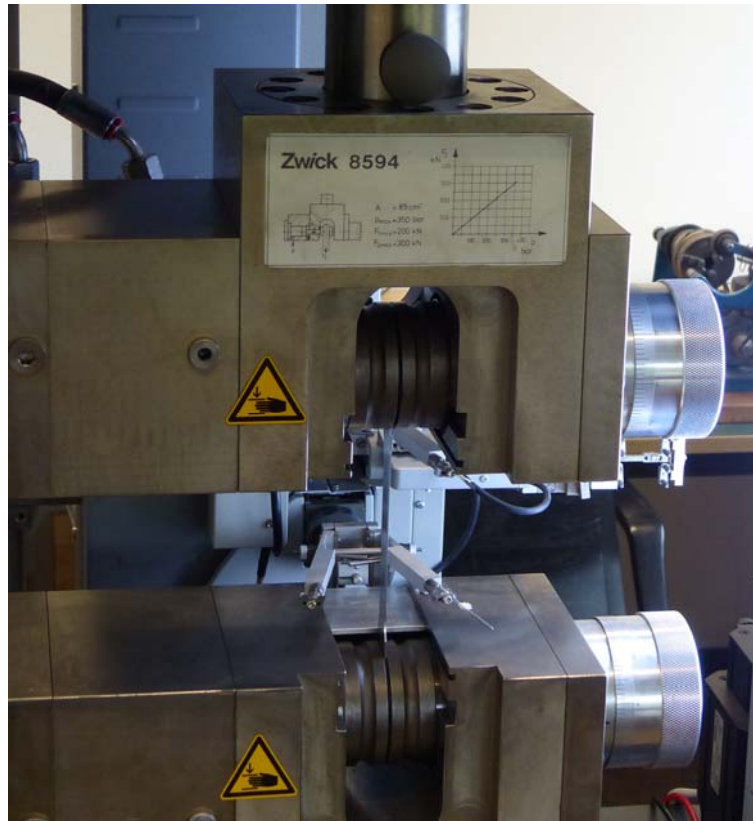
Form	L_t	B	b_o	L_c	L_e	r	$\frac{L_c}{b_o}$	$\frac{L_e}{b_o}$	$k_{1,0}$ mm	$k_{0,29}$ mm
Form 1	250	30	20	120	80	20	6	4	17,89	33,22
Form 2	165	20	12,5	75	50	20	6	4	14,14	26,26
Form 3	35	6,5	2,5	15	10	2	6	4	6,32	11,74
Form 4	32	6,0	2,0	12	10	2	6	5	7,07	13,13
Form 5	23	4,0	1,25	7,5	5	2	6	4	4,47	8,30

L_e = Extensometer-Messlänge



Quelle: DIN EN ISO 6892-2:2011-07

Prüfmaschine, Probeneinspannung und Kraftmessung



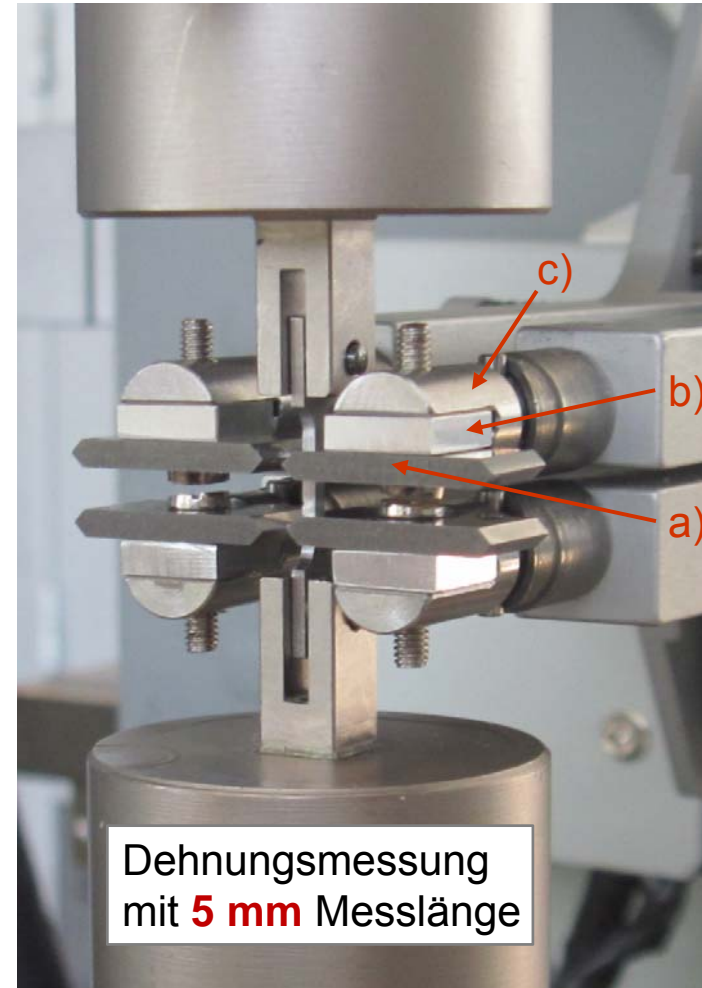
- 250 kN Kraftmessdose
- Hydraulische Spannbacken
- Dehnungsaufnehmer Klasse 0,5



- 2,5 kN Kraftmessdose
- Biege- und querkraftfreie Einspannung mittels Absteckbolzen
- Dehnungsaufnehmer Klasse 0,5

Modifikation des Dehnungsaufnehmers

- Dehnungsaufnehmer Klasse 0,5
 - Mit Standard-Schneiden kleinste mögliche Messlänge 10 mm
 - Reduzierung der Messlänge auf 5 mm:
 - Distanzstücke, $t = 2,5$ mm (b)
 - zwischen Schneidenaufnahme (c)
 - und Schneide (a)
 - Problem: Maschine berechnet die Dehnungen mit „Soll“-Messlänge $L_e = 10$ mm
 - Umrechnung der Dehnungswerte auf tatsächliche Messlänge notwendig:
 - Multiplikation der Dehnungen oder der gemessenen Längenänderungen mit dem Faktor: $L_{e(\text{Soll})}/L_{e(\text{ist})}$, hier: Faktor 2



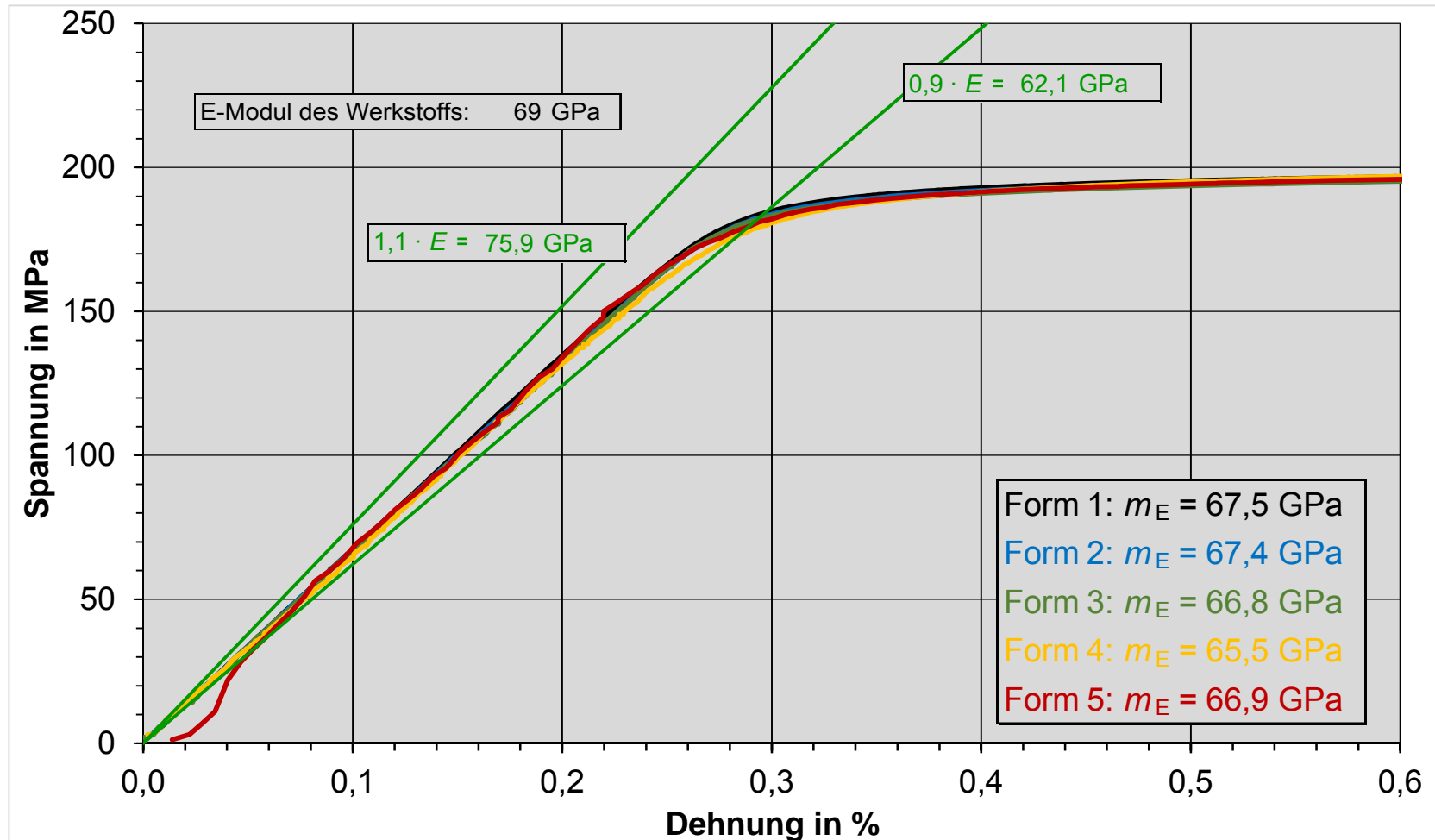
Werkstoffe, Probenfertigung und Prüfgeschwindigkeiten

- AA6016 (AlMg_{0,4}Si_{1,2}), Zustand T4, 1,0mm Dicke
- AA6016 (AlMg_{0,4}Si_{1,2}), Zustand T6, 1,0mm Dicke
- AA5182 (AlMg_{4,5}Mn_{0,4}), Zustand H111, 1,0 mm Dicke
- AA3104 (AlMn₁Mg₁Cu), Zustand H19, 0,29 mm Dicke

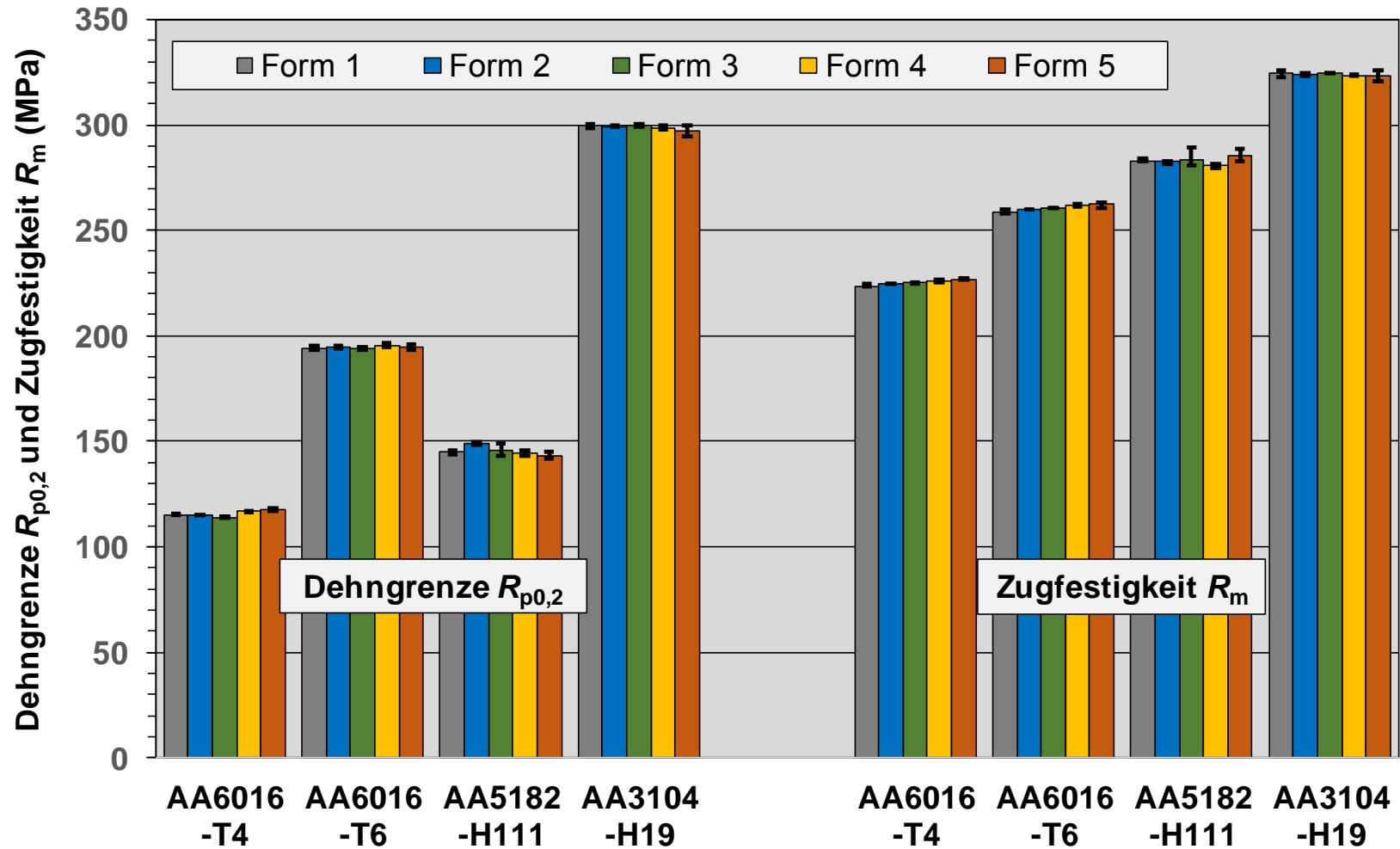
- Probenfertigung auf CNC-Fräsmaschine

- Prüfgeschwindigkeiten nach DIN EN ISO 6892-1:2009, Verfahren A (open loop)

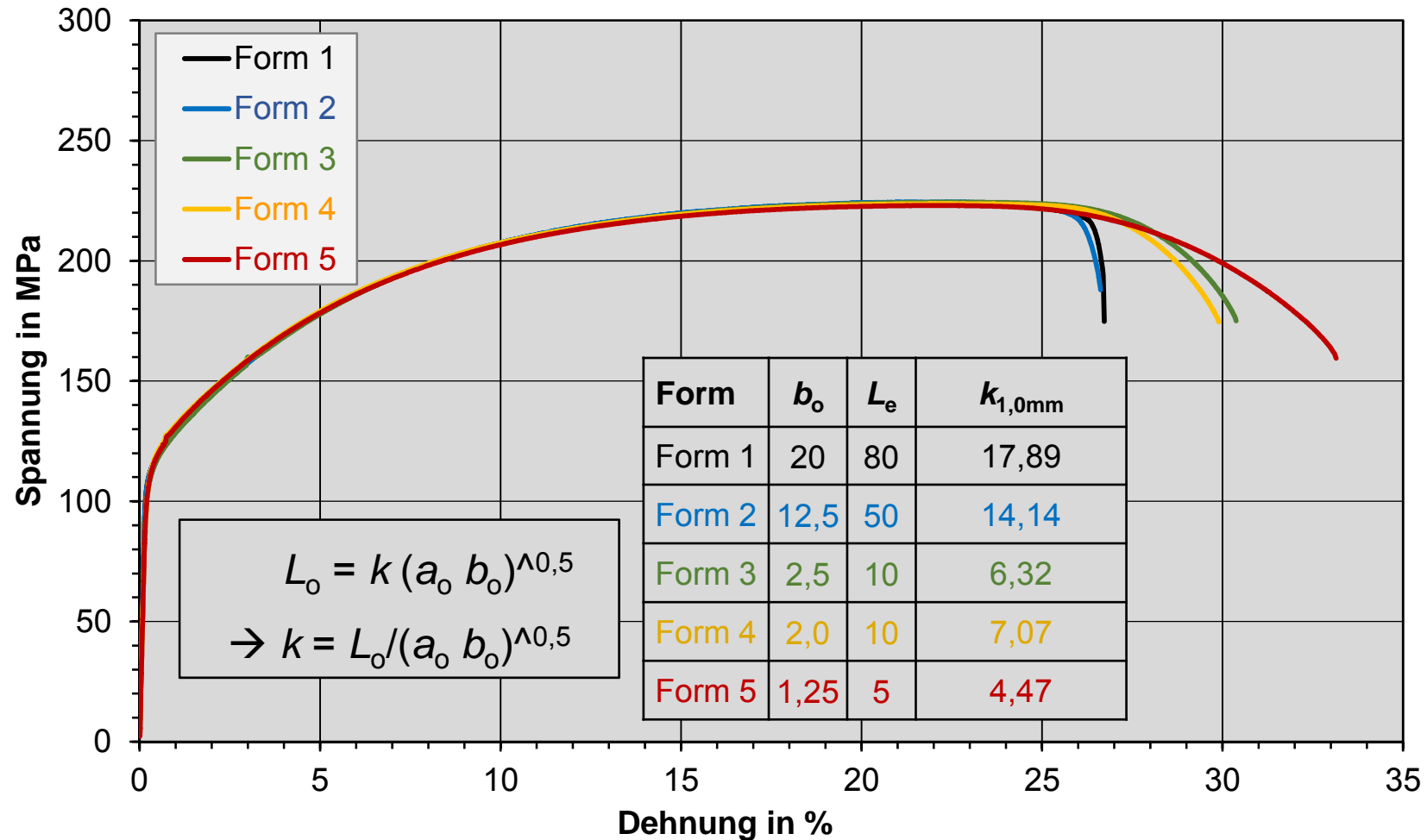
Elastischer Bereich für die verschiedenen Probengeometrien, Werkstoff AA 6016-T6



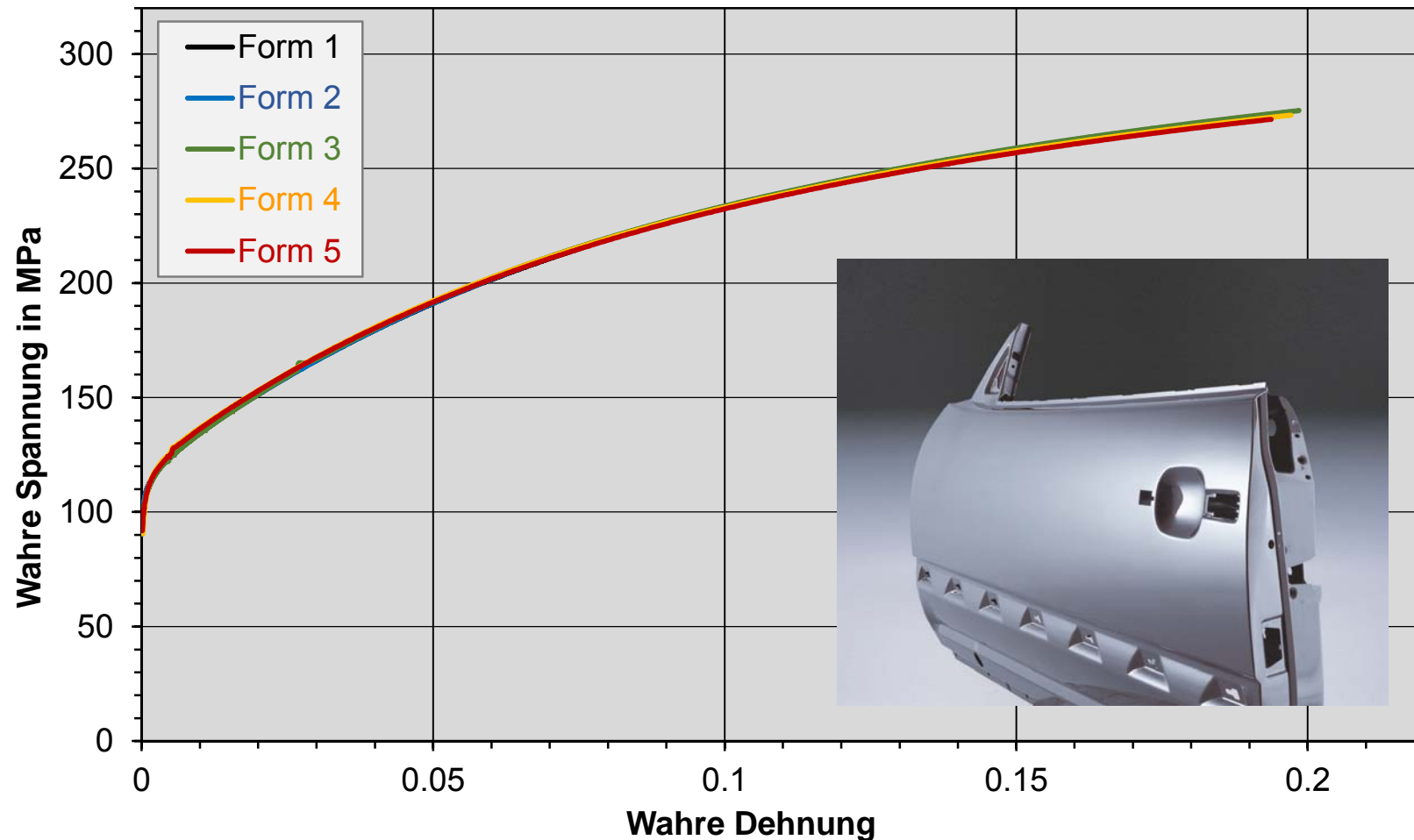
$R_{p0,2}$ und R_m für verschiedene Probengeometrien



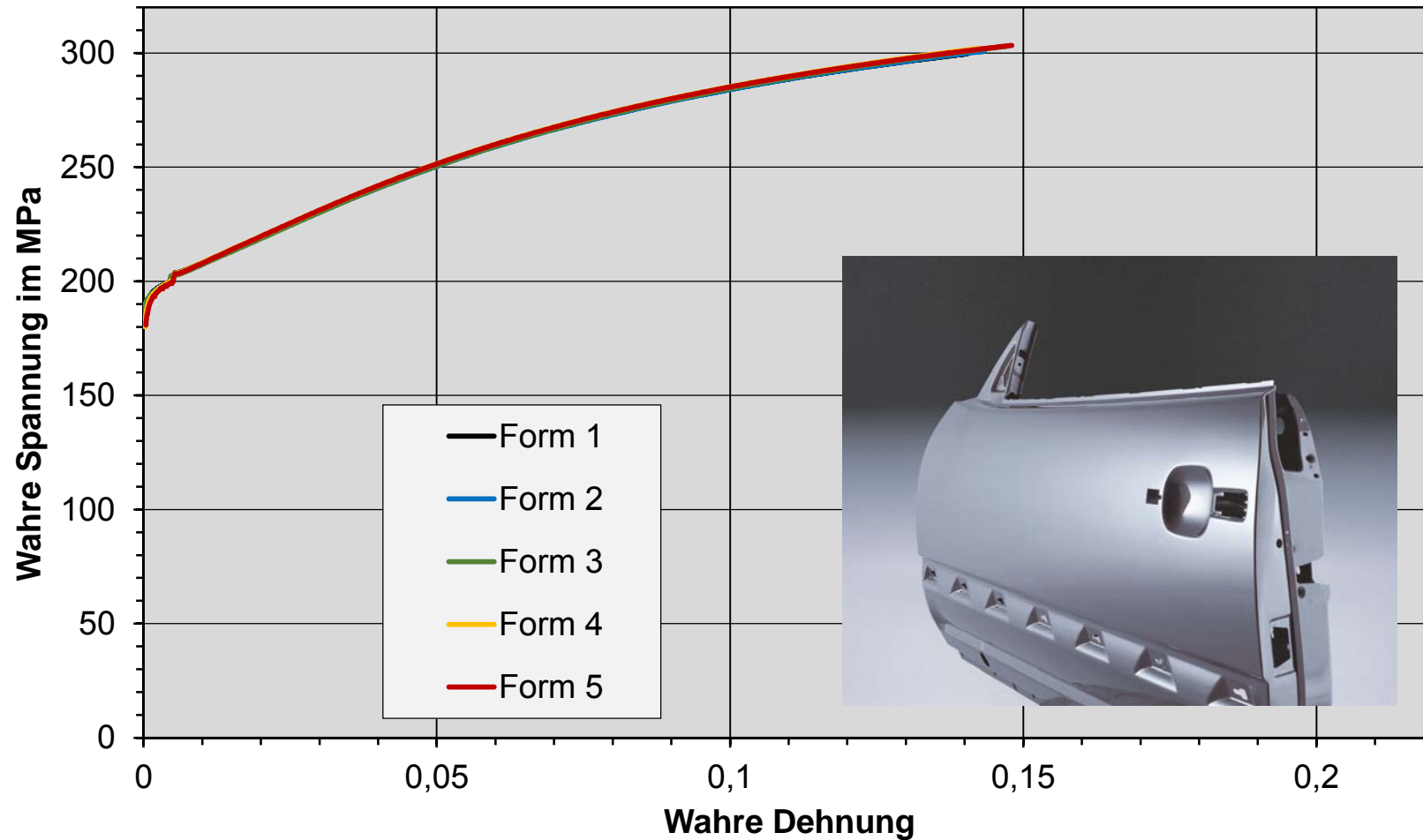
Spannung-Dehnung-Kurven für den Werkstoff AA 6016-T4, 1,0 mm Dicke



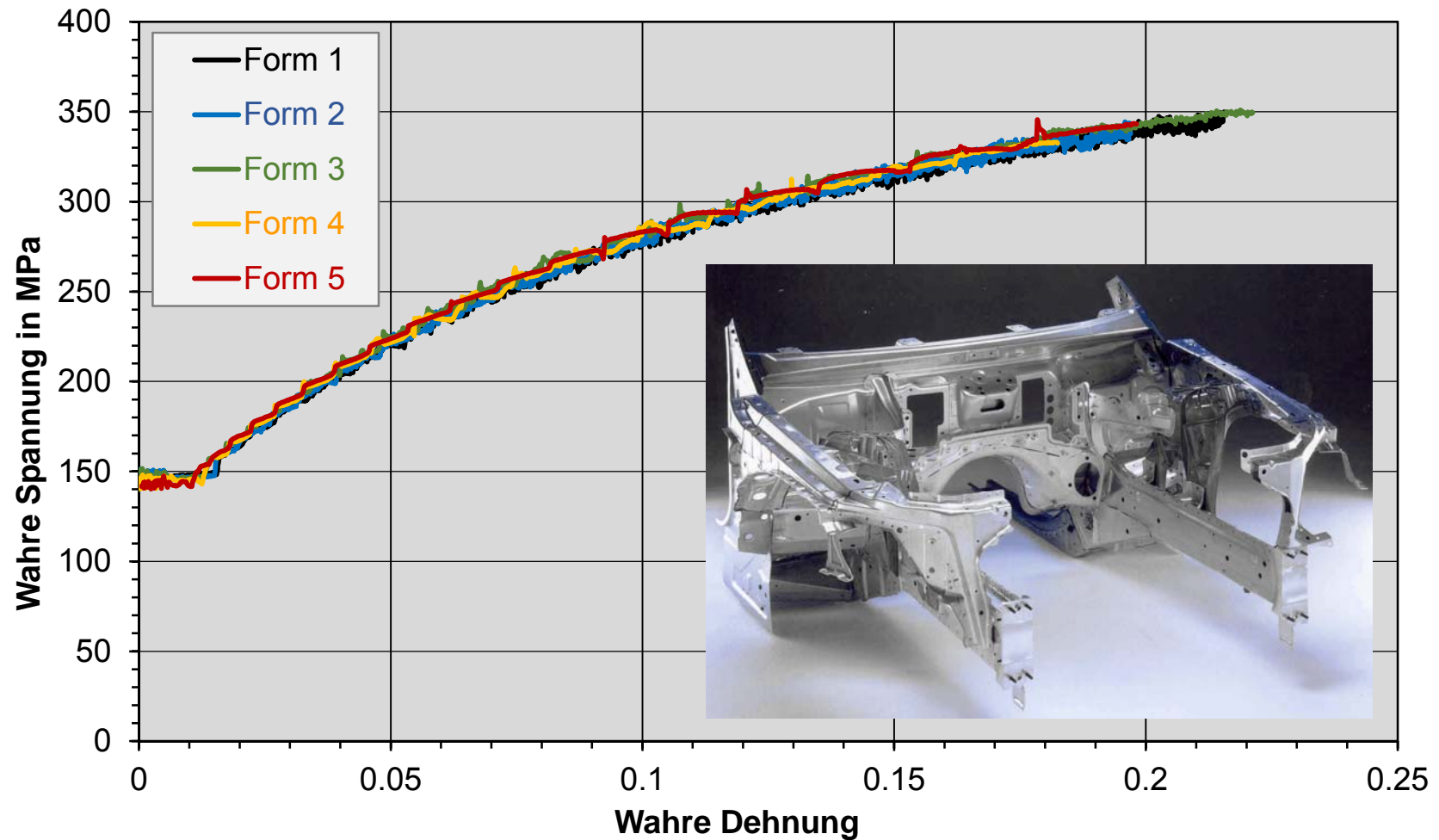
Fließkurven für den Werkstoff AA 6016-T4 1,0 mm Dicke



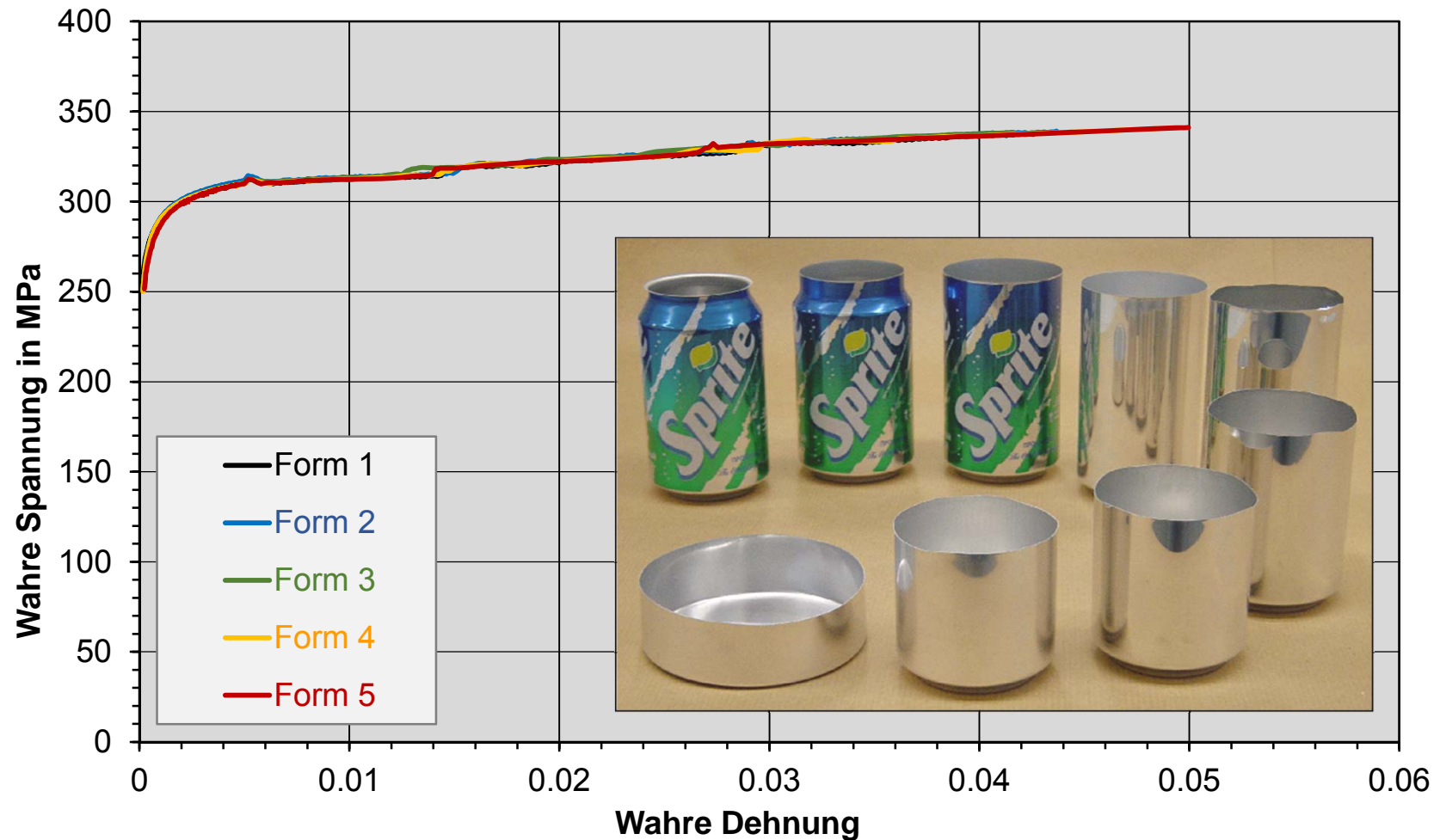
Fließkurven für den Werkstoff AA 6016-T6 1,0 mm Dicke



Fließkurven für den Werkstoff AA 5182-H111 1,0 mm Dicke



Fließkurven für den Werkstoff AA 3104-H19 0,29 mm Dicke



Ist die bei Hydro verwendete Versuchstechnik auch für Stahl anwendbar?

Rahmenbedingungen für Anwendbarkeit der Hydro-Versuchstechnik für Stahl

- Vorhandene Einspannvorrichtung
 - Begrenzung der Maximalkraft → Weiche bis mittelfeste Stähle
 - Vorhandenes Probenfertigungskonzept für Minizugproben
 - Wurde bisher nur für Aluminiumwerkstoffe angewendet
 - Elastizitätsmodul von Stahl dreifach höher als der von Aluminium
 - Bei gleichem Spannungsniveau elastischen Bereich ca. 1/3 der Längenänderung als bei Aluminium
- Versuchswerkstoff DC04, weich, 1 mm dick
- Werkstoff ohne ausgeprägte Streckgrenze
 - Werkstoff ist sehr dehngeschwindigkeitssensitiv, daher Anwendung des Verfahrens A der DIN EN ISO 6892-1:2009 (Dehngeschwindigkeiten: für $R_{p0,2}$: $0,00025 \text{ s}^{-1}$, dann $0,0067 \text{ s}^{-1}$)
 - Verwendete Probengeometrien: Form 1 und Form 3
 - Prüfrichtung: parallel zur Walzrichtung

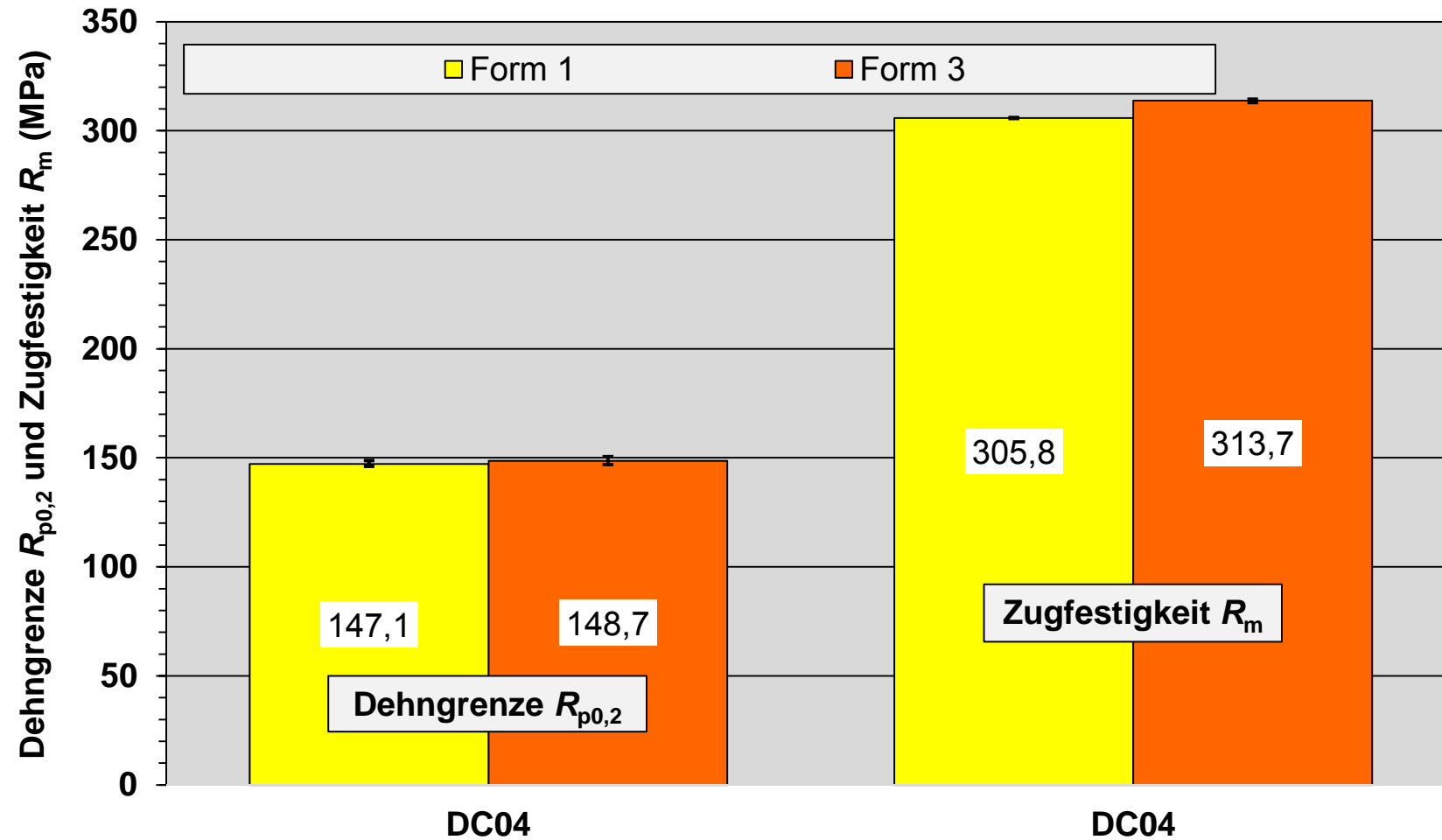
Zugversuchskennwerte ermittelt an Probenform 1 und 3

Werkstoff: DC04, Prüfrichtung: Parallel zur WR

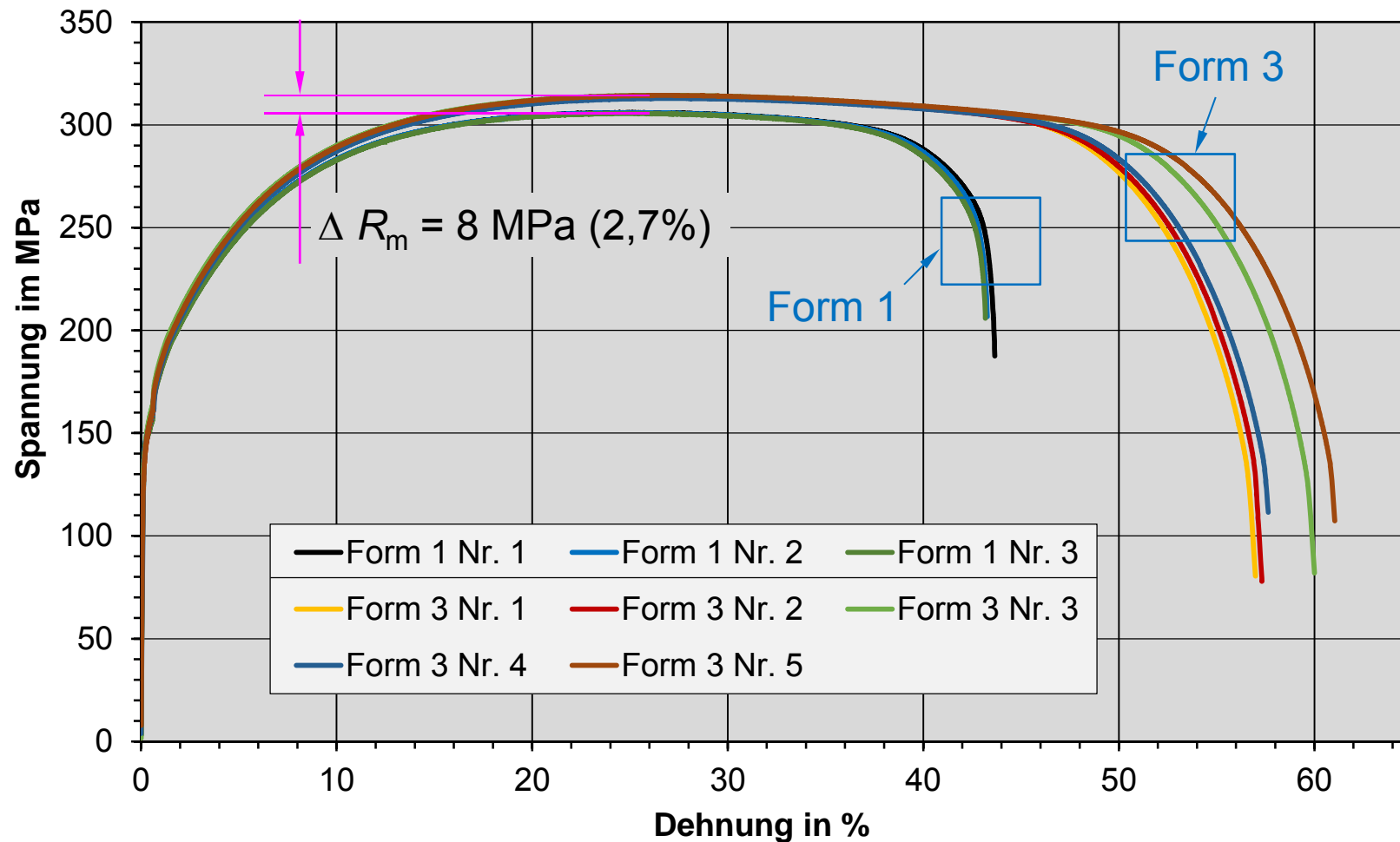
Form	Nr.	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_g [%]	A_{80mm} [%]	n_{2-20} [-]	r_{2-20} [-]
1	1	146,5	306,0	24,3	43,6	0,260	1,908
	2	148,8	305,9	24,6	43,1	0,258	---
	3	146,1	305,5	25,0	43,1	0,260	1,996
	MW	147,1	305,8	24,6	43,3	0,259	1,952
	Std-Abw.	1,5	0,3	0,4	0,3	0,001	0,062
Form	Nr.	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_g [%]	A_{10mm} [%]	n_{2-20} [-]	r_{2-20} [-]
3	1	148,3	313,8	26,7	56,9	0,259	
	2	146,9	313,2	26,8	57,3	0,261	
	3	150,6	314,4	26,3	59,9	0,255	
	4	150,2	312,9	27,2	57,5	0,259	
	5	147,4	314,4	26,7	61,0	0,260	
	MW	148,7	313,7	26,7	58,5	0,259	
	Std-Abw.	1,7	0,7	0,3	1,8	0,002	

Anmerkung: Ursächlich für unterschiedliche Bruchdehnungen sind die verschiedenen Proportionalitätsfaktoren der Probenformen, vgl. Tabelle Seite 6

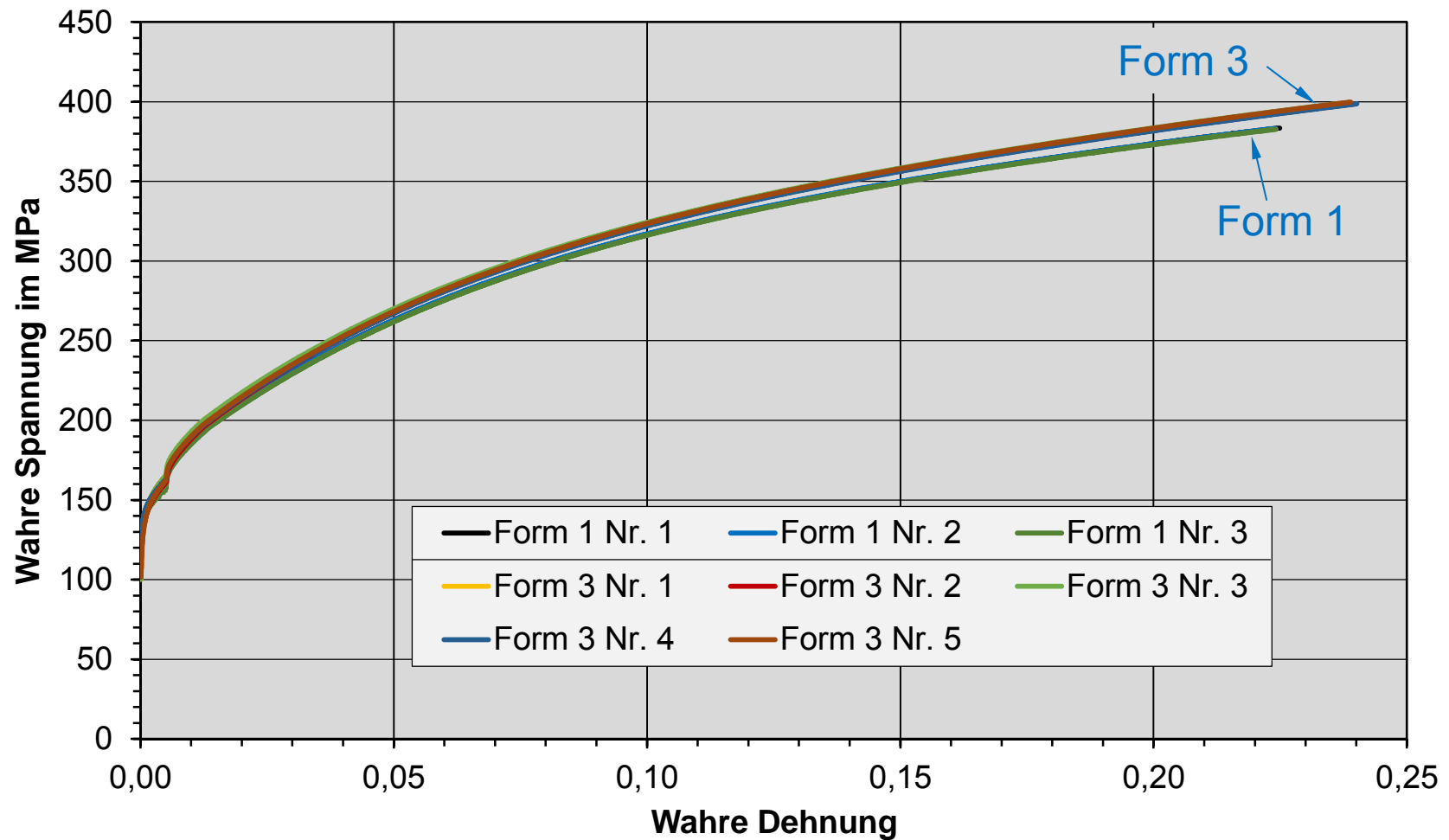
$R_{p0,2}$ und R_m für Probenform 1 und 3, Werkstoff DC04



Spannung-Dehnung-Kurven für Probenform 1 und 3 Werkstoff DC04



Fließkurve für Probenform 1 und 3, Werkstoff DC04



Warum ist beim DC04 die Zugfestigkeit R_m bei Probenform 1 niedriger als bei Probenform 3?

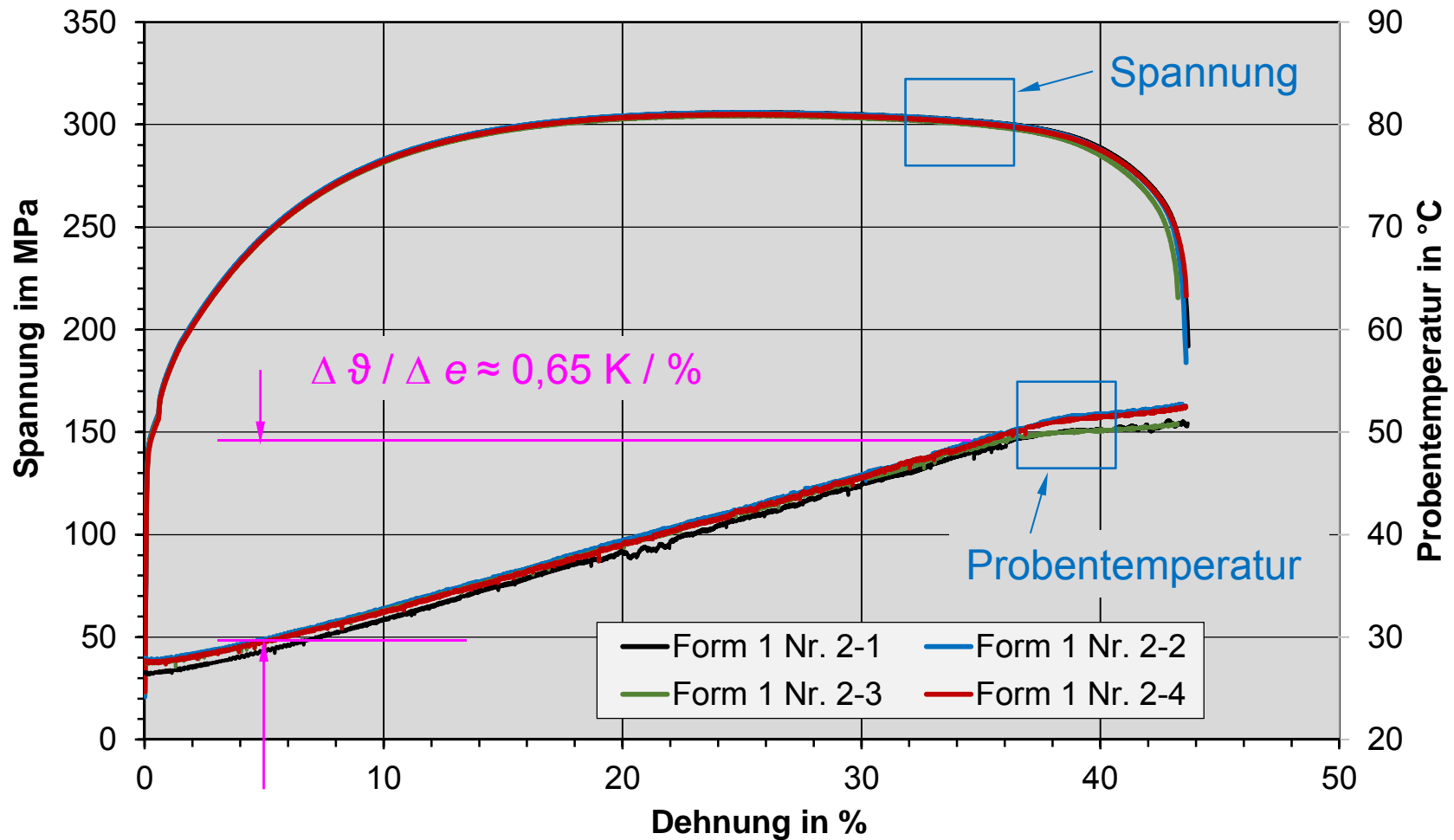
Überlegungen

- Für alle Werkstoffe und Probengeometrien wurden identische Dehngeschwindigkeiten verwendet
- Bei den Aluminiumwerkstoffen wurden keine Unterschiede beobachtet
- Liegt die Ursache in einer unterschiedlichen Erwärmungen der Probe beim Zugversuch?
 - Verschiedene Wärmeleitung Al/Fe
 - Unterschiedliche Verhältnisse Oberfläche/Volumen bei den verschiedenen Probenformen

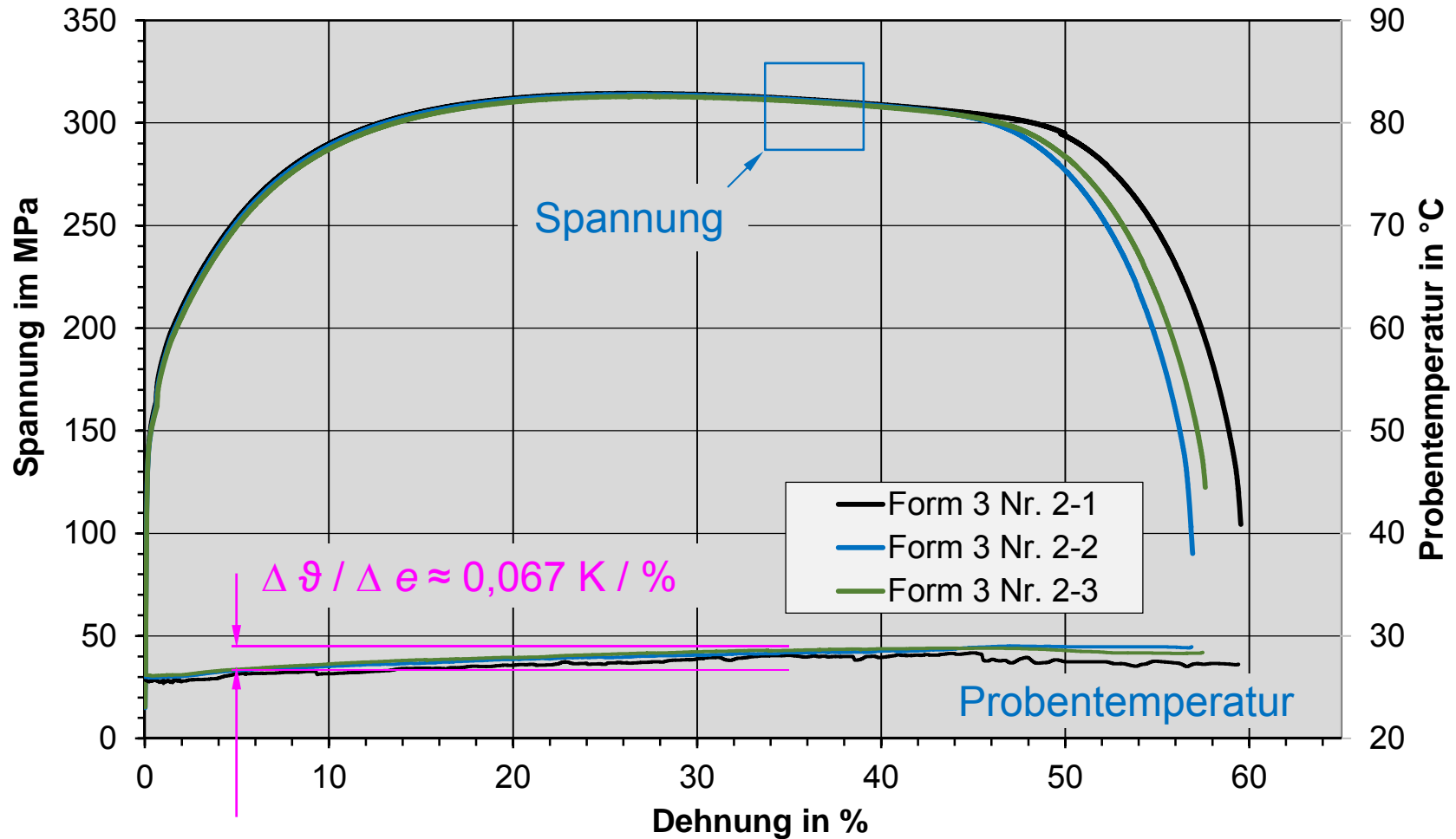


Temperaturmessung an der Probe mittels Thermoelement

Spannung-Dehnung-Kurven und Probentemperatur-Dehnung für Probenform 1 Werkstoff DC04



Spannung-Dehnung-Kurven und Probentemperatur-Dehnung für Probenform 3 Werkstoff DC04



Zusammenfassung (1/2)

Die bei Hydro entwickelte Versuchstechnik zur Ermittlung der lokalen Festigkeitseigenschaften von umgeformten Bauteilbereichen mittels miniaturisierter Zugproben erfüllt die definierten Anforderungen und liefert Ergebnisse, die mit denen des Standard-Zugversuches nahezu identisch sind.

Dies wurde nachgewiesen für:

- Diverse Aluminum-Werkstofftypen (3xxx, 5xxx mit Fließfiguren und 6xxx)
- Verschiedene Werkstoffzustände (weich, ausgehärtet und walzhart)
- Zwei sehr unterschiedliche Dicken (0,29 mm und 1,0 mm)
- **Anwendung im normalen industriellen Umfeld, d.h. mit Standard-Equipment.**



Zusammenfassung (2/2)

Die vorgestellte Versuchstechnik ist auch für weiche bis mittelfeste Stahlwerkstoffe einsetzbar.

Dieses wurde für den Stahl DC04 nachgewiesen.

- Beim Werkstoff DC04 wurde für die miniaturisierte Probe eine geringfügig höhere Zugfestigkeit R_m bestimmt. Ursächlich hierfür scheint die während der Prüfung stattfindende deutlich geringere Temperaturerhöhung der Probe zu sein.
- Für höherfeste Stähle ist die Vorrichtung aus entsprechend festeren Werkstoffen zu fertigen.





Hydro Aluminium Rolled Products GmbH

Forschung & Entwicklung Bonn

Johannes Aegerter

Georg-von-Boeselager-Str. 21

53117 Bonn

T: +49 (0)228-552-2386

F: +49 (0)228-552-2017

E: johannes.aegerter@hydro.com

www.hydro.com