

Motivation & Ziele des Projekts

Motivation:

Die Motivation in dem Projekt besteht darin die Simulationsgenauigkeit von Biegevorgängen zu erhöhen und somit die Differenz zwischen Realversuch und simulierten Biegeversuch hinsichtlich Biegewinkel, Verkürzung und Biegekraft zu minimieren. Dabei sollen aus dem Zugversuch gewonnene Materialparameter für die Simulation ersetzt werden durch Parameter die aus einem prozessnäheren Biegeversuch ermittelt werden. Man spricht dabei von Biegefließkurven.

Ziele:

- Materialkennwerte in Form eines Momenten- Krümmungsverlauf zur Verfügung stellen
- Konstruktion eines Prototypen zur Materialkennwertermittlung
- Auswertung der Ergebnisse und Umrechnung in eine Biegefließkurve

Bestimmung der Biegefließkurve

- Ansatz nach Nadai
- Ansatz nach der elementaren Biegetheorie (Ludwik)

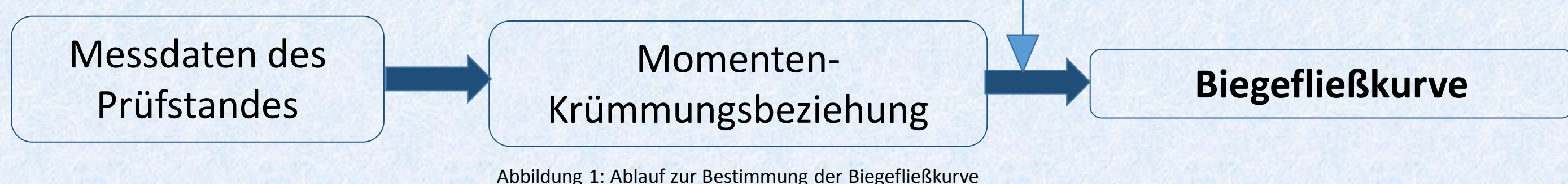


Abbildung 1: Ablauf zur Bestimmung der Biegefließkurve

Bestimmung der Momenten- Krümmungsbeziehung

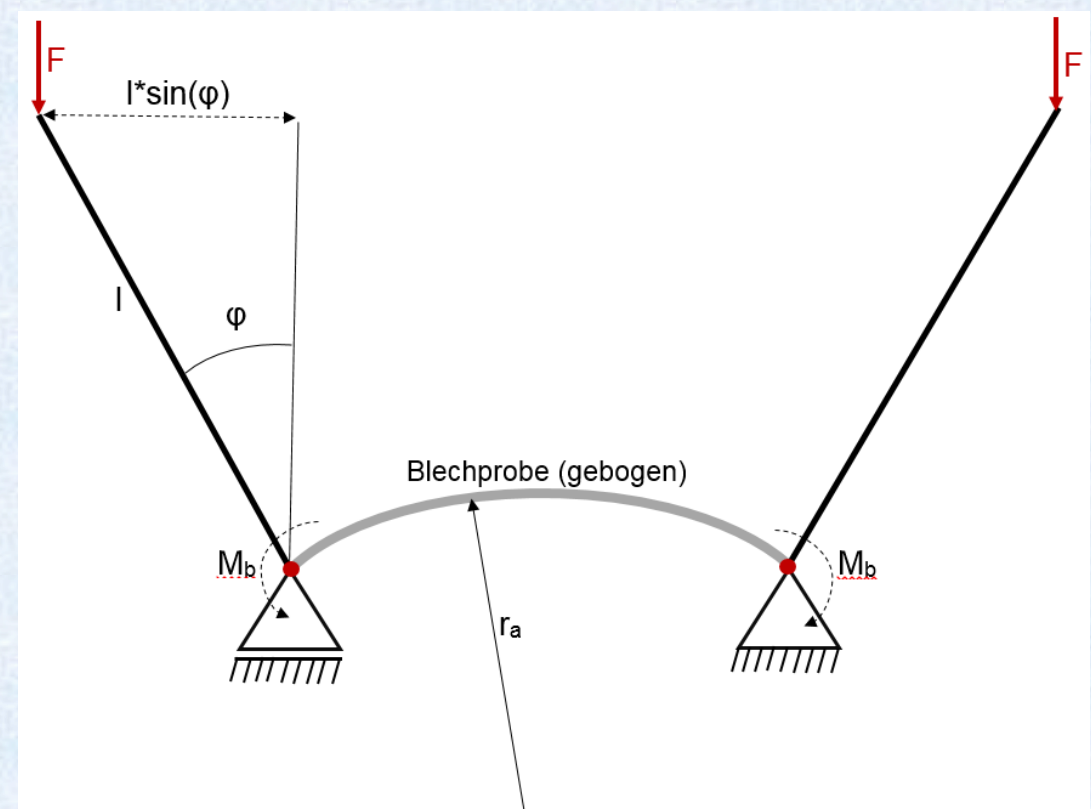


Abbildung 2: Bestimmung des Biegemoments der Blechprobe

- M_b ... äußeres Biegemoment
- φ ... Halber Biegewinkel
- r_a ... gemessener äußerer Biegeradius
- ρ ... Krümmung
- l ... Hebellänge

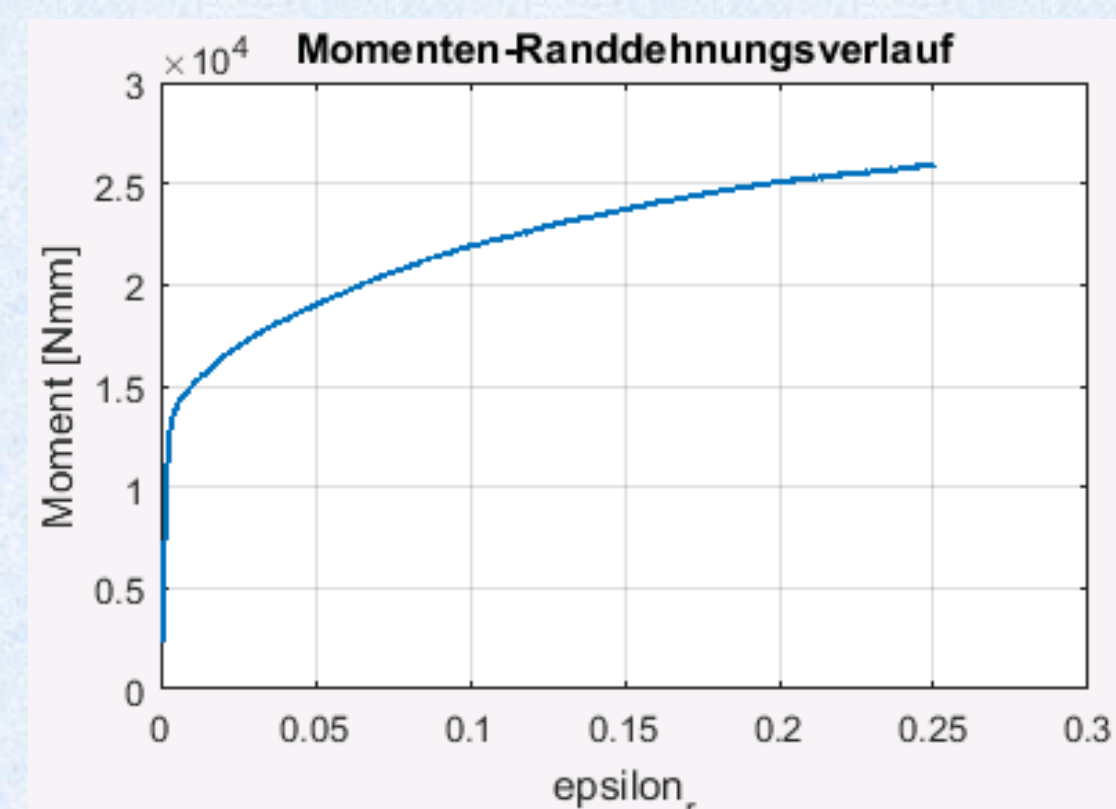


Abbildung 3: Momenten- Randdehnungs- Verlauf einer Blechprobe

$$M_b = F * l * \sin \varphi$$

$$\epsilon_r = \frac{s_0}{2} * \rho = \frac{s_0}{2} * \frac{1}{r_a - \frac{s_0}{2}}$$

Ansatz nach Nadai

Laut Nadai kann unter bestimmten Voraussetzungen die Biegefließkurve aus der Momenten- Krümmungsbeziehung abgeleitet werden. Diese Annahmen sind [1]:

- Reines Momentenbiegen → keine Querkräfte im Biegeprozess. Dadurch stellt sich ein gleichmäßiger, messbarer Biegeradius ein
- Lineare Dehnungsverteilung über dem Querschnitt
- Einachsiger Spannungszustand
- Zugspannung am äußeren Rand = Druckspannung am inneren Rand

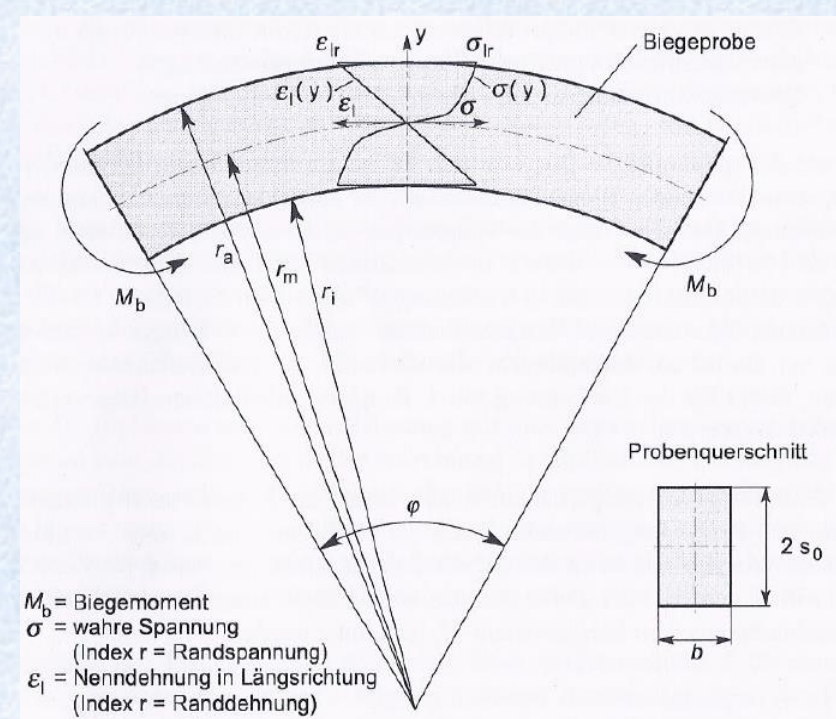


Abbildung 4: Größen an der Blechprobe [1]

Laut Nadai kann man das äußere Biegemoment gleich dem Moment im Inneren der Probe setzen: [1]

$$M_{b_au\ddot{a}u\text{sen}} = M_{b_innen}$$

$$M_b = 2 * \int_0^{\frac{s_0}{2}} \sigma * b * y * dy$$

$$\sigma_R = \frac{2}{s_0^2 * b} * \left(2 * M_b + \frac{\epsilon_R}{2} * \frac{dM_b}{d\epsilon_R} \right)$$

Die Fließspannung k_f berechnet sich wie folgt aus der tangentialen Randspannung σ_R :

$$k_f = \frac{\sqrt{3}}{2} * \sigma_R$$

Die Berechnung der Fließspannung erfolgt mit Hilfe der von Mises Vergleichsspannungshypothese indem der vorhandene ebene Formänderungszustand in einen einachsigen Zustand umgerechnet wird.

Versuchsaufbau und Messtechnik

Versuchsaufbau

Der Prüfstand muss gewisse Anforderungen erfüllen um die gewünschten Ziele zu erreichen:

- Der Prüfstand muss ein Blechdickenspektrum von 1-6mm abdecken
- Die technologisch wichtigen Materialien (S235JR/DC01, X5CrNi1810, AlMg3) sollen getestet werden
- Umformgrade von mindestens 0,2 müssen erreicht werden
- Reines Momentenbiegen

Daraus ergeben sich wichtige Aspekte die bei der Konstruktion besonders beachtet werden müssen:

- 1) Klemmung der Blechprobe
- 2) Einleitung und Übertragung des Biegemoments
- 3) Lagerung der Blechprobe um reines Momentenbiegen zu gewährleisten

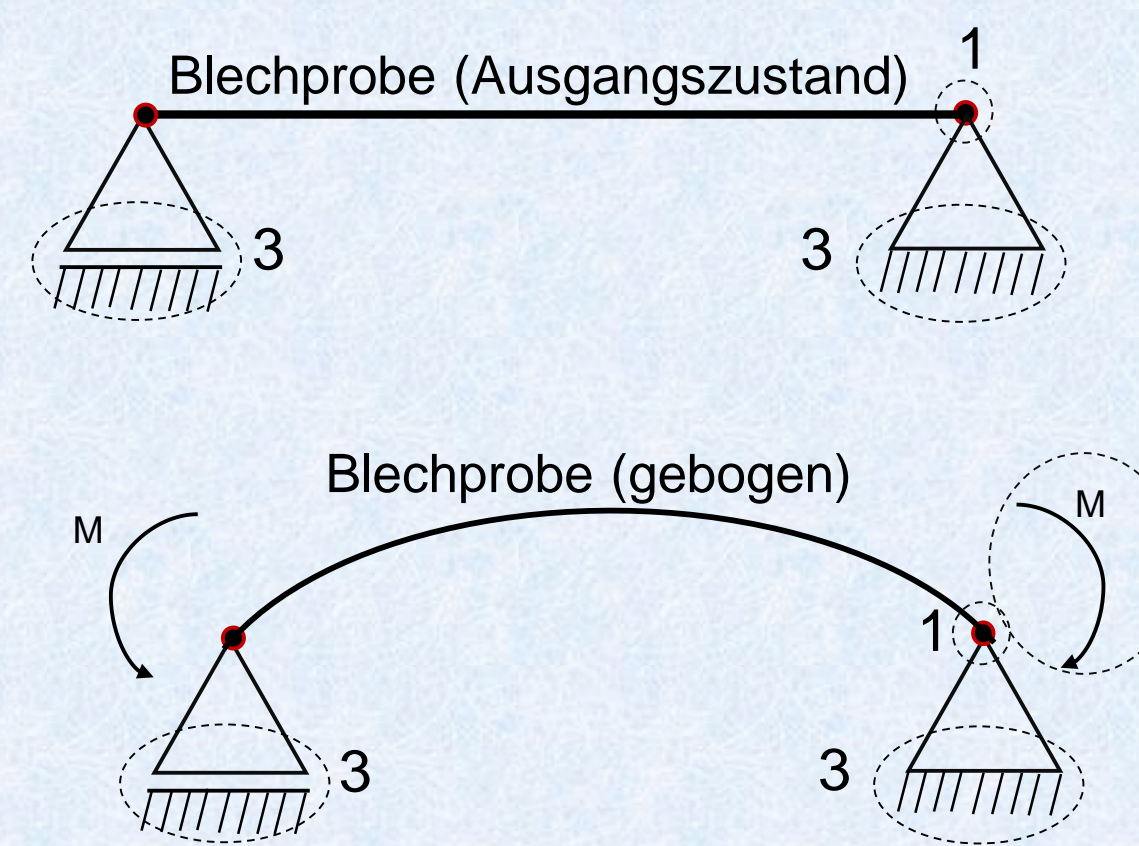


Abbildung 5: schematische Skizze zum Aufbau des Biegeprüfstandes

Mit Hilfe einer Werkzeugmaschine wird eine vertikale Kraft in den Prüfstand eingebracht und über Hebelarme das Biegemoment übertragen (siehe Abbildung 2). Um querkräftefreies Biegen zu gewährleisten wird ein Lagerbock fix verschraubt und ein Lagerbock beweglich auf einer Linearführung angebracht. Die Klemmung der Blechprobe erfolgt über eine Keilverbindung, da bei sehr kleinem Bauraum auf diese Art große und gleichmäßige Klemmkraft übertragen werden können.

Messtechnik

Die wichtigsten Messgrößen zur Bestimmung der Momenten- Krümmungsbeziehung sind:

Tabelle 1: Messgrößen und ihre Messgeräte

Messgröße	Messgerät
Kraft [N]	Piezoelemente
Radius Biegeprobe [mm]	Optischer Lasersensor
Biegewinkel [°]	Inkrementalgeber

Wie die gesamte Messtechnik in den Prüfstand integriert ist, ist in Abbildung 6 ersichtlich.

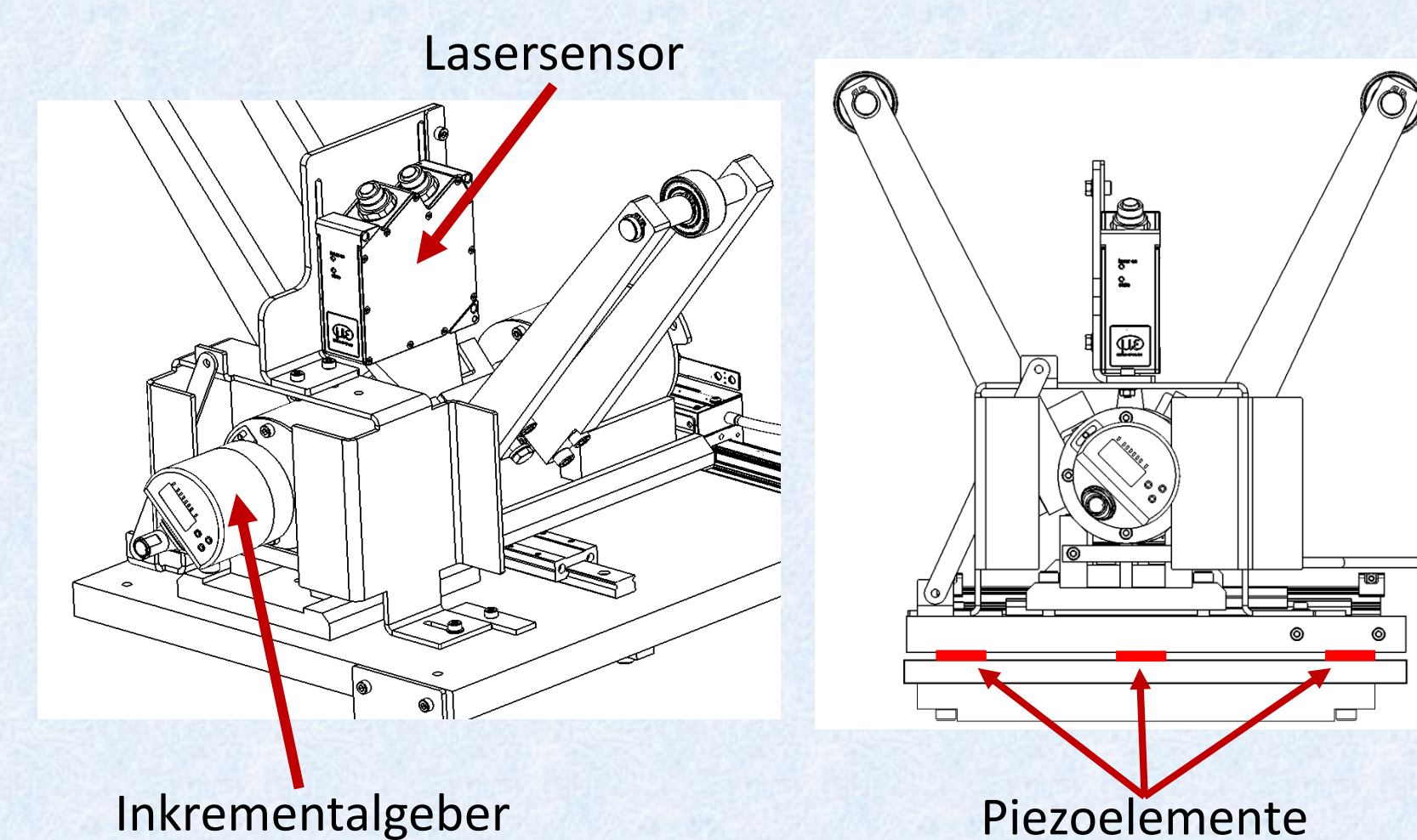


Abbildung 6: Prüfstandsaufbau mit integrierter Messtechnik

Der Inkrementalgeber wird an das freie Wellenende des Klemmkörpers geflanscht. Die Piezoelemente (3 Stück) sind miteinander gekoppelt und werden in einer Linie, zentral unter der Blechprobe angebracht. Der für die Radiusberechnung der Blechprobe notwendige Lasersensor wird über einen Blechbügel so angeordnet, dass er zentral über der Blechprobe positioniert ist.

Ergebnisse

Es wurden Versuche mit unterschiedlichen Materialien (S235JR, X5CrNi1810, AlMg3) und unterschiedlichen Blechdicken durchgeführt. Zur Bewertung der Ergebnisse wurden Zugfließkurven und Biegefließkurven aufgenommen die jeweils als Eingangsparameter für die Simulation verwendet wurden. Der Unterschied zwischen den Fließkurven aus dem Zug- und aus dem Biegeversuch ist in Abbildung 7 zu sehen für, AlMg3 mit einer Probendicke von 2mm. Abbildung 7 zeigt den Unterschied zwischen einer Zugfließkurve und Biegefließkurven. Für AlMg3 fällt der Unterschied besonders deutlich aus, wobei die Biegefließkurve unter der Zugfließkurve liegt.

Die Differenz des Biege winkels zwischen simulierten und realen Biegeversuch konnte durch die Verwendung der Biegefließkurve bei S235 und AlMg3 verbessert werden. Nur bei X5CrNi1810 zeigt sich keine Verbesserung der Ergebnisse. Einer der nächsten wichtigen Schritte ist somit die Untersuchung der Einflüsse für hochlegierte Stähle auf die Biegefließkurve.

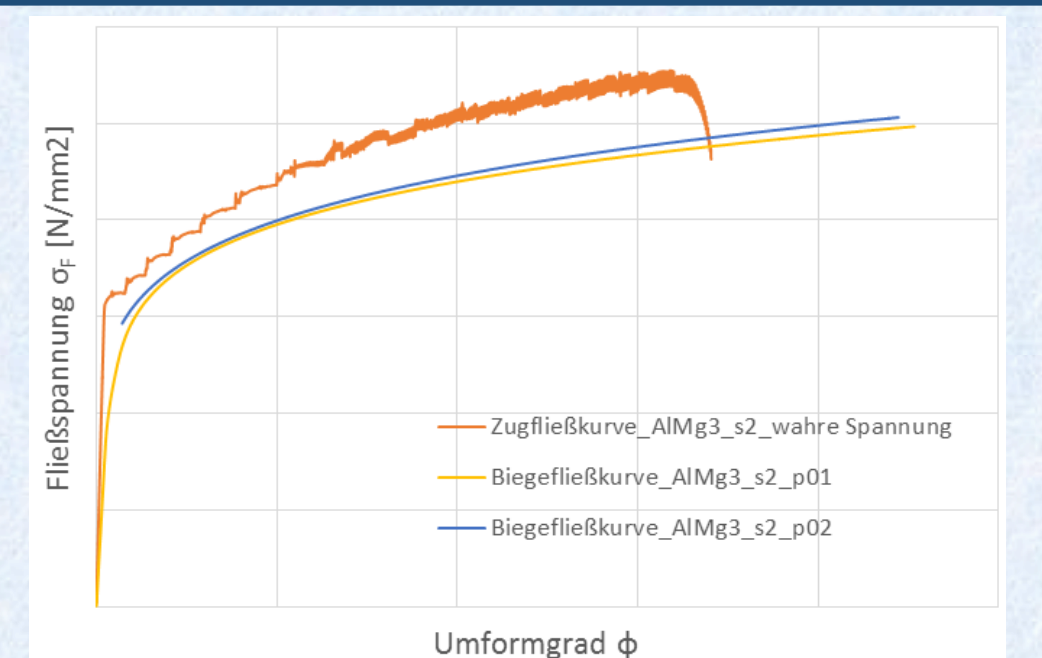


Abbildung 7: Verlauf der wahren Spannung über wahrer Dehnung von Zug- und Biegeproben

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

Die ersten Ergebnisse der Versuche zeigen ein Potential für S235 und AlMg3. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass noch einige Herausforderungen vorhanden sind die in den nächsten Schritten untersucht werden müssen.

Ausblick

Ein wichtiger Aspekt ist die Genauigkeit zur Bestimmung des E-Moduls aus dem Biegeversuch für zukünftige Versuche zu erhöhen. Des Weiteren ist notwendig den Einfluss von hochlegierten Stählen auf die Bestimmung der Biegefließkurve zu untersuchen.

Referenzen

- [1] Sami Chatti, *Optimierung der Fertigungsgenauigkeit beim Profilbiegen*, Dissertation TU Dortmund, Shaker Verlag,