

Protokoll: Zugversuch

Datum: 09.06.2009

Verfasser: Dimitrij Fiz

Mitarbeiter: Sarah Löwy, Felix Jörg, Christian Niedermeier

Gruppe: 12

Betreuer: Timo Herberholz

1. Einleitung

Der Zugversuch ist ein wichtiges und häufiges Prüfverfahren zur Bestimmung mechanischer Werkstoffeigenschaften. Im folgenden Versuch sollen drei gleiche Kupferproben, eine Aluminiumprobe und zwei unterschiedliche Stahlproben mittels Zugversuch untersucht werden. Dabei werden Kraft-Verlängerungs-Diagramme aufgenommen und daraus technische und wahre Spannungs-Dehnungs-Diagramme ermittelt. Außerdem werden verschiedene werkstoffcharakteristische Werte bestimmt und verglichen.

2. Grundlagen

2.1. Verformung

Legt man von außen eine Kraft an, so verformen sich Materialien. Dabei unterscheidet man zwischen der elastischen und der plastischen Verformung.

2.1.1. Elastische Verformung

Von elastischer Verformung spricht man in den Fällen, wenn das Material nach der Entlastung wieder die ursprüngliche Form einnimmt. Wie groß dabei die Dehnung ist und wie groß die angelegte Kraft sein darf, ist sehr materialspezifisch. Da bei meisten Materialien in diesem Bereich die Spannung σ zur Dehnung ε proportional ist, wird dieser spezifischer Wert durch den Proportionalitätsfaktor E der beiden Größen angegeben. Dieser Faktor wird als Elastizitätsmodul (kurz E-Modul) bezeichnet. Es gilt das Hooke'sche Gesetz:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (Gl. 1)$$

2.1.2. Plastische Verformung

Wird eine gewisse Grenze von der Spannung überschritten, setzt die plastische Verformung ein, d.h. es findet eine bleibende Formveränderung statt. Das kann damit erklärt werden, dass sich die Atomschichten gegeneinander abgleiten, indem sich Versetzungen durch das Material bewegen, und sich durch Umklappen der Gitterbereiche Zwillinge bilden. Mit fortschreitender Verformung vermehren sich die Versetzungen. Dabei behindern sie sich gegenseitig in ihrer Bewegung, das Material verfestigt sich. Erreicht die Verfestigung ihr Maximum, setzt an einer Stelle im Material eine Einschnürung ein, wobei der Querschnitt sich verringert, bis es schließlich zum Versagen des Materials kommt, welches sich in einem Bruch widerspiegelt.

2.2. Spannungs-Dehnungs-Diagramme

Um das Verhalten des Materials unter Einwirkung der Spannung grafisch darzustellen und auszuwerten, eignen sich Spannungs-Dehnungs-Diagramme.

2.2.1. Technisches Spannungs-Dehnungs-Diagramm

In diesem Diagramm wird der sich verändernde Querschnitt der Probe nicht beachtet. Die technische Spannung σ wird als das Verhältnis der angelegten Kraft F zum Ausgangsquerschnitt S_0 der Probe definiert, es gilt:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (Gl. 2)$$

Die Dehnung ε ergibt sich aus

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (Gl. 3)$$

Dabei steht l_0 für die Ausgangslänge und $l - l_0$ für die Längenänderung der Probe. Trägt man nun die Spannung gegen die Dehnung auf, ergeben sich charakteristische Kurven, aus denen man verschiedene spezifische Werte ablesen kann. Diese sind im Folgenden aufgeführt. Das Elastizitätsmodul E wird durch die Steigung der Hookeschen Geraden definiert. Die Streckgrenze R_e ist die Spannung beim Übergang elastischer Verformung zur plastischen. Gibt es eine ausgeprägte Streckgrenze, so definiert man eine untere und obere Streckgrenze R_{eL} und R_{eH} . Meist gilt jedoch die Dehngrenze $R_{p0.2}$ als Kennwert der Streckgrenze. Die Gleichmaßdehnung A_g ergibt sich aus der bleibenden Dehnung bei der Höchstkraft. Die Zugfestigkeit R_m ist die auf den Ausgangsquerschnitt bezogene Höchstkraft. Die Bruchdehnung A , definiert durch die bleibende Dehnung beim Bruch der Probe, und die Bruchspannung R_r , welche gleich der auf den Ausgangsquerschnitt bezogenen Kraft beim Bruch ist. Außerdem lässt sich aus der Streckgrenze und der Zugfestigkeit das Streckgrenzenverhältnis R_e/R_m berechnen.

2.2.2. Wahres Spannungs-Dehnungs-Diagramm

Beachtet man die Einschnürung und bezieht die Kraft auf den momentanen Querschnitt S , so ergibt sich die wahre Spannung σ_w . Die wahre Dehnung erhält man durch Integration der differentiellen Längenänderung dl bezogen auf die momentane Länge l . Dabei ist die Annahme der Volumenkonstanz eine wichtige Voraussetzung. Es gelten folgende Zusammenhänge:

$$\sigma_w = \frac{F}{S} = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (Gl. 4)$$

$$\varepsilon_w = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln(1 + \varepsilon) \quad (Gl. 5)$$

2.3. Bruchverhalten

Bei verschiedenen Materialien kommt es auch zu unterschiedlichem Bruchverhalten. Dabei entstehen die in (Abb. 1) gezeigten Bruchformen.

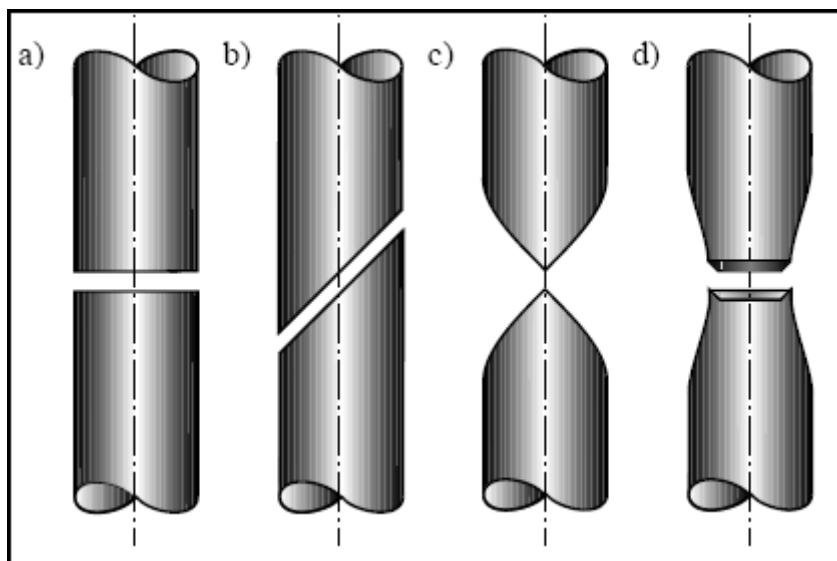


Abb. 1: Unterschiedliche Bruchformen: a) Trennbruch, b) Scherbruch, c) Einschnürbruch und d) Mischbruch.[2]

3. Versuchsdurchführung

Der Zugversuch erfolgt mithilfe einer elektromechanischen Prüfmaschine an drei Kupferproben, einer Aluminiumprobe und zwei verschiedenen Stahlproben. Diese haben eine Plättchenform, schematisch in (Abb. 2) dargestellt.

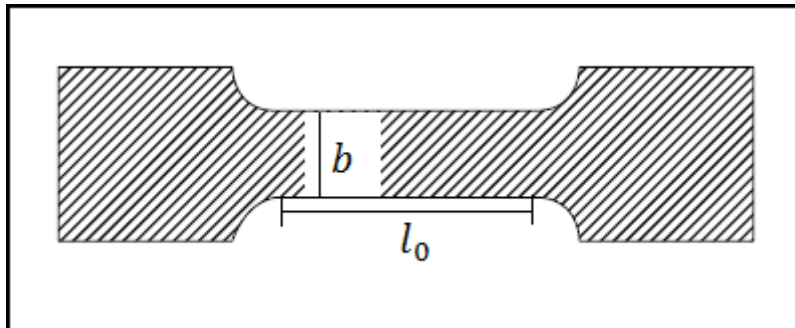


Abb. 2: Schematische Darstellung der Proben; b : Breite, l_0 : Ausgangslänge.

Die Proben werden zunächst mit einer Mikrometerschraube vermessen und anschließend an den großen Außenflächen fest in die Maschine eingespannt. Dabei muss darauf geachtet werden, dass durch das Einspannen auftretende Kräfte mit entsprechender Einstellung der sogenannten Vorkraft kompensiert werden. Dies geschieht mittels eines an die Maschine angeschlossenen Computers. Nach Eingabe der Probenmaße und einer konstanten Dehngeschwindigkeit von 0,04 mm/s wird der Zugversuch vollautomatisch durchgeführt, wobei der Computer aus dem Verfahrensweg der Maschine die Längenänderung ermittelt und fortlaufend ein Kraft-Verlängerungs-Diagramm erstellt. Nach erfolgtem Bruch wird nach Augenmaß die Bruchform bestimmt.

4. Ergebnisse

4.1. Probenmaße

Für die vorliegenden Proben wurden folgende Dimensionen ermittelt:

Tab. 1: Abmessungen der Proben.

Probenmaterial	Länge in mm	Breite in mm	Dicke in mm
Kupfer (Probe 1)	22	3,67	1,02
Kupfer (Probe 2)	22	3,65	1,01
Kupfer (Probe 3)	22	3,67	1,02
Aluminium	22	3,63	0,97
Stahl (Probe 1)	22	3,63	1,00
Stahl (Probe 2)	20	3,06	0,51

4.2. Spannungs-Dehnungs-Diagramme

Aus den Kraft-Verlängerungs-Diagrammen wurden nach (Gl. 2) und (Gl. 3) die Spannungs-Dehnungsdiagramme erstellt. Der Ausgangsquerschnitt S_0 ergibt sich dabei aus dem Produkt der Breite b und der Dicke der Probe.

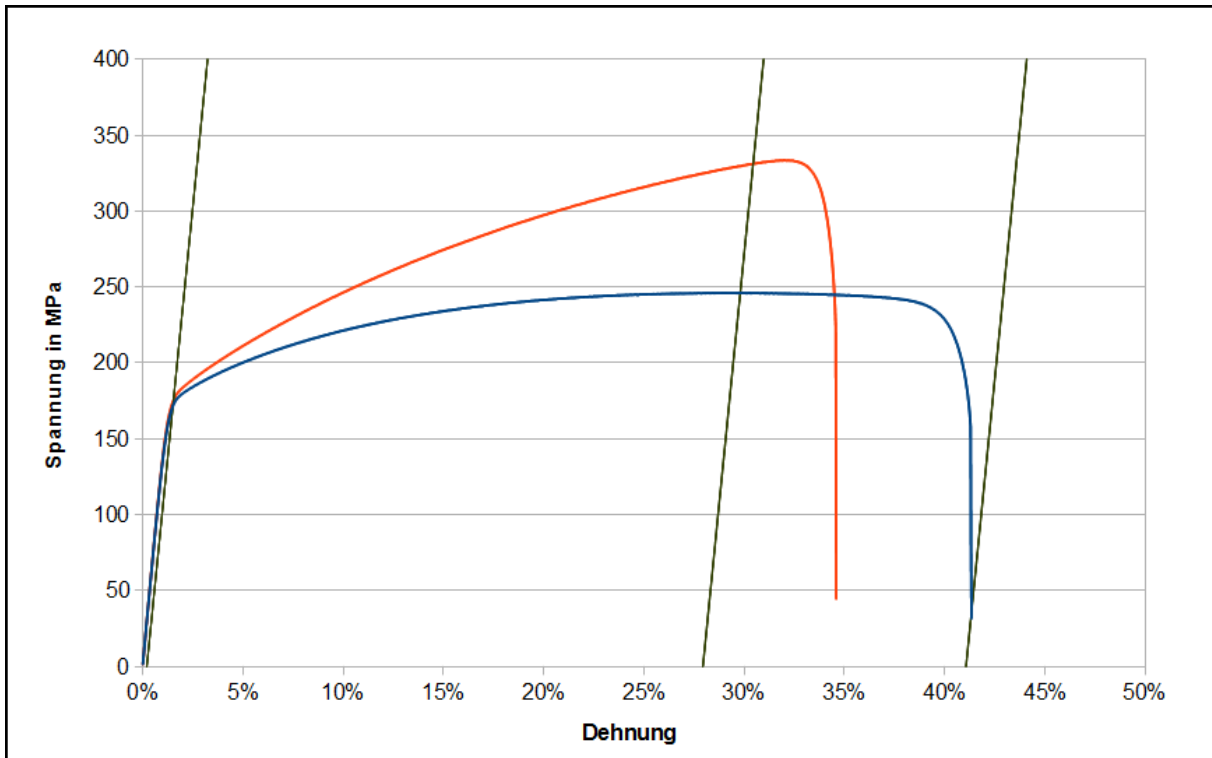


Abb. 3: Spannungs-Dehnungs-Diagramm der 1. Kupferprobe; blau: technisch, rot: wahr.

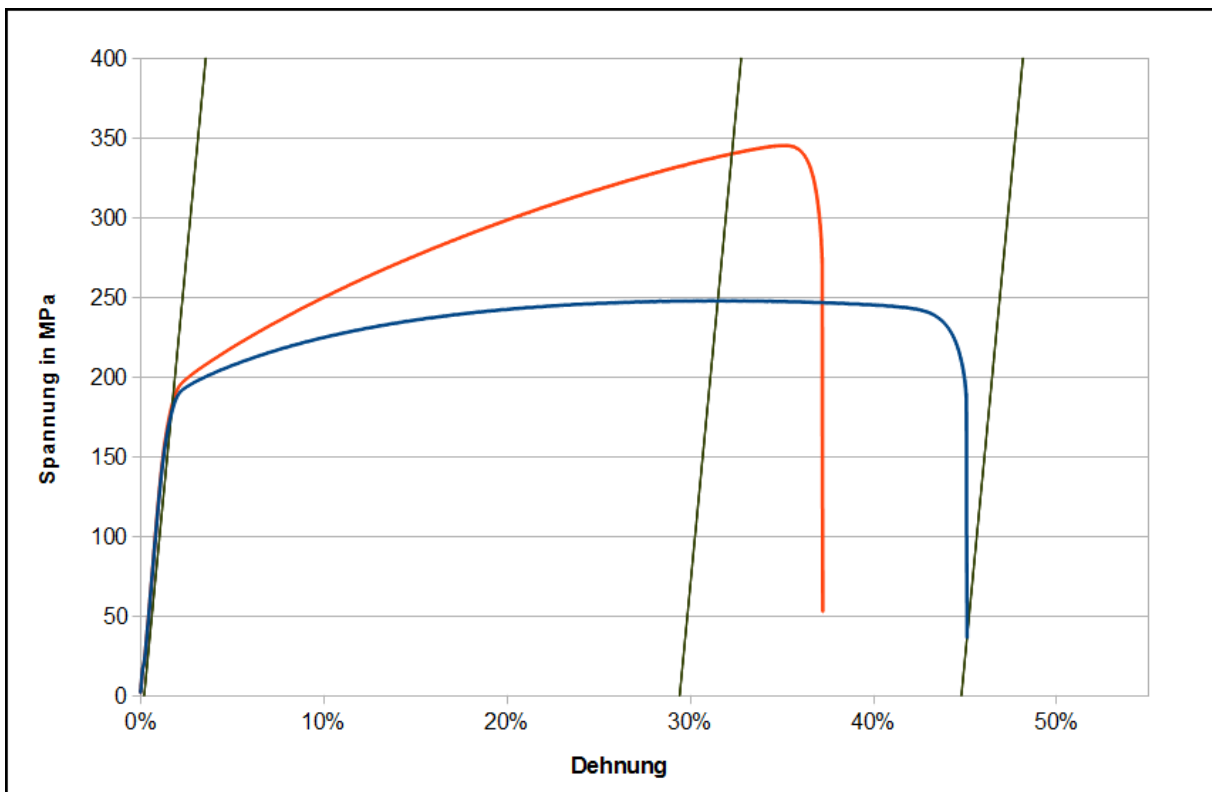


Abb. 4: Spannungs-Dehnungs-Diagramm der 2. Kupferprobe; blau: technisch, rot: wahr.

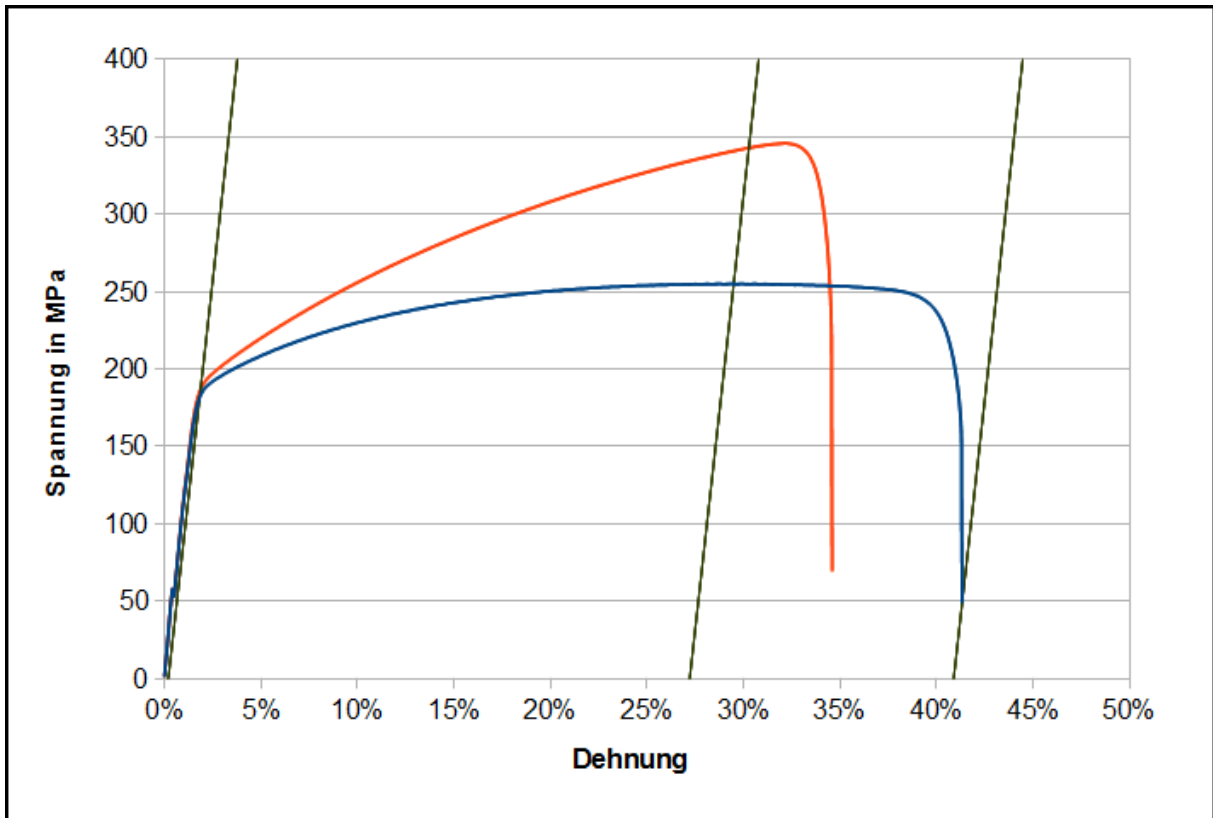


Abb. 5: Spannungs-Dehnungs-Diagramm der 3. Kupferprobe; blau: technisch, rot: wahr.



Abb. 6: Spannungs-Dehnungs-Diagramm der Aluminiumprobe; blau: technisch, rot: wahr.

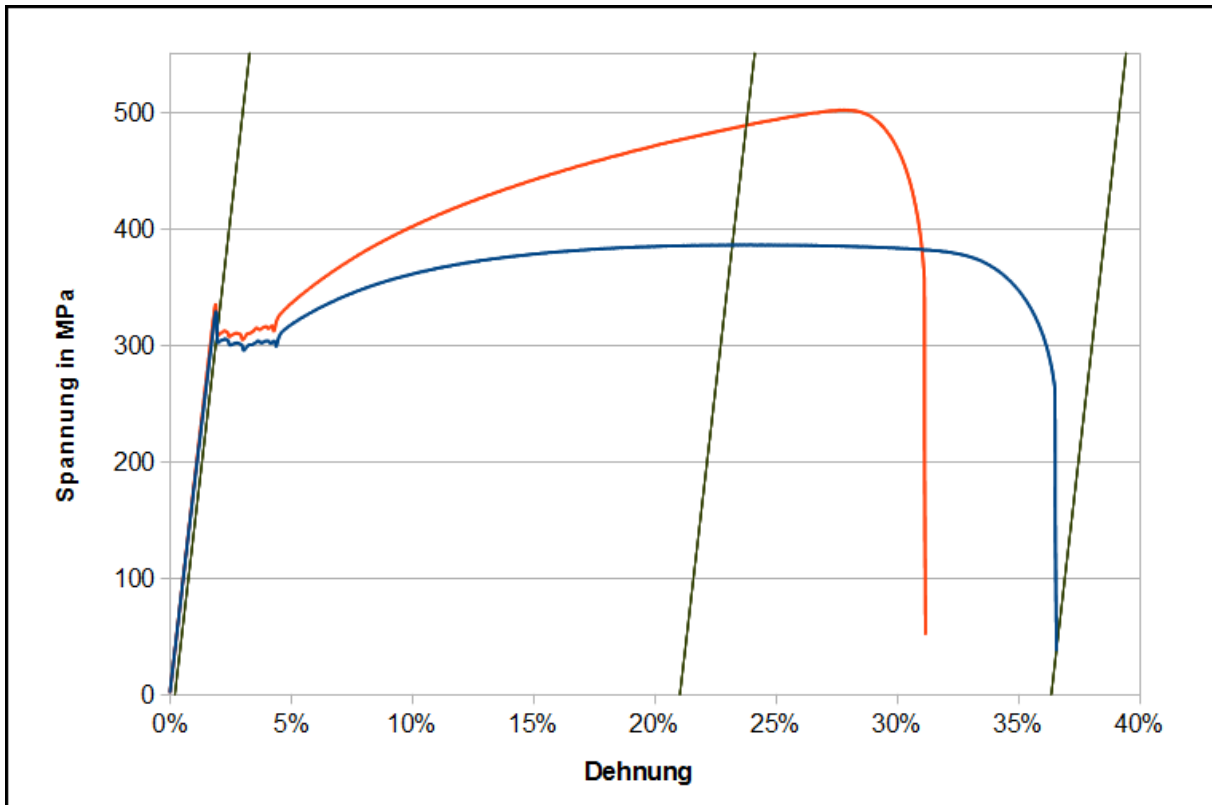


Abb. 7: Spannungs-Dehnungs-Diagramm der 1. Stahlprobe; blau: technisch, rot: wahr.

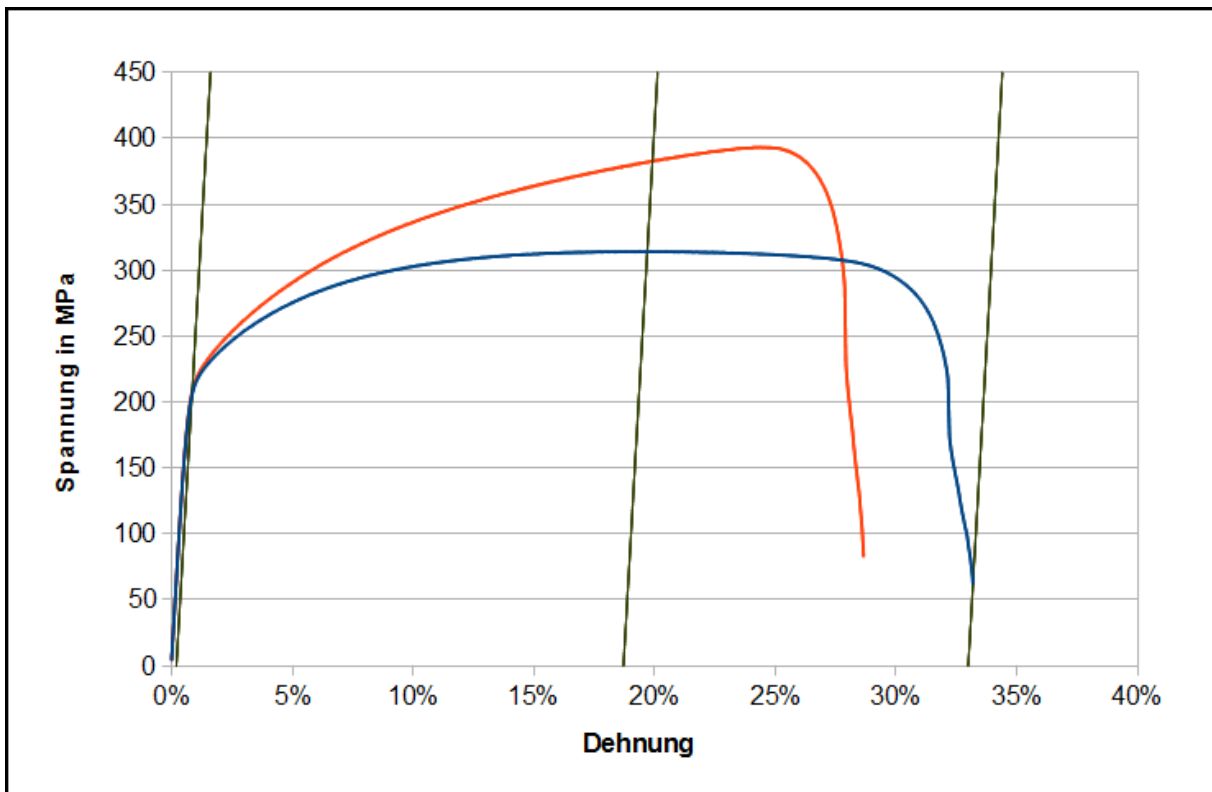


Abb. 8: Spannungs-Dehnungs-Diagramm der 2. Stahlprobe; blau: technisch, rot: wahr.

4.3. Abgelesene und errechnete Größen, Bruchform

Aus den Diagrammen können die unter 2.2.1. genannten spezifischen Werte abgelesen werden, welche wiederum als Grundlage zur Berechnung des Streckgrenzenverhältnisses dienen.

Tab. 2: Abgelesene Größen, Streckgrenzenverhältnisse, Bruchformen.

Probenmaterial	Kupfer (Probe 1)	Kupfer (Probe 2)	Kupfer (Probe 3)	Aluminium	Stahl (Probe 1)	Stahl (Probe 2)
E [GPa]	13,2	11,9	11,2	13,7	17,9	31,9
A_g [%]	27,9	29,4	27,2	12,8	21,0	18,7
A [%]	41,1	44,8	41,0	17,3	36,4	33,0
$R_{p0.2}$ [MPa]	162	178	182	165	306	205
R_m [MPa]	246,2	247,9	255,1	246,1	386,5	314,6
R_r [MPa]	31,6	36,3	49,3	9,5	38,1	62,2
R_e/R_m	0,65	0,72	0,71	0,67	0,79	0,65
Bruchform	Mischbruch	Mischbruch	Mischbruch	Mischbruch	Mischbruch	Mischbruch

5. Diskussion der Ergebnisse

5.1. Diagramme

Anhand der Kurvenverläufe lassen sich einige qualitative Aussagen über die Materialien treffen. Von den Verhältnissen der E-Module zueinander abgesehen, zeigt Stahl ein höheres E-Modul als Kupfer, welches jedoch seinerseits kleinere Werte als Aluminium aufweist. Ein weiteres erwartetes Ergebnis sind die relativ ähnlichen Werte für alle drei Kupferproben, was darauf schließen lässt, dass sie wohl aus derselben Legierung gefertigt wurden. Deutlich zu erkennen ist außerdem die ausgeprägte Streckgrenze bei der ersten Stahlprobe, welche auch nach der Theorie nur hier auftauchen sollte. Die Ursache dafür ist die Ausbreitung von Versetzungsbändern durch das Material, welche in ihrer Bewegung durch interstitiell gelöste Atome (in diesem Fall Kohlenstoff) behindert werden. Die Versetzung bleibt an ihnen eine Zeit lang "hängen", bevor sie sich "losreißen" kann. Dadurch kommt der zickzackähnliche Verlauf der Kurve zustande. Da es bei der 2. Stahlprobe nicht zutrifft, lässt sich vermuten, dass es sich hierbei um einen niedriglegierten Stahl handelt. Auch die Zugfestigkeit kann das bestätigen, jedoch ist der E-Modul dieser Probe viel größer, was Zweifel an dieser Aussage aufwirft. Desweiteren fällt der Bruchverlauf bei der 2. Stahlprobe auf, welcher im Unterschied zu den anderen nicht gleichmäßig verläuft, sondern einen Knick zeigt. Auch die Bruchform erweist sich als ungewöhnlich. Grund dafür könnte beispielsweise ein Materialfehler sein.

5.2. Fehlerbetrachtung

Tab. 3: Literaturwerte.[1]

Material	Kupfer	Aluminium	Eisenbasislegierungen
E [GPa]	124	69	193-214
$R_{p0.2}$ [MPa]	60	40	286-1980
R_m [MPa]	400	200	680-2400
A [%]	55	50	2-65

Allgemein fällt es auf, dass die ermittelten Werte sehr stark von den in (Tab. 3) angegebenen Literaturwerten abweichen. Dies liegt daran, dass die Versuchsdurchführung sehr fehlerbehaftet ist. Zur genauen Bestimmung der Längenänderung eignet sich besser eine Messung direkt an der Probe mithilfe eines Laserextensometers. Dadurch werden die Möglichen Fehler der Messung mittels des Verfahrenswegs der Prüfmaschine umgangen. Desweiteren können ein zu schwaches oder zu starkes Einspannen als Fehlerquelle betrachtet werden. Zu schwaches Einspannen ermöglicht das Verrutschen der Probe, was das Messergebnis deutlich verfälschen kann, zu starkes Einspannen verformt die Probe noch bevor die Prüfung durchgeführt werden kann. Auch eine ungerade eingespannte Probe kann zu großen Abweichungen der Werte geführt haben. Eine unwesentliche Fehlerquelle, die trotzdem zu erwähnen ist, ist das Ablesen der Maße an der Mikrometerschraube, welches zu falschen Querschnitten führen kann. Allgemein lassen sich die Ergebnisse dieses Versuchs nicht als repräsentativ bezeichnen. Damit man die Fehler besser abschätzen und zu genaueren Ergebnissen gelangen kann, sollte man ein Experiment nicht nur einmal und auch nicht nur an derselben Prüfmaschine durchführen. Besser eignet sich eine Versuchsreihe, welche dann mit Verteilungen, Mittelwerten und sich daraus ergebenden mittleren Abweichungen ein genaueres Ergebnis liefert.

6. Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der durchgeführte Versuch nur teilweise zufriedenstellende Ergebnisse liefert. Die erstellten Kurven zeigen zwar gewisse typische Bereiche, wie Hookesche Geraden und Einschnürung auf, jedoch sind die Messwerte nicht annähernd mit den Literaturwerten zu vergleichen.

7. Literatur

- [1] Prof. Dr. H. Strunk, *Skript zur Vorlesung "Einführung in die Werkstoffphysik"*, 2008/2009
- [2] Prof. Dr. H. Strunk et al., *Skript zum "Werkstoffwissenschaftlichen Grundpraktikum"*, 2009