Zugversuch

Name: Matthias Jasch
Matrikelnummer: 2402774
Mitarbeiter: Mirjam und Rahel Eisele
Gruppennummer: 7
Versuchsdatum: 26. Mai 2009
Betreuer: Vera Barucha

1 Einleitung

Der Zugversuch gehört zu den bedeutendsten Versuchen, um die wichtigsten mechanischen Eigenschaften von Werkstoffen zu ermitteln.

2 Aufgabenstellung

Es sollten die Kraft-Verlängerungskurven von Stahl, Messing, Kupfer und drei verschiedenen Aluminiumproben aufgenommen und daraus verschiedene mechanischen Eigenschaften ermittelt werden. Der Zugversuch sollte bis zum Bruch der Probe durchgeführt werden. Anschließend war die Bruchform zu bestimmen.

3 Theorie

Übt man auf ein Material eine äußere Kraft aus, so verformt es sich zunächst elastisch und später plastisch.

3.1 Elastische Verformung

Von elastischer Verformung spricht man, wenn sich das Material nach dem Wegnehmen der äußeren Kraft wieder in seinen Ausgangszustand zurückverformt. Dies gelingt nur, solange die angelegte Kraft nicht zu groß war. Man stellt sich die Atome hier vereinfacht als Kugeln, die mit Federn verbunden sind, vor. Somit gilt das Hooksche Gesetz, das einen linearen Zusammenhang zwischen der angelegten Spannung σ und der resultierenden Dehnung ε beschreibt.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \tag{1}$$

Der Proportionalitätsfaktor E heißt Elastizitätsmodul (E-Modul).

3.2 Plastische Verformung

Überschreitet die angelegte Kraft eine Grenze (Streckgrenze), so verformt sich das Material plastisch, das heißt, es geht auch nach dem Wegnehmen der äußeren Kraft nicht mehr vollständig in seine Ausgangsform zurück.
Diese plastische Verformung kommt daher, dass bei höherer Belastung benachbarte Atomschichten gegeneinander abgleiten und sich durch Umklappen von Atomschichten Zwillinge bilden.
Plastische Verformung verfestigt das Material, da Versetzungen immer mehr in ihrer Beweglichkeit eingeschränkt werden. Ist die maximale Festigkeit (Zugfestigkeit) erreicht, beginnt das Material, sich an einer Stelle einzuschnüren, der Querschnitt verkleinert sich.

3.3 Technisches Spannungs-Dehnungs-Diagramm

Dieser sich verringernde Querschnitt wird beim technischen Spannungs-Dehnungs-Diagramm nicht beachtet, da man die Spannung hier immer auf den Ausgangsquerschnitt S_0 und die Drehnung auf die Ausgangslänge l_0 bezieht.

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \tag{2}$$

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \tag{3}$$

(F...Kraft, S_0... Ausgangsquerschnitt, l_0...Ausgangslänge, l...aktuelle Länge)
Deshalb scheint die Spannung zu fallen, sobald sich die Probe einschnürt.
Aus dem technischen Spannungs-Dehnungs-Diagramm können folgende wichtige Materialeigenschaften abgelesen werden:

- Der **Elastizitätsmodul** (E-Modul) entspricht der Steigung der Hookschen Geraden.
- Die **Dehngrenze** $R_{p0,2}$ ist die Spannung am Punkt, an dem sich das Material 0,2 % gedehnt hat.
- Die **Gleichmaßdehnung** A_g ist die bleibende Dehnung bei der Höchstkraft.
- Die **Zugfestigkeit** R_m ist die auf den Ausgangsquerschnitt bezogene Höchstkraft, das maximum der Kurve.
- Die **Bruchdehnung A** ist die bleibende Dehnung nach dem Bruch.
- Die **Bruchspannung** R_r ist die auf den Ausgangsquerschnitt bezogene Kraft beim Bruch.
- Das **Streckgrenzenverhältnis** $\frac{R_e}{R_m}$ kann aus der Kenntnis der Streckgrenze und Zugfestigkeit errechnet werden.

3.4 Wahres Spannungs-Drehnung-Diagramm

In Wahrheit nimmt die Spannung jedoch aufgrund des kleineren Probenquerschnitts weiter zu. Dem wahren Spannungs-Dehnungs-Diagramm liegen daher folgende Formeln zugrunde

$$\sigma_w = \frac{F}{A} = \sigma\,(1 + \varepsilon) \tag{4}$$

$$\varepsilon_w = \ln\,(1 + \varepsilon) \tag{5}$$

3.5 Bruch

Erhört man die Spannung weiter, bricht das Material schließlich.
Man unterscheidet verschiedene Bruchformen (Abbildung 1).

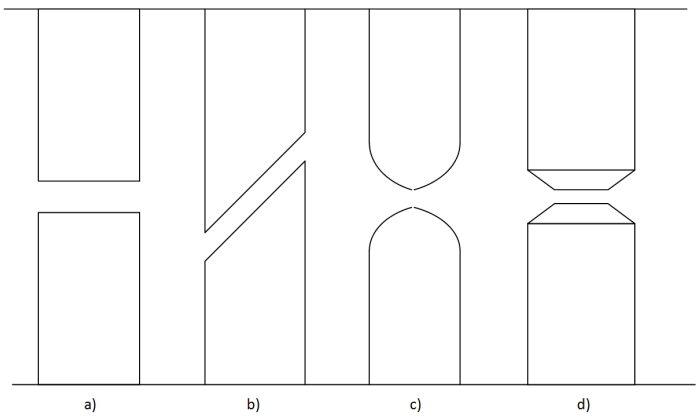

Abbildung 1: a) Trennbruch; b) Scherbruch; c) Einschnürbruch; d) Mischbruch

4 Versuchsbeschreibung

Zunächst wurden die genormten Proportionalproben aus Stahl, Messing, Kupfer und Aluminium mit einer Millimeterschraube genau vermessen. Anschließend wurden sie nacheinander in die elektromechanische Prüfmaschine fest eingespannt. Nun wurde die an einen Computer angeschlossene Maschine kalibriert, sodass zu Anfang des Versuchs möglichst keine Kräfte auf die Probe wirken. Das Ziehen mit einer kostanten Geschwindigkeit von fünf Millimeter pro Minute und die Aufnahme des Kraft-Verlängerungsdiagramms geschah vollautomatisch.
Die Bruchform der verschiedenen Proben konnte mit bloßem Auge ermittelt werden.

5 Messwerte und Auswertung

Tabelle 1: Dimensionen der Proben in mm

Probe	Dicke	Breite	Länge
Aluminium Probe 1	0,50	2,0	20
Aluminium Probe 2	0,60	1,9	20
Aluminium Probe 3	0,65	2,0	20
Messing	0,65	3,1	20
Kupfer	0,65	2,1	20
Stahl	1,00	3,65	22

Die Diagramme sind der Übersichtlichkeit halber erst auf den nächsten Seiten dargestellt.

5.1 Aluminium

5.1.1 Probe 1

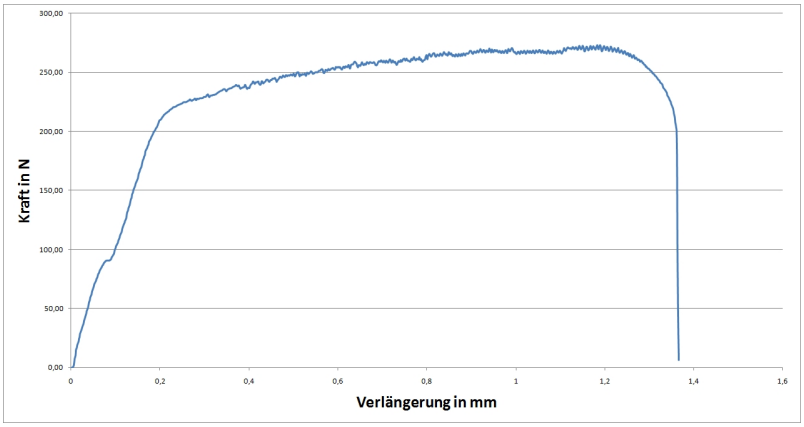

Abbildung 2: Kraft-Verlängerungsdiagramm.

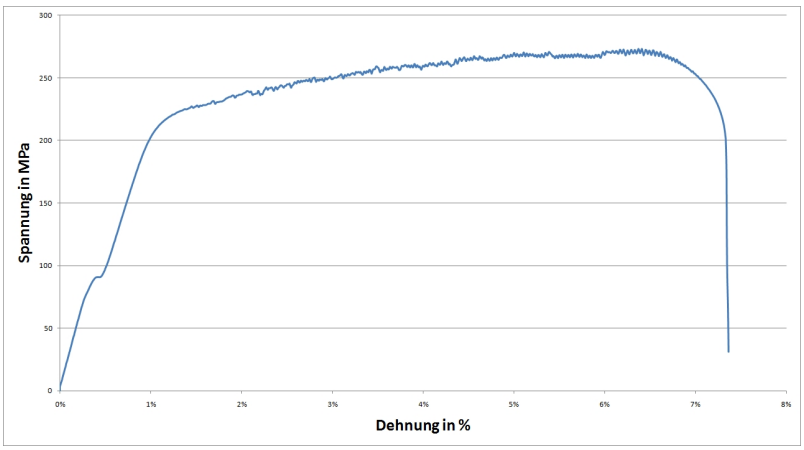

Abbildung 3: Spannungs-Dehnungdiagramm.

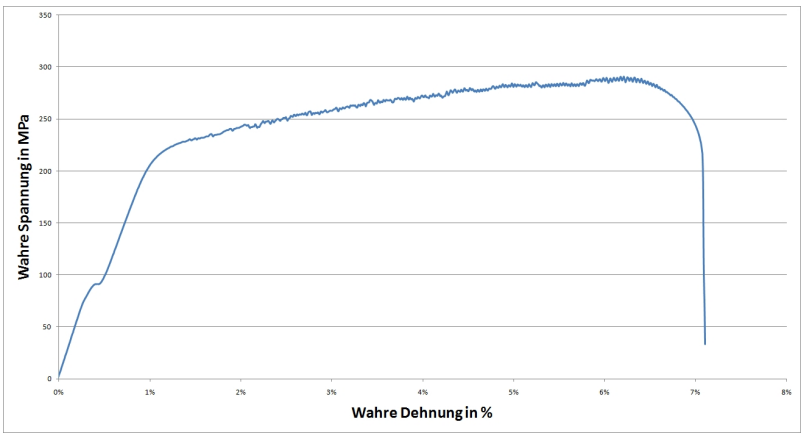

Abbildung 4: Wahres Spannungs-Dehnungsdiagramm.

5.1.2 Probe 2

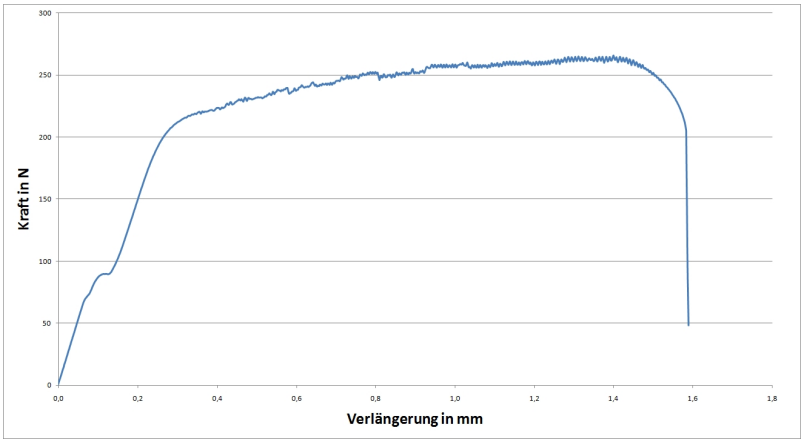

Abbildung 5: Kraft-Verlängerungsdiagramm.

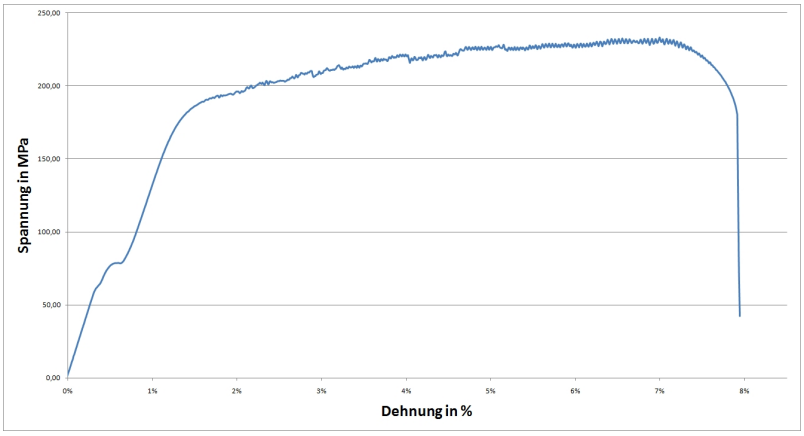

Abbildung 6: Spannungs-Dehnungdiagramm.

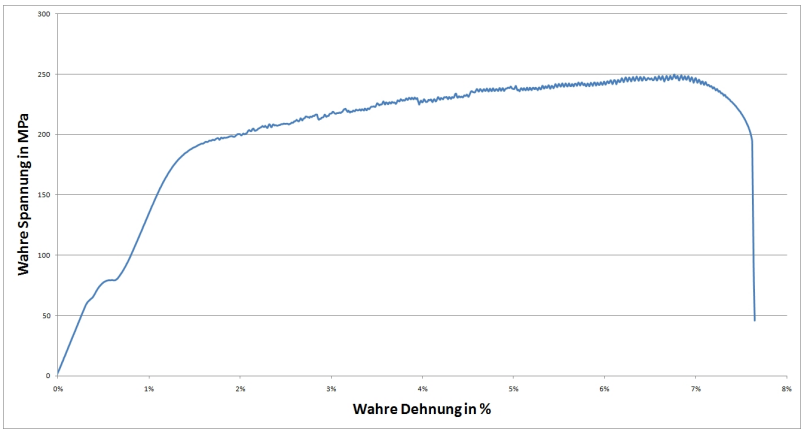

Abbildung 7: Wahres Spannungs-Dehnungsdiagramm.

5.1.3 Probe 3

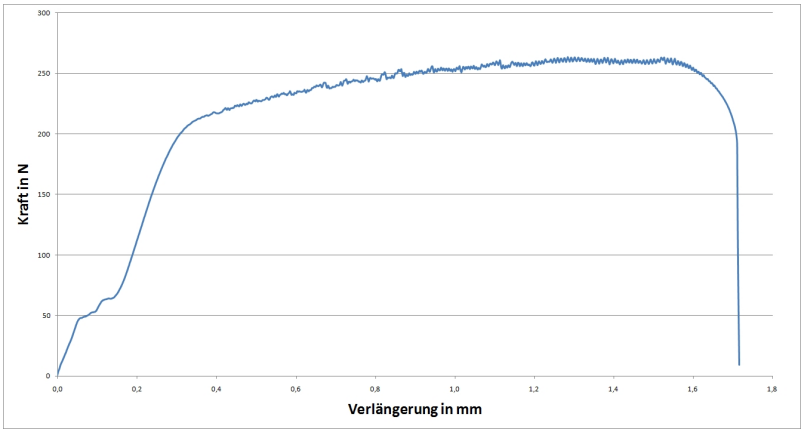

Abbildung 8: Kraft-Verlängerungsdiagramm.

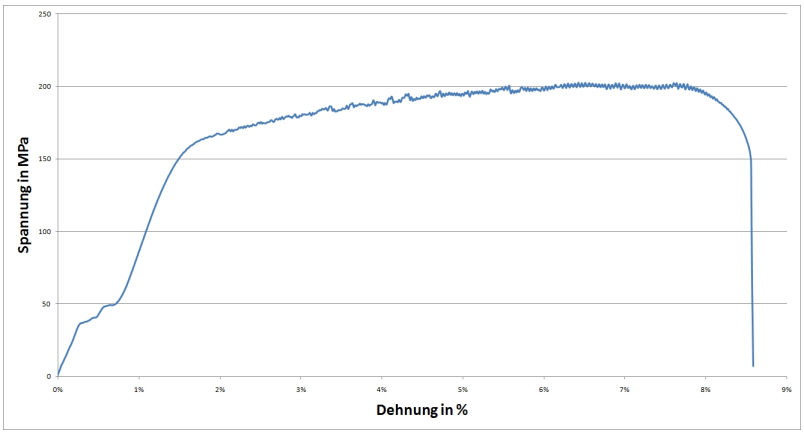

Abbildung 9: Spannungs-Dehnungdiagramm.

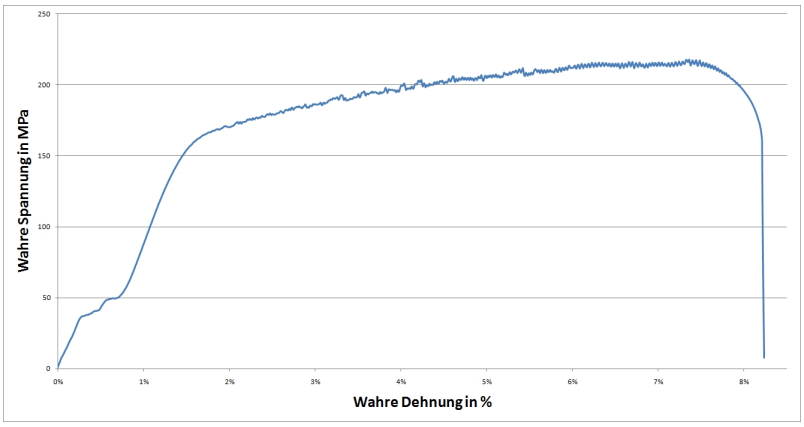

Abbildung 10: Wahres Spannungs-Dehnungsdiagramm.

5.2 Kupfer

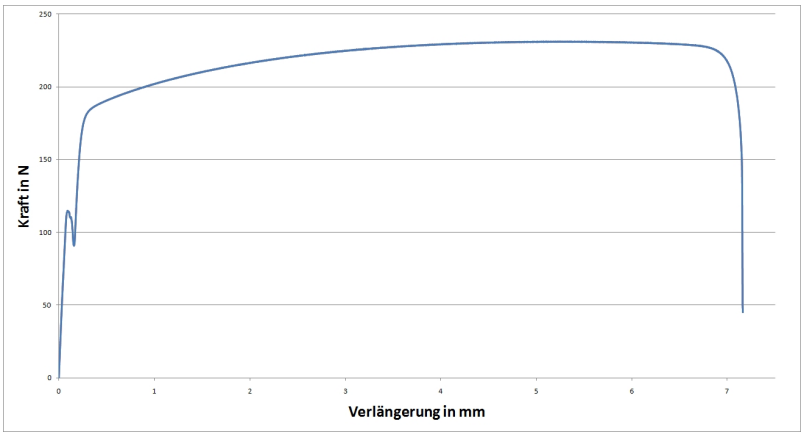

Abbildung 11: Kraft-Verlängerungsdiagramm.

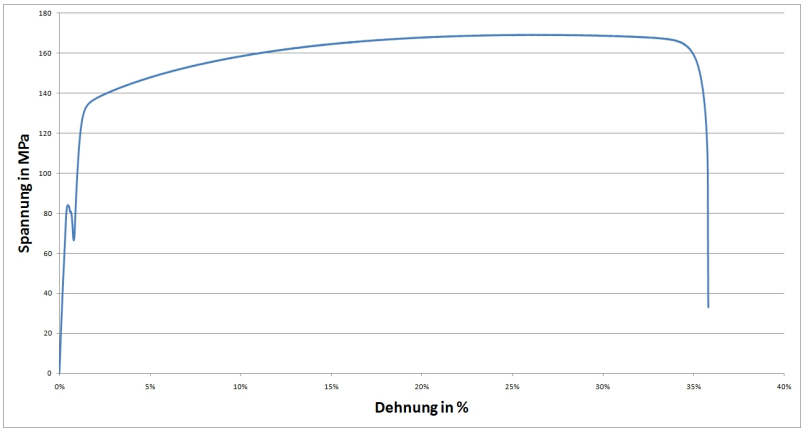

Abbildung 12: Spannungs-Dehnungdiagramm.

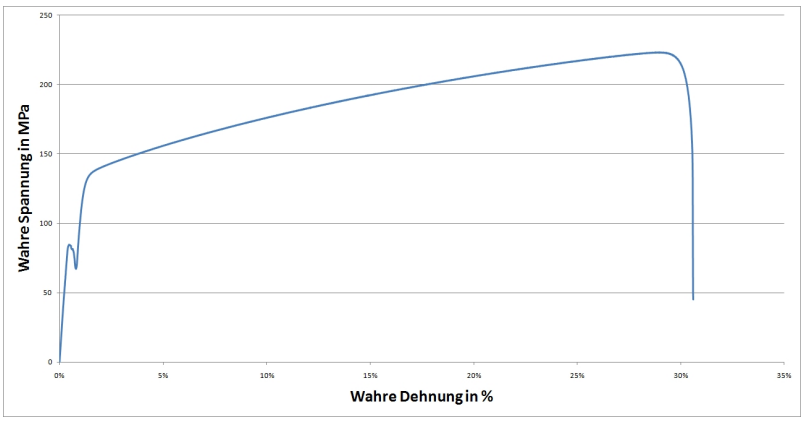

Abbildung 13: Wahres Spannungs-Dehnungsdiagramm.

5.3 Messing

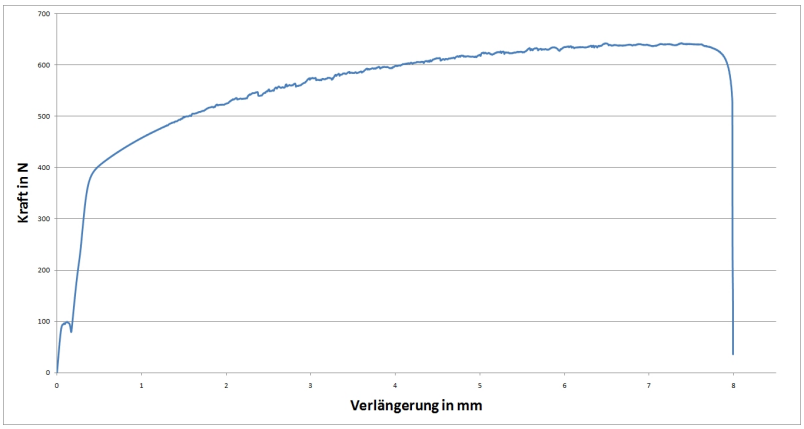

Abbildung 14: Kraft-Verlängerungsdiagramm.

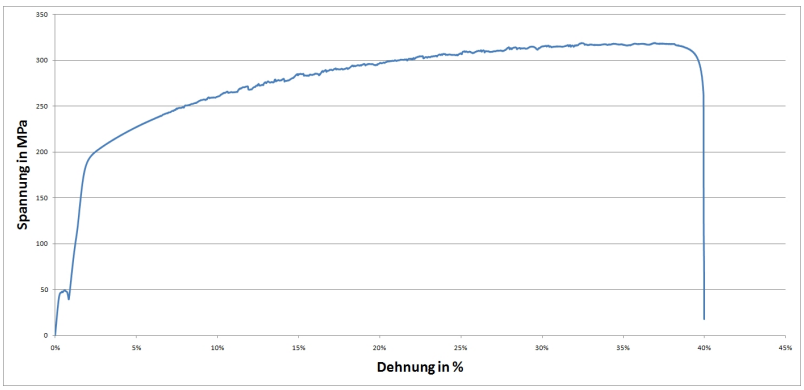

Abbildung 15: Spannungs-Dehnungdiagramm.

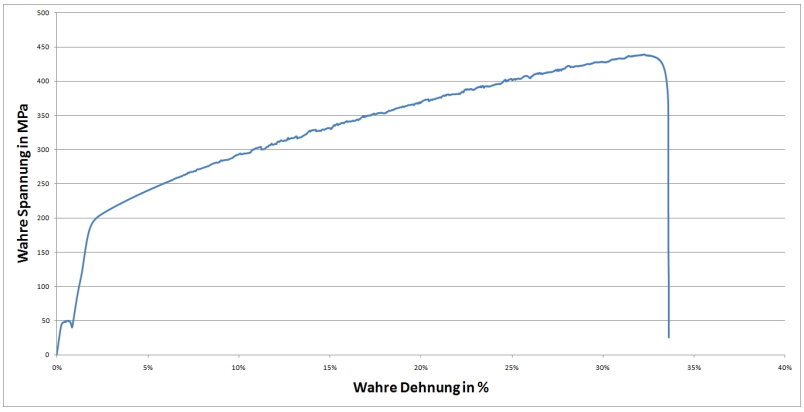

Abbildung 16: Wahres Spannungs-Dehnungsdiagramm.

5.4 Stahl

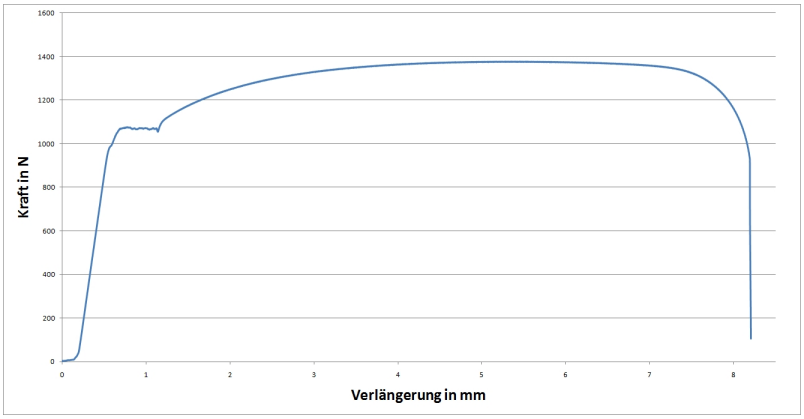

Abbildung 17: Kraft-Verlängerungsdiagramm.

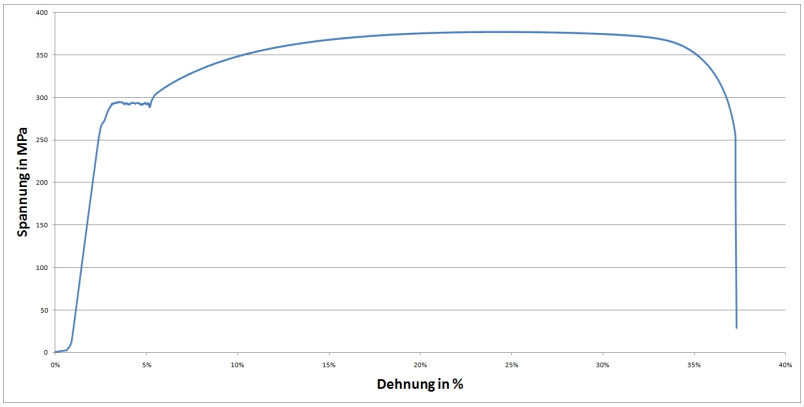

Abbildung 18: Spannungs-Dehnungdiagramm.

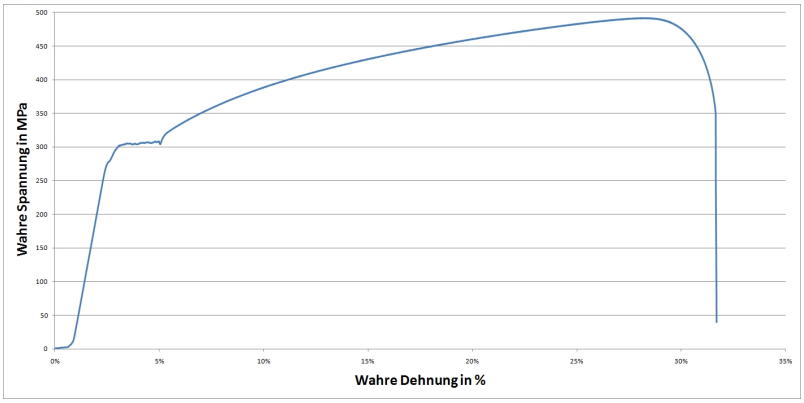

Abbildung 19: Wahres Spannungs-Dehnungsdiagramm.

Aus den Diagrammen können folgende Größen abgelesen werden:

- **E-Modul** E aus der Steigung der Hook´schen Geraden.
- **Dehngrenze** $R_{p0,2}$ aus dem Übergang von elastischer zu plastischer Verformung
- **Zugfestigkeit** R_m aus dem Maximum mit der zugehörigen
- **Gleichmaßdehnung** A_g
- **Bruchspannung** R_r
- **Bruchdehnung** A
- **Streckgrenzenverhältnis** $\frac{R_e}{R_m}$

Die Brucheinschnürung Z kann nicht ermittelt werden, da die Werte für die Querschnittsfläche nach erfolgtem Bruch nicht gemessen wurden.

Tabelle 2: Abgelesene Größen.

Probe	**Al Probe 1**	**Al Probe 2**	**Al Probe 3**	**Messing**	**Kupfer**	**Stahl**
E in GPa	19,4	12,5	9,5	8,8	8,3	16,2
$R_{p0,2}$ in MPa	225	190	165	50	80	290
R_m in MPa	273	266	264	500	214	1168
A_g in %	5	5,2	5,5	36	25	23
R_r in MPa	222	200	170	315	165	280
A in %	6,3	6,5	7	38	35	35,5
$\frac{R_e}{R_m}$	0,82	0,71	0,63	0,1	0,37	0,25
Bruchform	Mischbruch	Mischbruch	Mischbruch	Mischbruch	Mischbruch	Mischbruch

6 Diskussion der Ergebnisse

6.1 Diagramme

Tabelle 3: Literaturwerte.

Probe	**Aluminium**	**Messing**	**Kupfer**	**Stahl**
E in GPa	69	78 - 123	124	190 - 210
$R_{p0,2}$ in MPa	40	70 - 640	60	286 - 500
R_m in MPa	200	230 - 890	400	760 - 1280
A in %	50	1 - 70	55	45 - 65

Die gemessenen Werte weichen größtenteils sehr stark von den Literaturwerten ab. Man erkennt

Tabelle 4: Abweichungen der gemessenen von den Literaturwerten in %.

Probe	**Aluminium**	**Messing**	**Kupfer**	**Stahl**
E	80	91,2	93,3	91,9
$R_{p0,2}$	79,3	85,9	25	26,2
R_m	33	10,7	46,5	12,7
A	86,8	6,6	36,4	35,5

deutlich, dass insbesondere die E-Modul Werte äußerst stark von der Literaturwerten abweichen. Dies liegt wohl hauptsächlich daran, dass für die E-Modul Messung eine sehr präzise Messung der Dehnung erforderlich ist. Es wird davon ausgegangen, dass die Abstandsänderung der Querhaupte der Prüfmaschine gleich der Längenänderung der Probe ist. Eine Messung direkt an der Probe beispielsweise mit einem Laserextensiometer wäre hier wesentlich genauer.
In den Hookschen Geraden der Proben ist außerdem jedes Mal ein Knick zu erkennen. Möglicherweise ist die Probe hier etwas aus der Apparatur abgerutscht. Dass dies aber bei allen Proben an der gleichen Stelle der Fall war, ist äußerst unwahrscheinlich.

Dass die Bruchdehnungen bei Aluminium so stark abweichen, könnte daran liegen, dass die Proben eine Schwachstelle hatte, an der es verfrüht zu einem Bruch kam.
Die Abweichungen bei der Zugfestigkeit sind auch auf verunreinigte Proben zurückzuführen.
Das Ablesen der Werte aus dem Diagramm gestaltet sich außerdem sehr schwierig. Ob man den Wert einen Millimeter weiter rechts oder links abliest, macht schon einen recht großen Unterschied aus.
Weitere Messungenauigkeiten können beim Einspannen der Probe entstehen.

Allgemein hätte man repräsentativere Ergebnisse erhalten, wenn man den Versuch für jede Probe etwa 20mal durchgeführt hätte. Man hätte dann aus den 20 Einzelergebnissen eine Weibull-Verteilung erstellen können, die vermutlich wesentlich näher am Literaturwert gelegen hätte.

6.2 Probenlängen

Zur Berechnung wurde zur Ausgangslänge der Proben die Bruchdehnung addiert. Die gemessenen

Tabelle 5: Längen der Proben in mm.

Probe	**Al Probe 1**	**Al Probe 2**	**Al Probe 3**	**Messing**	**Kupfer**	**Stahl**
gemessen	20,8	21,7	21,0	24,9	25,5	30,8
berechnet	21,3	21,3	21,4	27,6	27,0	29,8

Längen der Proben stimmen recht gut mit den berechneten überein. Die leichten Abweichungen kommen vom Ablesen der Schieblehre, mit der die Proben vermessen wurden und daher, dass nicht immer ganz klar war, wo die eigentliche Probe beginnt und wo der Kopf der Probe beginnt.

Literatur

[1] G. Gottstein, *Physikalische Grundlagen der Materialkunde*, 3. Auflage, Springer-Verlag

[2] Praktikumsskript, *„Zugversuch (ZV)“*

[3] W. Gust, *Skript zur Vorlesung „Einführung in die Metallkunde“ WS 1999/2000*

[4] H. Strunk, *Skript zur Vorlesung „Werkstoffphysik“ WS 2008/2009*

[5] Modellbau-Wiki, http://www.modellbau-wiki.de/wiki/Messing, letzter Zugriff: 4. Juni 2009, 23.00 Uhr