

Praktikum Werkstoffmechanik
Studiengang: Chemie-Ingenieurwesen
Technische Universität München SS 2004

Zugversuch

Oliver Gobin

01 Juli 2004

Betreuer: Dr. W. Loos

1 Aufgabenstellung

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Zugversuch

2.1.1 Einleitung

Ein genormter Prüfkörper, zylindrisch mit verdickten Enden, damit die Einspannung nicht die Verformungseigenschaften beeinflusst wird beim Zugversuch herbeigeholt. Der Prüfkörper wird mit konstanter Geschwindigkeit $d\epsilon/dt$, nicht mit konstanter Kraft oder Spannung, verlängert. Dabei wird die Längung Δl und die dazu notwendige Kraft K fortlaufend registriert.

Das Auftragen der Spannung σ gegen die Dehnung $\epsilon = \Delta l/l_0$ ergibt das technische *Spannungs-Dehnungs-Diagramm*. Die Abbildung 1 zeigt einige Beispiele von realen σ - ϵ -Diagrammen.

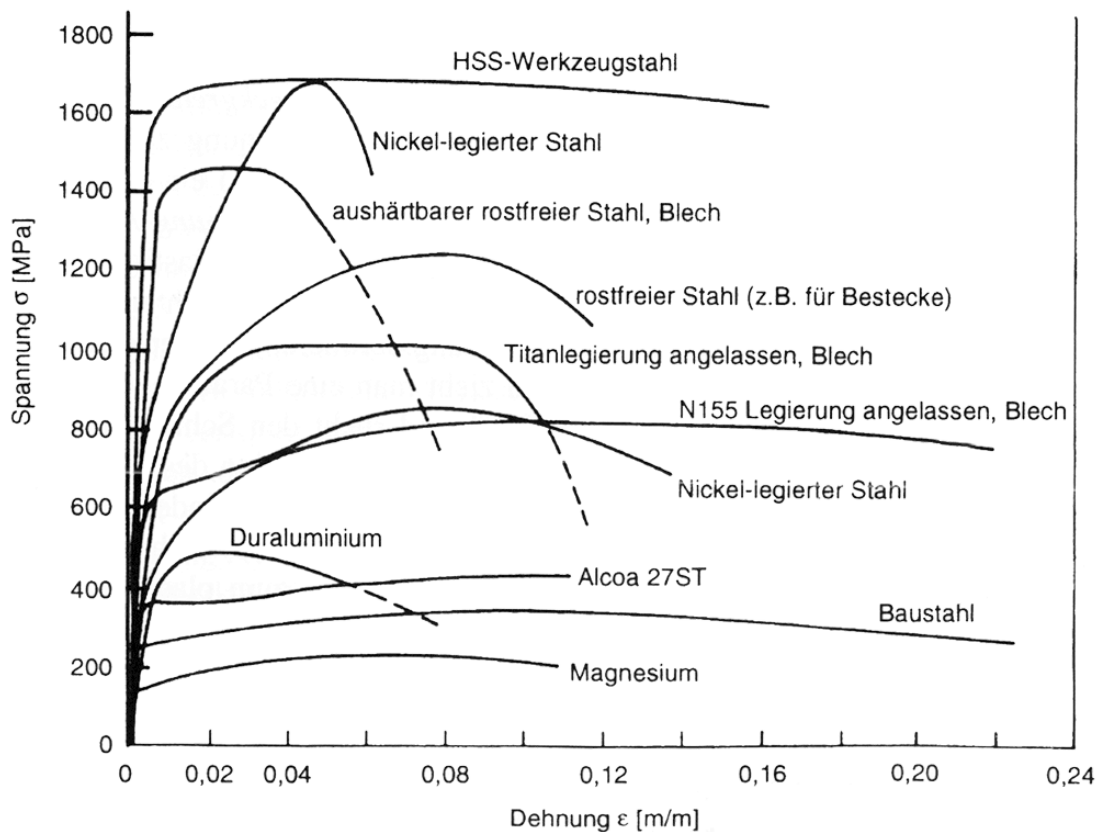
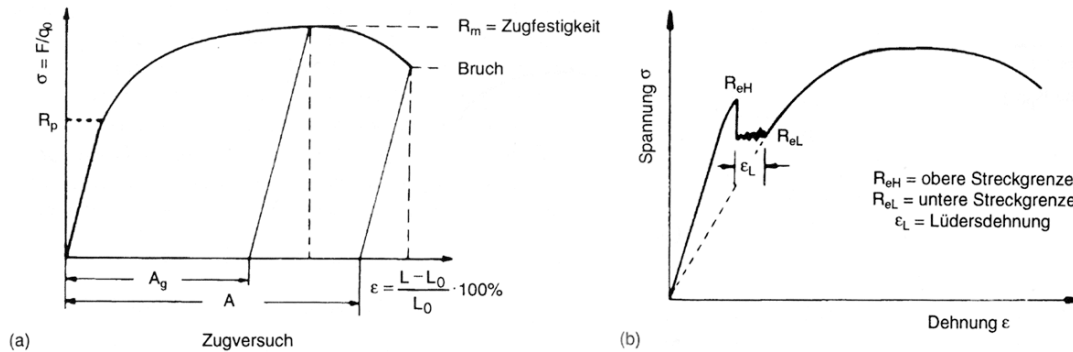


Abbildung 1: Spannungs-Dehnungs-Diagramme einiger technischer Werkstoffe

2.1.2 Spannungs-Dehnungs-Diagramm

Die folgenden Abbildungen zeigen einige schematische Spannungs-Dehnungs-Diagramme. An ihnen sollten die wesentlichen Kennwerte eines solchen Diagramms erläutert werden.



R_p wird als Steckgrenze oder Dehngrenze bezeichnet. Sie kennzeichnet das Ende des elastischen, linearen Bereichs. Nach Überschreiten der Steckgrenze erreicht man bei einer Dehnung A_g , der Gleichmaßdehnung, ein Maximum R_m , das die Zugfestigkeit genannt wird. Man erreicht dort ein Spannungsmaximum, da sich zu diesem Zeitpunkt der Querschnitt der Probe zu verengen beginnt und sich so eine andere wahre Spannung $\sigma^* = \frac{\sigma}{A^*}$ (mit $A^* = \frac{A}{\epsilon+1}$ als wahrer Querschnitt) als die gemessene einstellt. Die Spannung fällt nun bis zur Bruchdehnung A ab.

Die Fließgrenze, Steckgrenze oder Dehngrenze R_p ist unscharf definiert, da der elastisch-plastische Übergang meist kontinuierlich erfolgt. Daher führt man bei kontinuierlichem Übergang eine Spannung $R_{p0,2}$ ein, bei der eine Dehnung von 0,2% nach der Entlastung übrigbleibt. Einen unstetigen Übergang trifft man oft bei unlegierten Stählen an. In diesem Fall beobachtet man eine obere R_{eH} und untere R_{eL} Streckgrenze. In dem Bereich zwischen den beiden Grenzen ist die Spannung weitestgehend konstant, dieses Dehnungsintervall wird *Lüdersdehnung* ϵ_L genannt. Danach erfolgt die normale plastische Verfestigung der Probe.

2.1.3 Mathematische Behandlung

Für die Spannung gilt:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Die Dehnung ϵ ist die relative Änderung der Länge l :

$$\epsilon(\sigma) = \frac{\Delta l(\sigma) - l_0}{l_0} = \frac{l(\sigma)}{l_0} - 1 \quad (2)$$

Welche direkt proportional zur Zeit ist (konstante Längung):

$$\epsilon = \frac{d\epsilon}{dt} \cdot t \quad (3)$$

Für den linearen Bereich bis zur Fließgrenze R_p gilt:

$$E = \frac{d\sigma}{d\epsilon} \quad (4)$$

Diese Steigung der Geraden ist als E-Modul oder Youngscher Modul E_Y bekannt. Physikalisch genauer ist das E-Modul die 2. Ableitung der Bindungsenergie E_b einer zweiatomigen Bindung:

$$E_Y = \frac{d^2 E_b}{d(a/a_0)^2} = \frac{d^2 E_b}{da^2} \cdot a_0^2 \quad (5)$$

Wobei a für den Bindungsabstand und a_0 für den Bindungsabstand bei minimaler Bildungsenergie stehen (vgl. Lennard-Jones-Potential).

Für diesen linearen Bereich gilt das *Hooksche Gesetz* (einachsiger Spannungszustand):

$$\sigma = \frac{F}{A} = E_Y \cdot \epsilon \quad (6)$$

Die Zähigkeit G_C ist definiert als die insgesamt erforderliche Arbeit, die man in ein Material (pro Volumeneinheit) hineinstecken muß bis es bricht. Es gilt:

$$G_C = \frac{1}{V} \int_{l_0}^{l_{bruch}} F \cdot dl = \int_0^{\epsilon_{bruch}} \sigma \cdot d\epsilon = \frac{E \cdot \epsilon_{bruch}^2}{2} = \frac{\sigma_{bruch}^2}{2E} \quad (7)$$

Dies entspricht der Fläche unter der Spannungs-Dehnungskurve. Bei spröden Materialien ist ϵ_{bruch} klein, daher haben spröde Materialien eine kleine Zähigkeit.

2.2 Kerbschlagzähigkeit

Die Kerbschlagzähigkeit gibt Aufschluß darüber, wie der Stahl zum Sprödbbruch oder Trennbruch neigt. Die schlagartige Beanspruchung führt zu einer hohen Verformungsgeschwindigkeit und die Kerbe führt zu einem mehrachsigen Spannungszustand. Diese beiden Umstände fördern die Neigung zum Trennbruch, der ein hohes Risiko darstellt, weil er ohne warnende Verformung eintritt. Bezieht man die im Versuch verbrauchte Schlagarbeit in Nm auf die Fläche des Kerbgrundes, so erhält man die Kerbschlagzähigkeit in Nm pro mm². Diese hängt nicht nur von der Stahlart, sondern auch vom Gefüge (Vorbehandlung) des Stahls ab.

Eine große Rolle spielt die Abhängigkeit von der Temperatur. So verliert z.B. ein zäher Flusstahl bei einer Temperatur von -35°C etwa die Hälfte seiner Kerbschlagzähigkeit. Hohe Temperaturen können zu ähnlichen Verlusten führen.

3 Versuchsdurchführung

3.1 Zugversuch

Einen St53 / St370 Baustahl mit einer Zugfestigkeit von 530 N/mm² und einer Streckgrenze von 370 N/mm² haben wir bis zum Bruch gedehnt und den Spannungsverlauf aufgenommen. Die Probe war eine sog. proportionale Probe mit einer 5 fachen Länge L_0 bezüglich des Durchmessers d_0 ($L_0 = 30$ mm, $d_0 = 6$ mm).

3.2 Kerbschlagversuch

Wir haben den Versuch an insgesamt 8 Proben bei 4 verschiedenen Temperaturen durchgeführt. Die Proben waren Quaderförmig und hatten die Abmessungen 55x10x10 mm und waren an einer Seite in der Mitte mit einer V-Förmigen 2 mm tiefen Kerbe versehen.

Die Messapparatur bestand aus einem Gestell, an dessen Mitte ein massiges Pendel beweglich schwingend aufgehängt war. Die Probe wurde so eingespannt, dass das Pendel mit 300 J auf die gegenüberliegende Seite der Kerbe einwirkte. Seine verbleibende Energie wurde im mehr oder weniger großen Ausschlag auf der anderen Seite sichtbar. Dieser Ausschlag wurde gemessen und an der Skala abgelesen.

4 Auswertung und Diskussion

4.1 Zugversuch

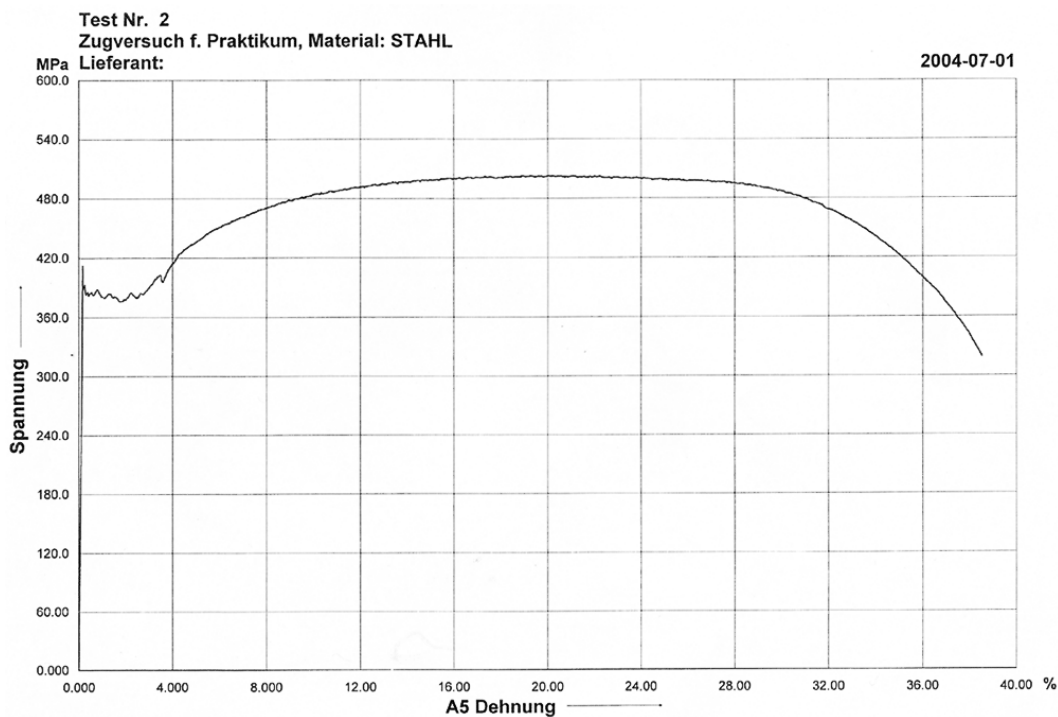


Abbildung 2: Spannungs-Dehnungs-Diagramm vom Zugversuch

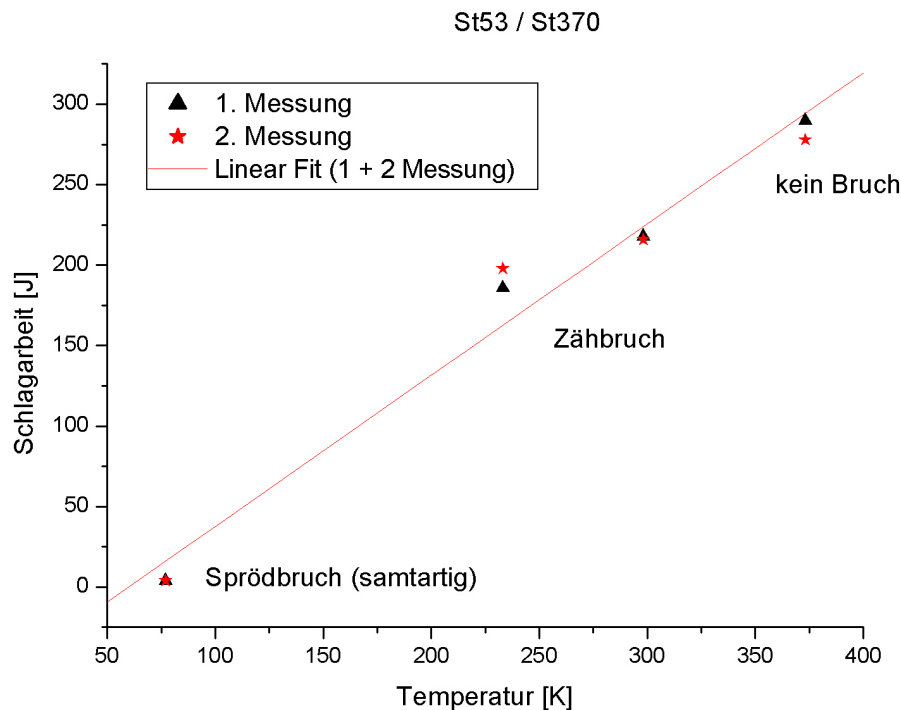
Die aufgenommene Spannungsdehnungskurve (Abb. 2) ist typisch für einen zähen Stahl (hohe Bruchdehnung) und besitzt eine ausgeprägte Streckgrenze bei $R_{eH} = 410$ MPa mit einer Lüdersdehnung von etwa $\epsilon_L = 2\%$.

Die Gleichmaßdehnung A_g liegt bei etwa 20% die Bruchdehnung bei fast 39%. Für das elastizitäts Modul ergibt sich ein Wert von:

$$m = E = \frac{(360 - 120) \text{ MPa}}{(0.145 - 0.045)\%} = 2400 \text{ MPa} = 2,4 \text{ kN/mm}$$

Der engste Durchmesser nach dem Bruch war $d_u = 3,3$ mm. Der Bruch war kein reiner Bruch sondern ein Mischbruch (Teller-Tassen-Bruch), der eine Überlagerung von Normal und Scher-
spannung darstellt.

4.2 Kerbschlagversuch



Die in der obigen Abbildung geplote Zunahme der Schlagarbeit und damit der Kerbschlagzähigkeit mit der Temperatur konnten wir feststellen. Der hier dargestellte lineare Zusammenhang ist nicht korrekt, aber aufgrund der wenigen Daten ist die wahre Kurve nicht zu erkennen. In Wirklichkeit verhält sich die Kerbschlagzähigkeit etwa wie ein Polynom dritten Grades mit einem Wendepunkt der hier bei etwa 200 K liegen würde.

Die Schlagarbeit ist gleichzusetzen mit der Umwandlung eines Teils der kinetischen Energie des fallenden Pendels in Bremsenergie bedingt durch den Schlag gegen die Probe. Eine Probe die nicht bricht, nimmt normalerweise die gesamte kinetische Energie des Pendels auf, die vierte Probe, die auf 373,15 K temperiert wurde, bremste das Pendel allerdings nicht vollständig ab, sondern nur auf etwa 20 J, was durch die Geometrie der Einrichtung und der Länge der Probe zurückzuführen ist: die Probe konnte sich soweit biegen, ohne zu brechen, bis sie nicht mehr von der Einrichtung gehalten wurde.

St53 / St370 ist ein zäher Stahl und ist damit normalerweise nicht Bruchempfindlich, d.h. man benötigt eine hohe Energie zum Bruch. Man erkennt allerdings eindeutig den Abfall der benötigten Schlagenergie mit fallender Temperatur. Bei 77 K wird der Stahl extrem Spröde und bricht bei kleinster Beanspruchung. Der grösste Mikroriss wird schlagartig durch den gesamten Querschnitt der Probe wachsen und einen gleichförmigen, samtartigen Bruch hervorrufen. Bei -40 °C bricht nur ein Teil der Probe spröde der andere zäh, was zu einer größeren Kerbschlagzähigkeit führt. Bei Raum- und höherer Temperatur verhält sich der St53 vollständig zäh, wobei bei 100 °C die 300 J des Pendels nicht ausgereicht haben um den Stahl zu brechen.