



Werkstoffe

für TGTm

Inhaltsverzeichnis

Lehrplan TGTm von 20101	Längenänderung $\Delta L \leftrightarrow$ Dehnung ϵ3	Einschnürung.....4
Bezeichnungen metallischer Werkstoffe . 2	Spannungs-Dehnungs-Diagramm.....3	Kennwerte aus dem Zugversuch.....4
Zugversuch3	mit ausgeprägter Streckgrenze.....3	Streckgrenze R_e – Dehngrenze $R_{p0,2}$...4
Zweck.....3	ohne ausgeprägte Streckgrenze.....3	Elastizitätsmodul E4
Durchführung.....3	Vorgänge im Werkstoff.....4	Zugfestigkeit R_m4
Zugprobe.....3	elastische Verformung.....4	Bruchdehnung A4
Ablauf.....3	Einschwingverhalten.....4	Brucheinschnürung Z4
Standardisierung.....3	plastische Verformung.....4	Streckgrenzenverhältnis VS4
Zugkraft $F \leftrightarrow$ Zugspannung σ_Z3	Kaltverfestigung.....4	Zugversuch im Mindmap5

Lehrplan TGTm von 2010

Richtziele des Unterrichts in Jahrgangsstufe TGTm-E

In der Eingangsklasse planen und realisieren die Schülerinnen und Schüler den Herstellungsprozess von Bauteilen. Sie berücksichtigen hierbei Konstruktion, Werkstoffeigenschaften und Fertigungsverfahren.

T 3	Werkstoffe	12 Stunden
	Die Schülerinnen und Schüler unterscheiden Stahlarten, Gusswerkstoffe und NE-Metalle bezüglich ihrer Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten und wenden die Systematik der Werkstoffnormung an. Aus dem Zugversuch ermitteln sie charakteristische Werkstoffkennwerte und normieren diese. Bei der Werkstoffauswahl beachten sie die Wiederverwertbarkeit und Umweltaspekte.	
	Werkstoffnormung	Vgl. LPE 7 Realisierung eines technischen Produkts
	Zugversuch	
	– Proportionalstab	
	– Kraft-Verlängerungs-Diagramm	
	– Spannungs-Dehnungs-Diagramm	
	– elastische und plastische Verformung	
	– E-Modul	
	– R_e , $R_{p0,2}$, R_m	
	– Bruchdehnung	
	– Festigkeitsklassen von Schrauben	



Bezeichnungen metallischer Werkstoffe

1) Einleitung ?



Zugversuch

Zweck

dient der Ermittlung des Werkstoffverhaltens bei einachsiger Zugbeanspruchung und liefert wichtige Werkstoffkennwerte, die auf viele andere Belastungsarten übertragbar sind.

Durchführung

Zugprobe

wegen ihres Einflusses auf das Ergebnis sind genormt:
- Form (rund oder flach)
- Zylinderköpfe (glatt oder Gewinde)
- Oberfläche (Rz 6,3)
- Längenverhältnis (Proportionalstäbe)

Table with 2 columns: Kurzer Prop.-Stab (L0/d0 = 5, L0/S0 = 5,65) and Langer Prop.-Stab (L0/d0 = 10, L0/S0 = 11,3)

Ablauf

man zieht die Zugprobe langsam und ruckfrei bis zum Bruch und zeichnet die Kraft F und Länge L auf.

Standardisierung

Werkstoffkennwerte werden unabhängig von den Maßen des Bauteiles angegeben.

Zugkraft F ↔ Zugspannung σz

σz = F/S0 %in [N/mm² = MPa] S0 = Anfangsquerschnitt

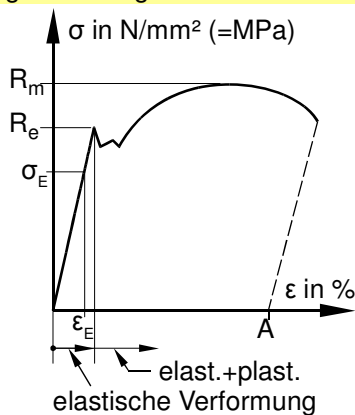
Längenänderung ΔL ↔ Dehnung ε

ε = (L - L0) / L L0 = Anfangsmesslänge

Die Werte werden aufgezeichnet im

Spannungs-Dehnungs-Diagramm

mit ausgeprägter Streckgrenze



3) Beschreiben Sie den Kurvenverlauf (makroskopische Vorgänge)

4) dann Bezug auf die mikroskopischen Vorgänge

AB verschiedene gezogene Zugproben

Quellen: DIN EN 10002:2001 Metallische Werkstoffe - Zugversuch in [Klein 2008], [Bargel/Schulze 2005], [Hering 1992],

1) Ein: Bauarbeiter unter schwebender Last; Bungeespringen Was gibt dennoch einigermaßen Sicherheit?

2) Aufbau und Ablauf mündlich entwickeln, anschließend Zugversuch in der Werkstatt durchführen oder Video zeigen.

Prüfungen sind lange üblich, z.B. enthält [Musschenbroeck 1729] Hinweise zu Prüfmaschinen und Spannungsprüfungen bei Drähten [Ferguson 1992] S.204, Fußnote 9). Ein anderes Beispiel ist [Agricola 1548]

[EuroTabM] „Zugversuch“

FO verschiedene Zugproben

FO Einfluss des Längenverhältnisses auf die Bruchdehnung

AM Papierstreifen

FO gespannte und umgeformte Gewinde

Abhängig vom Längenverhältnis ist z.B. die Bruchdehnung A, weil die Verformung nach der Einschnürung nicht von der Anfangslänge abhängt.

Die Proportionalitätsfaktoren k = 5,65 bzw. 11,3 ([Bargel/Schulze 2005] S.98; [EuroTabM] 44. Auflage, Fußnoten Seite 130) für beliebige Querschnitte wurden im Abi bisher nicht verwendet, sondern nur L0/d0 = 5 bzw. L0/d0 = 10 für runde Proportionalstäbe, gelegentlich mit Umrechnung in entsprechende Flachproben.

Die Proportionalitätsfaktoren k = 5 für runde Stäbe und k = 5,65 für beliebige Stäbe können ineinander umgerechnet werden.

L0/S0 = (L0/d0) / (sqrt(pi/4 * d0^2)) = 5 / (sqrt(pi/4)) = 5,642 ~ 5,65

Langsam und ruckfrei wegen dynamischer Kräfte, vergleiche: Spalten von Holz

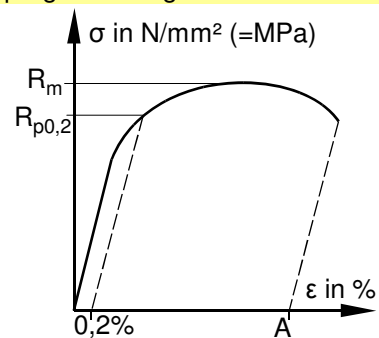
Damit die Ergebnisse unabhängig von der Probengröße werden, werden sie auf Querschnittsfläche und Länge der Probe bezogen. Tatsächlich sind die Ergebnisse verschiedener Proben nicht genau vergleichbar, weil die durchaus vorhandenen Einflüsse von Oberfläche und Längenverhältnis dabei vernachlässigt werden. So sind im Tabellenbuch die Streckgrenzen Rs von Stahl abhängig von der Erzeugnisdicke angegeben, und bei der Bruchdehnung gibt man das Längenverhältnis als Index an (z.B. As oder A10), weil es einen Einfluss hat.

Andere Beispiele: zulässige Stromdichte Spannung ist auf Fläche bezogene Kraft.

Ingenieure rechnen mit Zugspannungen, die auf den Anfangsquerschnitt bezogen sind, und ignorieren, dass der Querschnitt kleiner und die tatsächlichen Spannungen größer werden, weil man Bauteile kaum noch beeinflussen kann. Dagegen betrachten Festkörperphysiker bei der Untersuchung von Werkstoffverhalten die tatsächlichen Spannungen im engsten Querschnitt.

100% = 1, kann in der Formel auch entfallen

ohne ausgeprägte Streckgrenze



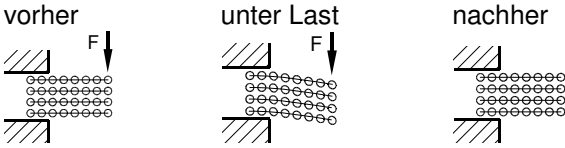
AB SDD kombiniert mit Gitterbildern



Vorgänge im Werkstoff

Metallische Gitter sind einfach angeordnet

elastische Verformung



Werkstoff verhält sich wie eine Feder und nimmt nach Entlastung die ursprüngliche Form wieder an.

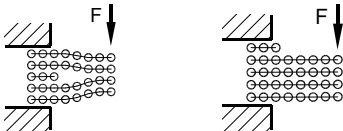
Einschwingverhalten

plastische Verformung



Werkstoff wird bleibend verformt

Kaltverfestigung.



Gitterfehler werden geschlossen, die Streckgrenze eines Metalles steigt beim Umformen (Walzen, Schmieden ..)

Einschnürung

Nach Überschreiten von Rm tritt Einschnürung der Probe ein. Die Kraft im Diagramm sinkt bis zum Bruch.

Kennwerte aus dem Zugversuch

Es gilt das Hooke'sche Gesetz: sigma = E x epsilon

Streckgrenze Re – Dehngrenze Rp0,2 = Grenze des elastischen Bereiches [N/mm² = MPa]

Elastizitätsmodul E

[kN/mm²] (E-Modul)

- ist ein Maß für die Steifigkeit
- E = sigma_E / epsilon_E mit einem Wertepaar (sigma_E; epsilon_E) von der Hooke'schen Geraden

Zugfestigkeit Rm

in [N/mm² = MPa] - das Überschreiten von Rm führt zum Bruch

Bruchdehnung A

in [% oder ohne Einheit] - Bleibende Verformung nach dem Bruch

Brucheinschnürung Z

=> TabB

Streckgrenzenverhältnis Vs

Vs = Re / Rm

Vertiefung

1) Ordnen Sie Kurven mit verschiedenen Streckgrenzenverhältnissen zu: Bruchgetrenntes Pleuel, FO Tiefziehen

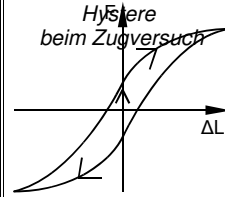
Video Zugversuch

Zeigt Durchführung des Zugversuches und Ermittlung der Kennwerte

- 0050 Universalprüfmaschine
0075 genormter Prüfstab mit Gewindeköpfe
0100 genormte Geschwindigkeit, Dehnung, Schleppzeiger für Fm
0147 Einschnürung

Seitenumbruch

Tatsächlich ist die elastische Verformung im oberen Bereich nicht genau linear. Doch die Abweichungen von der Geraden sind schwer zu ermitteln und meist vernachlässigbar, so dass man meist auf der Ermittlung der Proportionalitätsgrenze verzichtet.



Auch beim elastischen Verformen von Material kommt es durch innere Reibung zu einer Hysterese [Bargel/Schulze 2005] S.112. Deshalb wollen Radfahrer möglichst steife Fahrradbauteile.

AB Hysterese

Man unterscheidet: (1) linear elastisches Verhalten, für das das Hooke'sche Gesetz gilt (gilt für alle Festkörper für kleine Verformungen bis epsilon=0,1%); (2) nicht-linear-elastisches Verhalten, z.B. Gummi und (3) anelastisches Verhalten (elastische Hysterese): der Werkstoff gibt nicht mehr die ganze Verformungsenergie zurück [Hütte 29] D42. [Hering

1992] S.92.

Mit der Dehnung epsilon ist eine Verringerung des Querschnittes verbunden. Ihr Maß ist die Querkürzung epsilon_q bzw. die Poisson- oder Querdehnzahl nu. Sie beträgt für Stahl nu = 0,3 [Decker 2009] S.30.

Die Einschwingphase bei Werkstoffen mit ausgeprägter Streckgrenze entsteht nach der 2011 geltenden Theorie durch Zwischengitteratome (C, N), die etwas größer sind als die Zwischengitterplätze und das Wirtgitter verzerren. Durch die energetische Situation bewegen sich die ZGA bei angelegter (Zug-)Spannung auf Versetzungen zu, bilden dort s.g. Cottrell-Wolken und blockieren Versetzungen (erhöhen Streckgrenze). Wenn endlich die Versetzung eintritt, verlieren die Fremdatomwolken ihre Wirkung und die relativ hohe Spannung dehnt den Werkstoff. Wenn man ihn altert, kann der Effekt wieder auftreten. [de.wikipedia.org/.../Cottrell-Wolke], [Bargel/Schulze 2005] S.105f.

Umklappen eines nichtorthogonalen Gitters ist ebenfalls möglich. Gleitebenen gehören zu den typischen metallischen Eigenschaften. Sie werden möglich durch Isotropie (richtungsunabhängige Bindung) der Metalle, die zu einfachen und dichten Gittern führt.

Die Verschiebung endet an den Korngrenzen oder an Gitterfehlern. Ohne Gitterfehler wären Metalle praktisch nicht verformbar bzw. bearbeitbar. Bei monokristallinem Fe wird die Rm approx 14000N/mm² errechnet, tatsächlich ist Rm (Fe) approx 150 N/mm². Die Verschiebung entlang der Gitterebene muss also abgeschwächt sein.

Bruchmechanismen siehe [SdW] 01/2000

Die Spannung im Diagramm sinkt nach Rm zwar augenscheinlich, die tatsächliche Spannung im engsten Querschnitt steigt aber weiter an. Es tritt auch noch Kaltverfestigung auf.

[EuroTabM] „Zugversuch“

DIN EN 10002:2001 unterscheidet Obere (ReH) und untere (ReL) Streckgrenze [Klein 2008], [Bargel/Schulze 2005]. Ich verwende die obere Streckgrenze Re wie in [EuroTabM]. Rp auch technische Elastizitätsgrenze.

[EuroTabM] „Elastizitätsmodul“; Tabellenwerte -> [Hütte 29] E66 und D44

Der (!) E-Modul ist der Proportionalitätsfaktor zwischen Normalspannung und Dehnung. Bildlich ist er eine Federkonstante oder die Steigung der Hooke'schen (!) Geraden und damit die gedachte Spannung für 100% Dehnung. Vergleiche auch Schubmodul G für Schubspannungen und Kompressionsmodul K für hydrostatischen Druck.

E-Modul aus SDD ermitteln (HP96/97-3)

Rm ist eine rechnerische Größe mit dem Anfangsquerschnitt S0, die für Konstruktionen zweckmäßig ist. Will man das Werkstoffverhalten untersuchen, legt man den tatsächlichen Querschnitt zugrunde und erhält eine wesentlich größere Spannung.

Bruchdehnung A5 oder A11,2 gibt das Längenverhältnis der Probe an (starker Einfluss).

FO Zugprobe: Folgen des Längenverhältnisses

[Bargel/Schulze 2005] S.96: Die Rückfederung parallel zur Hooke'schen Geraden ist eine Vereinfachung, die bei höheren Temperaturen oder Kriechversuchen nicht zulässig ist.

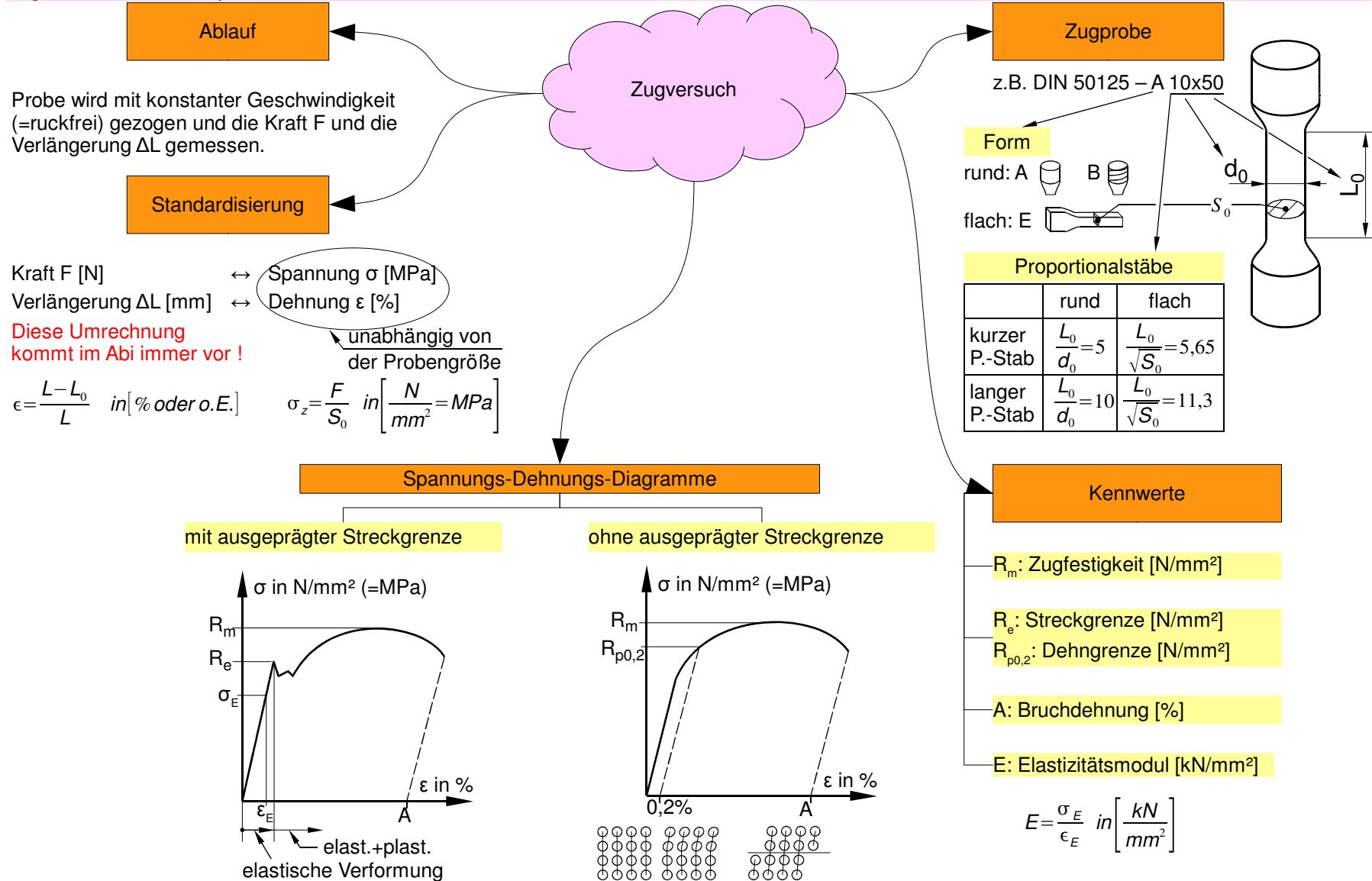
Verhältnis kleinster Querschnitt nach Bruch zu Anfangsquerschnitt. Verformungskennwerte (Bruchdehnung, Brucheinschnürung, Dehnung bei Höchstkraft) dienen nicht der Konstruktion, aber der Beurteilung des Werkstoffverhaltens.

Wird benötigt bei:

- Festigkeitsklassen von Schrauben
- Umrechnung von Brinellhärten auf Rm
- Anhaltswert der Verformbarkeit für Umformverfahren

Gespeicherte Energie im elastischen Bereich, Verformungsenergie im plastischen Bereich (Zähigkeit) und freiwerdende elastische Energie beim Bruch berechnen. [Hering 1992] S.92

- 0160 Rm = Fm / S0
0170 Spannungs-Dehnungs-Diagramm
0185 ReH, ReL, Rm
0199 Diagrammschreiber, Kraftanzeige
0234 ohne ausgeprägte Streckgrenze, Rp0,2, Fm und epsilon-Anzeige; mehrmaliges Be- und Entlasten mit steigender Kraft zur Ermittlung von Rp0,2
0330 Zeichnerische Ermittlung
0340 Bruchdehnung messen
0376 Vergleich St-60 und St-37 im Spannungs-Dehnungs-Diagramm mit Kraftanzeige





Literaturverzeichnis

- Agricola 1548: Georg Agricola, De Re Metallica libri XII - 12 Bücher vom Berg- und Hüttenwesen, fourierverlag Wiesbaden, 2003?
- Bargel/Schulze 2005: H.-J. Bargel, G. Schulze, Werkstoffkunde, Springer Berlin, 2005
- Decker 2009: Decker et al., Maschinenelemente, Carl Hanser Verlag München, 2009
- EuroTabM: Ulrich Fischer ua., Tabellenbuch Metall, Europa-Lehrmittel Haan-Gruiten,
- Ferguson 1992: Eugene S. Ferguson, Das innere Auge - von der Kunst des Ingenieurs, Birkhäuser Basel, 1993
- Hering 1992: Ekbert Hering ua., Physik für Ingenieure, vdi verlag Düsseldorf, 1992
- Hütte 29: Ahrendts ua., Hütte - die Grundlagen der Ingenieurwissenschaften, Springer Berlin, 1989
- Klein 2008: Dieter Alex ua., Klein Einführung in die DIN-Normen, Beuth Verlag Berlin, 2008
- Musschenbroeck 1729: Pieter van Musschenbroek, Dissertationes physicae experimentalis et geometricae de magnetete, Leyden, 1729
- SdW: wechselnde Autoren, Spektrum der Wissenschaft,