



Praktikum „Zahnärztliche Werkstoffkunde“

Mechanische Werkstoffprüfung I (Zugversuch)

Werkstoffgruppe: Legierungen

1. Einleitung

Zur Beurteilung der Eigenschaften bei mechanisch-technologischen Werkstoffprüfungen werden die Werkstoffe Untersuchungen unterzogen, denen der Zerstörungsvorgang zugrunde gelegt ist. Dies wird mittels standardisierter Prüfkörper und genormter Prüfmaschinen durchgeführt. Mit derartigen Prüfungen ist der Einfluss der Werkstückform nicht zu erfassen. Daher lassen sie nur begrenzte Aussagen über das Festigkeitsverhalten einer Krone oder Prothese zu. Die Ergebnisse geben jedoch wertvolle Hinweise auf die zu erwartende Festigkeit unter Beanspruchung. Nach Zeit und einwirkender Kraftrichtung lassen sich die mechanischen Prüfungen in *statische* und *dynamische* Untersuchungen gliedern. Die Art des Prüfverfahrens hat wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse der Untersuchung.

Statische Untersuchungen: ruhende oder stetig anwachsende Kraftwirkung (Zugversuch, Druckversuch, Biegeversuch, Scherversuch, Härtemessung)
Dynamische Untersuchungen: stoß- bzw. schlagartig oder schwingende, wechselnde Kraftrichtung (Schlagversuche, Schlaghärte, Dauerbiegeversuch)

Die einfachste Methode zur Ermittlung von Werkstoffeigenschaften ist der Zugversuch. Er gehört zu den statischen Festigkeitsprüfungen. Setzt man einen Körper Zugkräften aus, so verlängert er sich in Zugrichtung. Ein stabförmige Probe wird in eine Zerreißmaschine eingespannt und kontinuierlich auseinandergezogen, wobei die einwirkende Kraft (F) und die Längenänderung (Δl) ständig gemessen werden. Trägt man die korrespondierenden Werte in einem rechtwinkligen Koordinatensystem auf, kann der Verlauf des „Beanspruchungs-Verformungsvorganges“ im Diagramm dargestellt werden (Abb. 1).

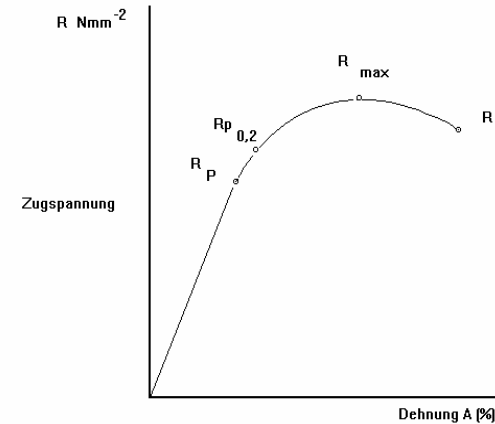


Abb. 1 Spannungs-Dehnungs-Diagramm einer plastischen Verformung bis zum Bruch
 R_P : Proportionalitätsgrenze
 $R_{P0,2}$: 0,2% Dehngrenze
 R_{max} : Zugfestigkeit
 R_B : Reißfestigkeit

Aus der Beziehung zwischen Ursache und Wirkung lassen sich die gesuchten Werkstoffkenngrößen ableiten. Hierbei ist anfangs im Diagramm eine Gerade zu erkennen, welche mit einer mathematischen Gleichung (*Hook'sches Gesetz*) beschrieben werden kann. Die Längenänderung (Δl) ist von der einwirkenden Kraft (F), der Ausgangslänge der Probe (l_0), dem Probenquerschnitt (q) und dem Proportionalitätsfaktor, welcher Elastizitätsmodul (E) genannt wird, abhängig :

Gleichung 1:
$$\Delta l = \frac{l_0}{q \cdot E} \cdot F$$

Meistens bezieht man die Längenänderung (Δl) auf die Ausgangslänge (l_0) und die Kraft (F) auf den Probenquerschnitt (q). Der Quotient $\Delta l/l_0 = A$ heißt Dehnung (relative Dehnung), der Quotient $F/q = R$ heißt Zugspannung. Anhand dieser Beziehungen erhält man durch Umstellen die von Probenabmessungen freie, allgemeine Schreibweise des *Hook'schen* Gesetzes:

Gleichung 2:
$$R = A \cdot E$$

Der E-Modul hat wie die Zugspannung die Dimension (Nmm^{-2}).



Die so beschriebene Gerade wird *Hook'sche* Gerade genannt und beschreibt den Anteil der elastischen Verformung des Prüfkörpers.
 Die vollständige mathematische Erfassung der sich anschließenden Kurve ist kaum möglich. Diese Kurve charakterisiert den Anteil der plastischen Verformung. Man begnügt sich mit der Angabe einiger charakteristischer Punkte auf der Kurve:

Rp: Proportionalitätsgrenze, bis zu der Proportionalität zwischen Spannung und Dehnung besteht,

Rp 0,2: Spannung, die eine bleibende Dehnung von 0,2% verursacht,

Rmax: Zugfestigkeit; höchste bis zum Bruch auftretende Nennspannung,

Rb: Reißfestigkeit; Spannung im Augenblick des Zerreißen

Bis zur Zugfestigkeit unterliegt die Probe einer Gleichmaßdehnung (gleichmäßige Querschnittsminderung). Beim Erreichen der maximalen Nennspannung tritt an einer nicht definierten, zufällig schwächeren Stelle des Prüfkörpers eine lokale Einschnürung auf.

Der Einfachheit halber wird während des gesamten Versuches die einwirkende Kraft auf den Ausgangsquerschnitt der Probe bezogen. Da mit einer Längenzunahme auch eine Querschnittsabnahme verbunden ist, gibt ein technisches Diagramm die Zugspannung immer zu klein wieder. Wird die wahre Zugspannung aus einwirkender Kraft und tatsächlichem Querschnitt ermittelt, verläuft die Spannungs-Dehnungs-Kurve, vor allem oberhalb der Proportionalitätsgrenze steiler als die technische Kurve. Nach der wahren Kurve nimmt die Zugspannung auch oberhalb der Zugfestigkeit zu, da bei gleicher Kraft der Probenquerschnitt bis zum Bruch abnimmt (Abb. 2).

Der Übergang von elastischer zu plastischer Deformation vollzieht sich an der Elastizitätsgrenze (Proportionalitätsgrenze). Meist ist es schwierig, diesen Übergang exakt festzulegen. Deshalb definiert man als technische Elastizitätsgrenze eine bleibende Dehnung von 0,01 % seltener 0,005 %. Damit ist diese größer als die „wirkliche“ Elastizitätsgrenze. Da die Streckgrenze in den meisten Fällen nicht exakt bestimmt werden kann, ist für die Dehngrenze die Spannung (Rp 0,2) definiert, die zu einer bleibenden Verformung von 0,2 % führt.

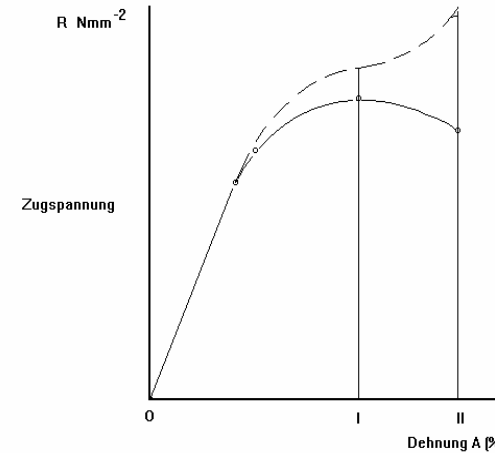


Abb. 2 technische (—) und wahre (- - -) Spannungs-Dehnungs-Kennlinie
 0I: Gleichmaßdehnung 0II: Einschnürdehnung

Die plastische Deformation bei kristallinen Werkstoffen - dazu zählen Metalle und Legierungen - kann durch das Verschieben (**Gleiten**) von eindimensionalen Gitterbaufehler (**Versetzungen**) erklärt werden. Die plastische Verformung eines Kristalls erfolgt durch ein Abgleiten von Atomschichten längs bestimmter kristallographischer Ebenen und Richtungen infolge der Einwirkung von Schubspannungen. An der Oberfläche entstehen dabei Gleitstufen, die insbesondere an polierten Proben als Gleitstufen bzw. -bänder sichtbar werden.

Begriffe:

- Festigkeit: innerer Widerstand eines Körpers gegen elastische und plastische Deformierung und Zerstörung des Gefüges durch Einwirkung äußerer oder innerer Kräfte,
- Härte: Widerstand der Oberfläche eines Körpers gegen das Eindringen eines anderen, härteren Körpers,
- Elastizität: Eigenschaft eines Körpers, durch Belastung entstandene Formänderungen rückgängig zu machen, äußere und innere (Gefüge) Ausgangsform werden wieder hergestellt (beachte: Prothesenklammern),
- Plastizität: Eigenschaft, nach meist größeren Belastungen, Formänderungen beizubehalten,
- E-Modul: Maß für den materialspezifischen Widerstand gegen elastische Deformation eines Körpers (Steifigkeit)

2. Versuchsanleitung



Ziel: Kennenlernen unterschiedlicher Dentallegierungen, ihrer mechanischen Parameter und deren Relevanz für die zahnärztliche Praxis

Methode: Universalfestigkeitsprüfmaschine **TIRAtest 2720** und Auswerteprogramm; Vorkraft 50 N; Vorschub 1,5..5 mm/min

Aufgabe: Erfassung charakteristischer Parameter unterschiedlicher Legierungen unter Zugbeanspruchungen bis zum Bruch; Darstellung der Spannungs-Dehnungs-Diagramme am Monitor und auf den Auswerteprotokollen; Vergleich der Ergebnisse (Zahlenwerte) mit den Herstellerangaben, Skizzieren typischer Diagramme auf Protokoll mit Benennung charakteristischer Punkte
 Ermittlung des Elastizitätsmoduls mit Hilfe eines Feindehnungsaufnehmers.

Selbständige Skizze eines Spannungs-Dehnungs-Diagrammes; Auftragung und Benennung aller charakteristischen Punkte; einzeichnen des elastischen und des plastischen Bereiches;
 Welcher Abschnitt im Koordinatensystem entspricht der Dehnung (A) bei R_{max} und welcher bei R_{Bruch} ?

Legierung oder Metall	Zugfestigkeit in Nmm^{-2}	Nicht-proportionale Dehnung bei Höchstkraft (Ag) in %	Bruchspannung in Nmm^{-2}	Gesamtdehnung bei Höchstkraft (Agt) in %	E- Modul in Nmm^{-2}



Fehlerbetrachtung: Welche Fehler beeinflussen die Meßwerte?