

Der Prüfbericht

Zum Verständnis der technischen Begriffe möchten wir hier auf das Glossar auf dem Prüfbericht selbst verweisen.

Die Resultate Bruchgrenze, Dehngrenze, Elastizitätsgrenze und Empfehlung werden auf dem Prüf-Bericht sowohl als Spannung in N/mm² aufgeführt, als auch in den gemessenen N und in Prozent (%) bezogen auf die Bruchgrenze. Diese dreifache Auflistung erlaubt ein sofortiges verstehen ohne dass Umrechnungen nötig sind.

Die Spannungswerte (N/mm²) sind interessant, da damit unterschiedliche Durchmesser miteinander verglichen werden können. Die Angaben in Kräften (N) ermöglichen ein zuordnen der Grenzen auf dem Diagramm. Liest man den Wert auf der linken Diagrammseite auf der Skala ab und sucht auf dieser Höhe den Kreuzungspunkt mit der Kurve, so erhält man auch einen optischen Eindruck von der Lage auf der gesamten Kurve. Dieselbe Aussage in Prozentwerten in Bezug auf die Reissgrenze ermöglicht auch ein beurteilen des in der Praxis häufig verwendeten pauschalen Sicherheitsabschlags.

Wie aber werden die auf dem Prüf-Bericht ausgedruckten Werte gefunden? Zunächst werden während des Zugversuchs die Kraft- und die Wegveränderungen gemessen und gespeichert. Das ergibt ausgedruckt die Diagrammkurve.

Bei der gemessenen Verlängerung des Drahtes bis zum Reisspunkt, treten verschiedene Arten von Dehnung auf. Man unterscheidet in reversibler und irreversible oder wie die Normung formuliert in elastische (ΔL_e) und nicht proportionale Verlängerung (ΔL_p).

Belastet man einen Draht nur gering und baut danach die Kraft wieder ab, so hat der Draht am Ende auch wieder seine ursprüngliche Länge. In diesem Fall wurde das Material also nur innerhalb seiner elastischen Dehnung beansprucht. Das ist vergleichbar mit einem Flugzeugflügel oder einem Auto, das nach Gebrauch wieder die gleiche Form hat wie beim Start.

Steigt die Belastung über die Elastizitätsgrenze an, bleibt nach Abbau der Kräfte eine bleibende Verformung (r) zurück. Das ist bei unserem Vergleich mit dem Auto eine Beule. Fährt man mit einem Auto, das eine kleine Beule hat, so treten elastische und plastische Verformung (ΔL_t) gleichzeitig auf. Ist die Beule jedoch sehr groß, ist ein normaler Gebrauch nicht mehr möglich.

Die Normgebung definiert die Elastizitätsgrenze da, wo die nicht proportionale Verlängerung 0,01% der Prüflänge erreicht. Bei unserer Testanordnung mit einer Prüflänge von 50 mm im Längenextensiometer, entspricht das also einer plastischen Verformung von 0,005 mm.

Zur Ermittlung der verschiedenen Dehngrenzen auf der Kraft-Weg-Kurve,

muss zuerst eine Parallele zum Diagrammbeginn gelegt werden. Wir definieren den Beginn dieser Parallelen bei 20% und das Ende bei 40% der maximalen Kraft. Man könnte die Grenzen auch tiefer und enger setzen. Bei tiefliegenden Werten können aber schon kleinste Ungenauigkeiten zu starken Schwankungen führen. Ebenso können eng liegende Grenzen bei weichen Materialien zu starken Schwankungen führen. Mit dem von uns bewusst etwas gross und hoch gesetzten Intervall ist es dafür möglich, all die verschiedenen Materialien die beim Cembalobau vorkommen mit den gleichen Einstellungen zu testen und so eine optimale Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu erzielen.

Diese so definierte Parallele zeigt also eine bestimmte Steigung im Kraft-Weg-Diagramm, die zur Berechnung der Steifigkeit, auch Federkonstante genannt, gebraucht wird. Führt man diese Parallele weiter bis sich die Probe um 1 mm verlängert hat, erhält man die Federkonstante in N/mm. Da die Kraft jedoch sehr vom Durchmesser der Probe abhängig ist, kann man verschiedene Materialien nur bei gleichem Durchmesser vergleichen. Die Federkonstante fliesst in die Berechnung der Inharmonizität ein.

Das Elastizitätsmodul ist eine Materialkennzahl, die die Spannung bei einer Verlängerung der Messlänge um 100% bezeichnet (Federkonstante x Messlänge / Probenquerschnitt).

Das E-Modul wird in der Mensurberechnung gebraucht. Da es sich um eine Kraft pro Querschnitt (Spannung) handelt, kann man die verschiedenen Durchmesser miteinander vergleichen. Dabei stellt man fest, dass das E-Modul sowohl von der Legierung als auch von der Kaltverformung des Materials abhängig ist.

Zur Definition der 0,01%-Elastizitätsgrenze wird nun diese Parallele Linie um 0,005 mm nach rechts verschoben. Der Schnittpunkt ergibt die Elastizitätsgrenze. Genauso definiert man die 0,2%-Dehngrenze ($R_{p0,2}$), nur muss die Parallele um 0,1 mm nach rechts im Diagramm verschoben werden. Da sich die Prozentwerte der nicht proportionalen Dehnung (p) bei uns auf die Messlänge von 50 mm beziehen, sind dies auf unserem Diagramm die gemessenen Verlängerungen von 0,005 und 0,1 mm.

Eine Streckgrenze mit anschliessendem Fliessbereich haben kaltverformte Saitendrähte nicht. Deshalb kann diese nicht definiert werden. Bei Materialien ohne Streckgrenze wird als Ersatz für diese die 0,2%- Dehngrenze berechnet. Diese halten wir für den praktischen Einsatz im Cembalobau für etwas zu grob. Auf der anderen Seite finden wir die Elastizitätsgrenze zu genau. So haben wir eine zusätzliche Grenze ($R_{r0,03}$) ermittelt, die wir bei 0,03% plastischer Dehnung definieren. Diese bezeichnen wir auf dem Diagramm als empfohlene maximale Spannung.

Das kann natürlich nur ein Richtwert sein, der in der Praxis über- oder

unterschiedlichen Materialien besser vergleichen zu können, haben wir die Grenze für diese Empfehlung bei allen Materialien immer gleich gewählt.

Alle vier verschiedenen Grenzen haben wir zur praktischen Anschauung auf dem Prüf-Bericht auch umgerechnet in Mensurlängen von c2 bei einem Kammerton von a1 gleich 415 Hz und bei 440 Hz.