

# Zur Messung der dynamischen Steifigkeit mit Stoßanregung

Martin Schmelzer, Heinrich Bietz

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, Deutschland, eMail: martin.schmelzer@ptb.de

## Einleitung

Die Norm ISO 140-11 [1] beschreibt die Modifikation des Normhammerwerks für dessen Anpassung an reale, gehende Personen. Für das dabei zu verwendende Unterlegmaterial werden bestimmte Eigenschaften gefordert, die gemäß ISO 9052-1 [2] zu messen sind. Das dort festgelegte Verfahren umgeht Nichtlinearitäten des Werkstoffs durch Extrapolation auf die Anregungsamplitude Null. Bei der Anwendung unter dem Hammerwerk treten jedoch erhebliche Verformungen auf, so daß die zuvor genannte Beschreibungsmethode unzureichend erscheint.

Es wurde darum ein anwendungsnahes Verfahren gesucht, mit dem die Werkstoffeigenschaften unter Berücksichtigung von Nichtlinearitäten gemessen werden können. Hier werden die bisherigen Untersuchungen zur Materialdämpfung und zu Umwelteinflüssen dargelegt.

## Dämpfungseigenschaften

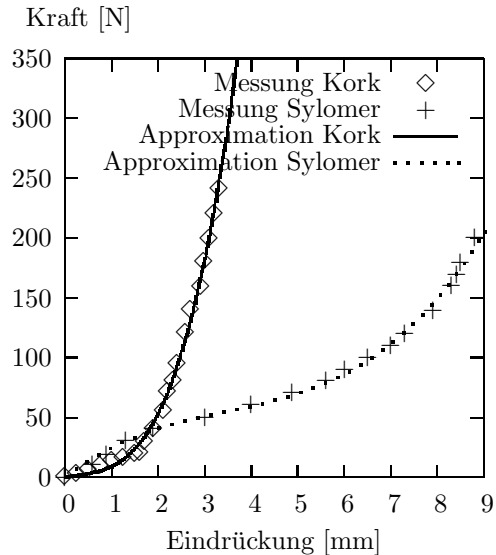
Bei früheren Untersuchungen an linear visko-elastischen Materialien [3] war es nicht möglich gewesen, die Dämpfungseigenschaften von Werkstoffen aus Stoßexperimenten zu ermitteln. Hier wird als neuer Ansatz ein einfaches Modell benutzt, um die Größenordnung der Dämpfungseigenschaften im Vergleich zwischen einer dynamischen und einer statischen Belastung darzustellen.

Beide Experimente benutzen dieselbe Geometrie: Ein Hammer des Normhammerwerks verformt die auf einer festen Unterlage liegende Probe. Einmal fällt der Hammer, dessen Beschleunigung gemessen wird, aus einer bestimmten Höhe auf die Probe. Im statischen Fall wird der Hammer mit Gewichten beladen und die Eindrückung gemessen. Für den Vergleich wird die statische Belastungsform in eine dynamische umgerechnet. Der Vergleich selbst wird dann mittels der maximalen Beschleunigung während eines Stoßverlaufs ausgeführt. Die Untersuchungen werden an den Materialien "Sylomer grün" (Dicke 13 mm) und einem Kork-Gummi-Schrot (5 Lagen, gesamte Dicke 16 mm) ausgeführt.

Abbildung 1 zeigt die gemessenen statischen Federkennlinien der beiden Materialien und Interpolationen mit Polynomen der Ordnung drei. Die Nichtlinearität des Materialverhaltens ist schon hier im statischen Fall deutlich sichtbar. Für den auf die Probe fallenden Hammer lautet die Bewegungsgleichung:

$$m\ddot{x}(t) - F(-x(t)) + mg = 0 \quad (1)$$

mit der Masse  $m$  des Normhammers, der Fallbeschleunigung  $g$ , der Koordinate  $x(t)$  des Hammers über der Probe



**Abbildung 1:** Statische Federkennlinien von "Sylomer grün" und Kork-Gummi-Schrot mit Polynom-Interpolationen; Materialdicken: Sylomer: 13 mm, Kork: 16 mm

und der statischen Federkennlinie

$$F(x) = \sum_{j=1}^3 a_j x^j \quad (2)$$

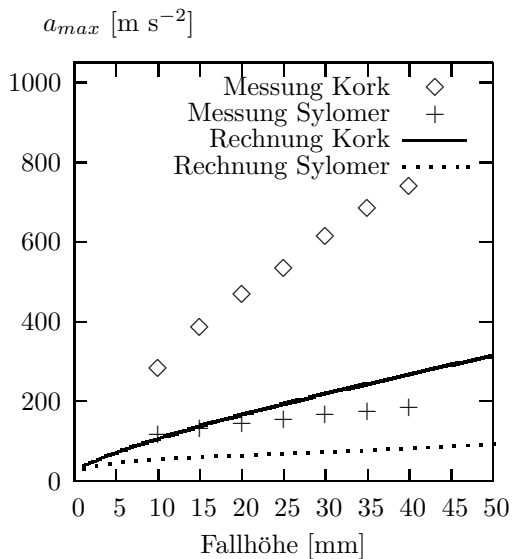
mit materialspezifischen Koeffizienten  $a_j$ . Nach Integration kann man die maximale Beschleunigung des Stoßverlaufs berechnen und diese der tatsächlich gemessenen gegenüberstellen. Abbildung 2 zeigt diesen Vergleich für verschiedene Fallhöhen des Hammers.

Es ist offensichtlich, daß die Beschreibung des Materials durch Gleichung (2) nicht geeignet ist, das dynamische Verhalten abzubilden. Trotzdem läßt sich wegen der Proportionalität der Beschleunigung zur Kontaktkraft festhalten, daß die Dämpfung, d.h. die dynamischen Effekte des Materials bei dieser Belastungsform von der gleichen Größenordnung sind wie die statische Steifigkeit.

Als nächster Schritt wird die Federkennlinie um dynamische Glieder erweitert:

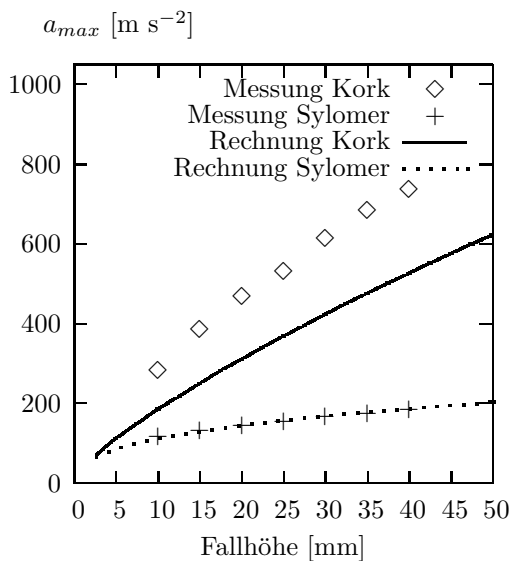
$$F(x) = \sum_{j=1}^3 a_j x^j + b_j \dot{x}^j \quad (3)$$

Dabei bleiben die Koeffizienten  $a_j$  dieselben wie bei der statischen Federkennlinie, da Gleichung (3) für  $\dot{x} = 0$  in Gleichung (2) übergehen muß. Die Koeffizienten  $b_j$  werden jetzt so optimiert, daß die wieder durch Rechnung ermittelte maximale Beschleunigung bestmöglich



**Abbildung 2:** Vergleich der beim Stoß auftretenden maximalen Beschleunigung zwischen dynamischer Messung und dynamisch gerechneter statischer Messung

zu den gemessenen Werten paßt. Das Ergebnis zeigt Abbildung 3: Das Material “Sylomer grün” läßt sich gut beschreiben, das Kork-Gummi-Schrot nicht.



**Abbildung 3:** Vergleich der beim Stoß auftretenden maximalen Beschleunigung zwischen dynamischer Messung und dynamisch gerechneter statischer Messung erweitert um dynamische Glieder

Eine Erweiterung von Gleichung (3) zu höheren Potenzen bringt keine nennenswerte Verbesserung der Approximation gegenüber Abbildung 3.

Eine Reduktion auf lineare Terme in Gleichung (3) und Optimierung von  $a_1$  und  $b_1$  ermöglicht zwar, auch die Messpunkte von Kork besser zu approximieren. Doch paßt die Steigung beider Kurven nicht und die statischen Federkennlinien können damit nicht wiedergegeben werden. Diese Werkstoffparameter des linearen Modells sind damit nicht auf den statischen Fall übertragbar.

## Umwelteinflüsse

Für das Material “Sylomer grün” wurden Messungen bei zwei verschiedenen Temperaturen durchgeführt:

Temperatur [°C]	$a_{max}$ [m s <sup>-2</sup> ]
19	179
9	192

**Tabelle 1:** Einfluß der Temperatur auf die maximale Beschleunigung während eines Hammer-schlags

Tabelle 1 zeigt deutlich den Einfluß der Temperatur auf die maximale Beschleunigung während eines Hammer-schlags. Korreliert man dies mit den Messpunkten in Abbildung 3, so entspricht die Verringerung der Temperatur einer Erhöhung der Fallhöhe um ca. 5 mm. Dabei ist gemäß [1] nur eine Unsicherheit von 4 mm zulässig.

Für [1] könnte daher eine Korrekturtabelle der Fallhöhe in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur diskutiert werden.

## Zusammenfassung

Es wurde eine Methode präsentiert, um die Größenordnung der Materialdämpfung abzuschätzen. Wegen der dabei auftretenden großen Verformungen wurden Nichtlinearitäten berücksichtigt. Erste makroskopische Ansätze einer quantitativen Beschreibung zeigen Probleme beim Material Kork.

Es wird die weitere Aufgabe sein, andere Beschreibungsformen zu untersuchen, diese durch zunehmend mikroskopische Modelle zu verbessern und sich so von der konkreten Geometrie der Anordnung zu lösen, um übertragbare Werkstoffparameter zu gewinnen. In diesen sollte auch die Temperatur berücksichtigt werden.

## Literatur

- [1] ISO 140-11: 2005 (deutsche Fassung: DIN EN ISO 140-11: 2005) “Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen”, Beuth
- [2] ISO 9052-1: 1989 (deutsche Fassung: DIN EN 29052-1: 1992) “Akustik – Bestimmung der dynamischen Steifigkeit”, Beuth
- [3] M. Schmelzer “Identifikation der Parameter von Zeitbereichsmodellen linear-viskoelastischer Werkstoffe”, TU-Braunschweig, Dissertation, 2003