

## Dynamische Eigenschaften von Kautschuk und Elastomeren – Ermüdungseigenschaften und Kriterien

Thomas Alshuth, Deutsches Institut für Kautschuktechnologie e. V.

Die Vorhersage der Ermüdungslebensdauer von Elastomerbauteilen ist nach wie vor nicht mit ausreichender Präzision möglich. Dies, obgleich heute z.B. FE-Simulationen als hilfreiches Werkzeug zur Verfügung stehen. Problematisch ist dabei einerseits die Abhängigkeit der Ermüdung von der Belastungsintensität und der Belastungsform (Frequenzen, Sinus, Puls usw.), aber auch die relative Unsicherheit bezüglich der Schädigungskriterien (Spannung, Dehnung, Energien). Hinzu kommen äußere thermische Belastungen und Temperaturerhöhungen aufgrund der Dissipation. Als ein Beispiel für dynamisch belastete Bauteile können Zahnriemen dienen.

Die thermischen Belastungen von Zahnriemen sind durch Kapselung der Motoren zur Geräuschverminderung gestiegen, in weit stärkerem Maße die mechanischen Belastungen durch den Antrieb der Nockenwelle und der Einspritzpumpe mit verbesserten Steuerzeiten und höheren Einspritzdrücken, die wesentlich zur Erhöhung des Wirkungsgrades und beträchtlichen Kraftstoffeinsparungen beitragen. Gleichzeitig werden verlängerte Wartungsintervalle angestrebt, was zu deutlich präziseren Vorhersagen der Lebensdauer von Zahnriemen als in der Vergangenheit zwingt. Welche Anforderungen heute an die Werkstoffe gestellt werden, soll die folgende Analyse der Betriebsbedingungen veranschaulichen.

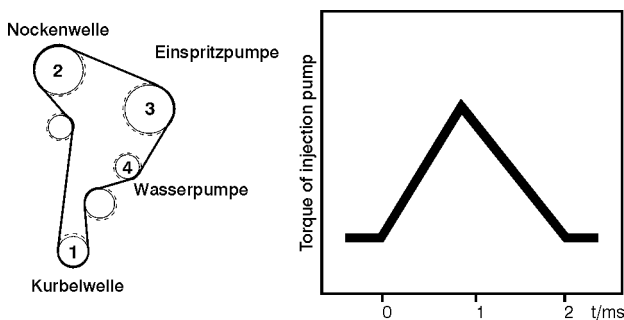


Abb. 1: Riementrieb und Drehmoment-Zeit-Verlauf an der Einspritzpumpe eines modernen Dieselmotors

Zahnriemen treiben in modernen Dieselmotoren die Nockenwelle, die Wasserpumpe und insbesondere die Einspritzpumpe an (Abb. 1). Eine Analyse der auftretenden Frequenzen bzw. Belastungszeiten ergibt folgendes Ergebnis: Bei 4000 Umdr./min. beträgt die Umlaufzeit des Riemens etwa 100 ms oder 10 Hz, was als unkritisch anzusehen ist. Die Analyse eines großen Automobilherstellers ergibt, dass die höchste Belastung auf einen Zahn in Schub durch die Hübe der Einspritzpumpe erfolgt, die auf Basis der auftretenden Antriebsdrehmomente zumindest in ihrem zeitlichen Verlauf abgeschätzt werden kann.

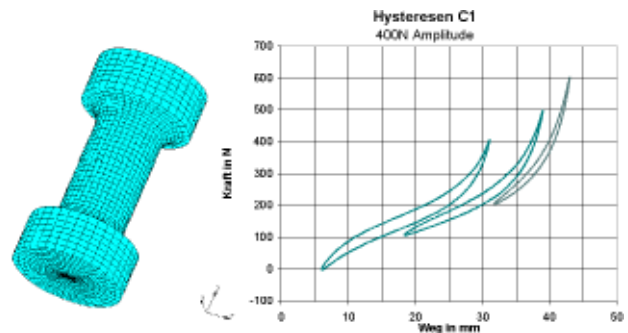


Abb. 2: Geometrie des für die Aufzeichnung der Wöhler-Kurven unter uniaxialer Dehnung verwendeten Prüfkörpers (Hantel)

Der Drehmomentverlauf ist annähernd dreieckig mit Pulsen von etwa 1,8 ms.

Eine Untersuchung der Lebensdauer der eingesetzten Werkstoffe unter den gegebenen extremen Praxisbedingungen erscheint angebracht. Dabei stößt man erneut auf experimentelle Grenzen. Die zu fahrenden Pulse sind selbst mit modernen, schnellen Servohydrauliksystemen nicht realisierbar.

Ein Charakteristikum von Pulsen ist im Vergleich zum Sinus die relativ lange Phase niedriger Belastungen und der Steilanstieg. Um den Einfluss der Minimallast exemplarisch zu untersuchen, sind Werkstoff-Wöhlerkurven an einem EPDM-Werkstoff bei 1 Hz Sinus aufgezeichnet worden. Die Versuche wurden an Hantelprüfkörpern durchgeführt, wie in Abb. 2 gezeigt, die uniaxial sowohl in Zug als auch in Druck verwendbar sind, wobei in Kraft- bzw. Spannungssteuerung gefahren wurde.

Bei konstanter Frequenz und Temperatur wurde zunächst bei einer Unterlast von 0 N - wie üblich - durch Variation der Lastamplitude die Spitzenlast bzw. Spitzenspannung variiert. Das Ergebnis ist eine Wöhlerlinie ( $s_{max}$  über  $n$  in doppelt logarithm. Auftragung), die von metallischen und anderen Werkstoffen bekannt ist. Steigert man jedoch bei konstanter Amplitude die Unterlast bzw. -spannung, steigt die Lebensdauer trotz steigender Spitzenspannung. Dieses Verhalten zeigen metallische und andere Werkstoffe nicht (Abb. 3).

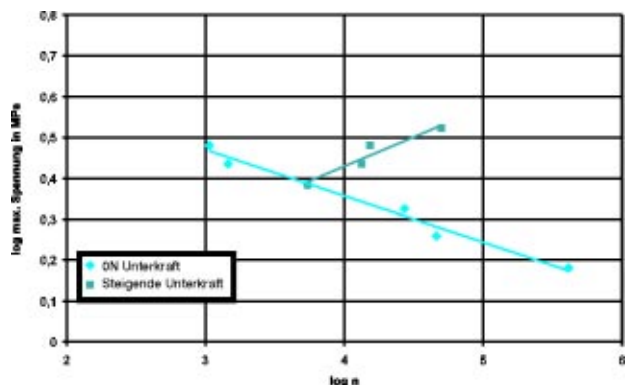


Abb. 3: Konventionelle Wöhler-Kurve ( $s_{max}$  über  $n$ ) eines EPDM-Werkstoffs bei 1 Hz, RT

Damit zeigt sich die Sonderstellung von Elastomeren in der Familie der Werkstoffe. Offenbar ist eine geringe Unterlast bzw. Spannung als schädlich einzuordnen. Es stellt sich unmittelbar die Frage nach dem Unterschied, den Pulse mit langen Zeitanteilen unter niedriger Last im Vergleich zu harmonischen Beanspruchungen erzeugen und nach der Findung elastomerspezifischer Kriterien (Spannung, Verformung, Amplitude). Eine vorläufige Antwort kann Abb. 4 beisteuern, die die Lebensdauer in Abhängigkeit der dynamischen Energiedichte zeigt.

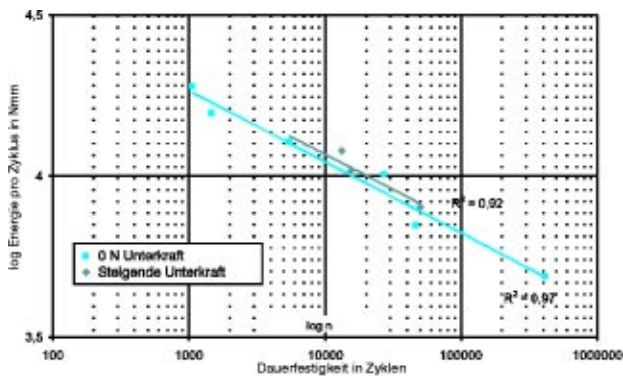


Abb. 4: Auftragung der dynamischen Energiedichte über der Lastwechselzahl eines EPDM-Werkstoffs bei 1 Hz, RT

Die Reihe mit steigender Unterspannung liegt hier auf der Geraden, die bei üblicher Vorgehensweise (Amplitudensteigerung) erhalten wird. Für die Zukunft bleiben diese ersten Ergebnisse abzusichern sowie eine Modellvorstellung zu entwickeln, die dieses Verhalten erklärt. In der Literatur sind Untersuchungen an NR publiziert, wobei als Begründung für die Verlängerung der Lebensdauer die Dehnungskristallisation angegeben wird. Dies ist bei dem hier vorliegenden Beispiel (EPDM) nicht haltbar.