

# Umweltprüfungen an Komponenten mit Hilfe von Breitbandrauschen

Grünendick, T.; Käferstein, B.

*Bauteilkomponenten können mit unterschiedlichen Signalen auf einem Shaker angeregt werden, um ihre mechanische Zuverlässigkeit zu untersuchen. Dabei kann ein Stoß (Shocken), eine harmonische Anregung (Sinus) oder ein stochastisches Signal (Breitbandrauschen) zum Einsatz kommen. Am IMW wurden Bauteile für ein KFZ-Frontend auf dem elektromagnetischen Schwingerreger getestet.*

*The reliability of components can be tested by applying different signals generated by a shaker. Impact (shock), harmonic excitation (sine wave) or noise signals (random vibration) are common waveforms. At the IMW automotive front end components were tested on an electromagnetic shaker with broad-band random vibration.*

## 1 Einleitung

Die DIN EN 60068-2-64 „Umweltprüfung, Teil 2: Prüfverfahren“ /1/ beschäftigt sich im wesentlichen mit der mechanischen Zuverlässigkeit von elektronischen Bauteilen. Auf sie wird aber auch aus anderen Bereichen des Maschinen- und Gerätebaus referenziert, weil sie eine allgemeingültige Vorgehensweise für die Prüfung von Bauteilen mit einem Rauschsignal vorschlägt. Die Prüfung erfolgt auf Grundlage eines digital erzeugten und geregelten Rauschen. Die Prüfung ist im Gegensatz zu einer harmonischen Anregung des Objekts nicht mit deterministischen, sondern mit stochastischen Kennwerten zu beschreiben. Es werden daher Kennwerte wie „Leistungsdichtespektrum“ oder „Effektivbeschleunigung“ anstatt „Schwingamplitude“ oder „Prüffrequenz“ verwendet.

### 1.1 Theoretische Grundlagen

Die Anwendung von Breitbandrauschen beruht auf der Tatsache, daß über sehr lange Zeiten die Beanspruchung in KFZ, Flugzeugen etc. mit oft wechselnden Betriebsbedingungen im Mittel einem über dem Frequenzbereich charakteristischen Amplitudenspektrum entsprechen. Dieser wird aus Messungen ermittelt und grob genähert zusammengefaßt. Automobilhersteller haben z.B. unterschiedliche Schärfgrade je nach Einbauort, die dann als Gesamterhöhung des Beschleunigungsverlaufs be-

rücksichtigt werden. Es werden z. B. im Innenraum geringere Amplituden aufgebracht als am Fahrge- stell. Gelegentlich werden zusätzlich noch unterschiedliche Profilformen des Beschleunigungs- spektrums vorgegeben: am Motor mehr Leistung im hochfrequenten Bereich als am Fahrge- stell. In der DIN sind keine Profile vorgegeben, sondern es wird auf die Einzelbestimmungen der Werksnormen verwiesen. Durch entsprechende Amplitudenerhö- hung werden dann die realen Meßwerte verschärft, und damit die Prüfzeit entsprechend verkürzt. Das 15-jährige Leben eines KFZ-Bauteils wird damit auf wenige Stunden gerafft. Als weiterer Vorteil kann neben der betriebsbedingungs- nahen Anregungs- form noch die Ermittlung der dynamischen Eigen- schaften (Einzelresonanzen und deren Dämpfung) gesehen werden, um kritische Resonanzüberhö- hungen aufzudecken und ihnen entgegenzuwirken.

### 1.2 Wichtige Kenngrößen

Es sind folgende Kenngrößen für die Beanspru- chungshöhe entscheidend:

- **Spektrale Beschleunigungsdichte** bei einer Frequenz  $f$ : Effektivwert des Beschleunigungs- signals, das ein Schmalbandfilter mit der Mit- tenfrequenz  $f$  und der Breite  $\Delta f$  passiert hat, geteilt durch  $\Delta f$ . Das entspricht einer Effektiv- beschleunigung bei einer bestimmten Fre- quenzlinie und ist ein Maß für die zugeführte Energie.

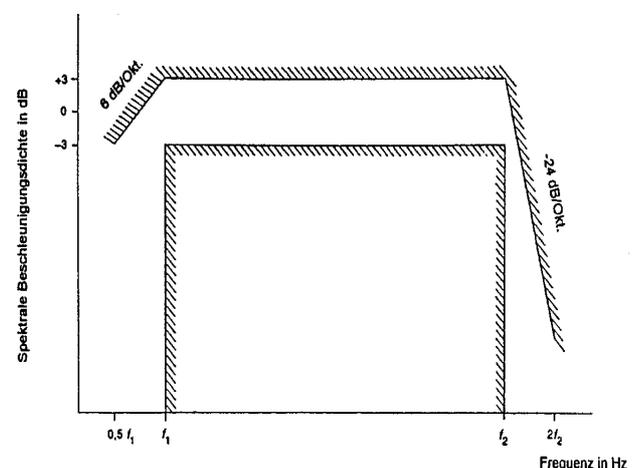


Bild 1: Bild des Spektrums /1/

- **Form des Beschleunigungsspektrums** als Angabe wie hoch die aufzubringende Beschleunigungsdichte über dem Frequenzbereich ist (bei deterministischen Signalen „Beschleunigungsamplitude“), **Bild 1**.
- Crest- Faktor: Quotient aus Spitzenwert zu Effektivwert, ein Maß für die Impulshaltigkeit, die zu einer unerwünschten Zusatzbeanspruchung führen kann.
- Spitzenwertbegrenzung: Begrenzung des Steuersignals (oft aus Sicherheitsgründen verwendet)
- **Wirksamer Frequenzbereich** ist die zu untersuchende Frequenzspanne und ist durch den Anstieg und den Abfall des Spektrums festgelegt. Das ist notwendig, da aus regelungstechnischen Gründen kein Sprung im Frequenzspektrum auftreten kann, sondern nur die Flanken und Übergänge steiler gemacht werden können.
- Bezugspunkt und Regelstrategie: auf den Bezugspunkt wird geregelt, er kann an beliebiger Stelle der Struktur positioniert sein. Soll auf mehrere Bezugspunkte geregelt werden (Mehrpunktregelung), so ist noch die Regelstrategie festzusetzen. Das Referenzsignal kann durch den Mittelwert, den Maximalwert oder den Minimalwert dieser Kanäle festgelegt werden.
- **Dauer der Beanspruchung**

Neben den o. g. Vorgaben gibt es noch eine Viel-

zahl weiterer, wie z.B. Belastungsrichtung, Überlagerung mit Temperatur oder chemischen Einflüssen, besondere Betriebszustände usw. Die oben fett gedruckten Kenngrößen geben den „Schärfegrad“ an, der i. A. in den Werksnormen festgelegt wird. Je größer die Beanspruchung im Betrieb, oder je höher das Risiko beim Ausfall einer Komponente ist, desto größer wird der Schärfegrad gewählt.

## 2 Versuch

### 2.1 Regelkreis

Da die Zufallssignale über die Zeit ihre Kennwerte (normalverteilt, vorgegebene Beschleunigungsdichte, etc.) nicht verändern dürfen (ergodischer Zufallsprozeß), muß der Shaker geregelt werden. Dazu werden die Signale an den Bezugspunkten gemessen und in den Regler zurückgeführt und einer FFT nach ihrer Digitalisierung unterzogen. Nach Auswertung der Amplituden und Phasen für eine vorgegebene Frequenzlinienanzahl berechnet der Regler die notwendige Stellgröße um die Führungsgröße (i. e. das vorgegebene Spektrum) zu erreichen. Das dazu notwendige Rauschsignal wird digital generiert und auf den Leistungsverstärker aufgegeben, der den Shaker antreibt, **Bild 2**.

### 2.2 Versuchsaufbau und Prüfobjekt

Zur Befestigung des Prüflings wurde eine Versuchsvorrichtung als Schweißkonstruktion angefertigt. Die Anbindung erfolgte an den drei Originalaufnahme Punkten des Objekts. Da die Form irregulär ist, wurden Ausfräsungen an der Aufnahme eingebracht, um einen Kontakt mit dem Objekt zu verhindern. An allen Schnittstellen wurden die zugehörigen Versorgungsleitungen angeschlossen und entsprechend den Einbaubedingungen abgefangen. Für die betriebsähnliche Zu- und Abfuhr der Betriebsstoffe wurde ein Flüssigkeitsumlauf realisiert. Die elektrischen Einrichtungen wurden einem zyklischen Prüfbetrieb (4 sec an, 26 sec aus) im geforderten Zeitraum (4 Stunden) unterzogen. Die Steuerung der Elektrik wurde mit einem programmierbaren digitalen Funktionsgenerator und Relaissteuerung realisiert. Es waren exakt

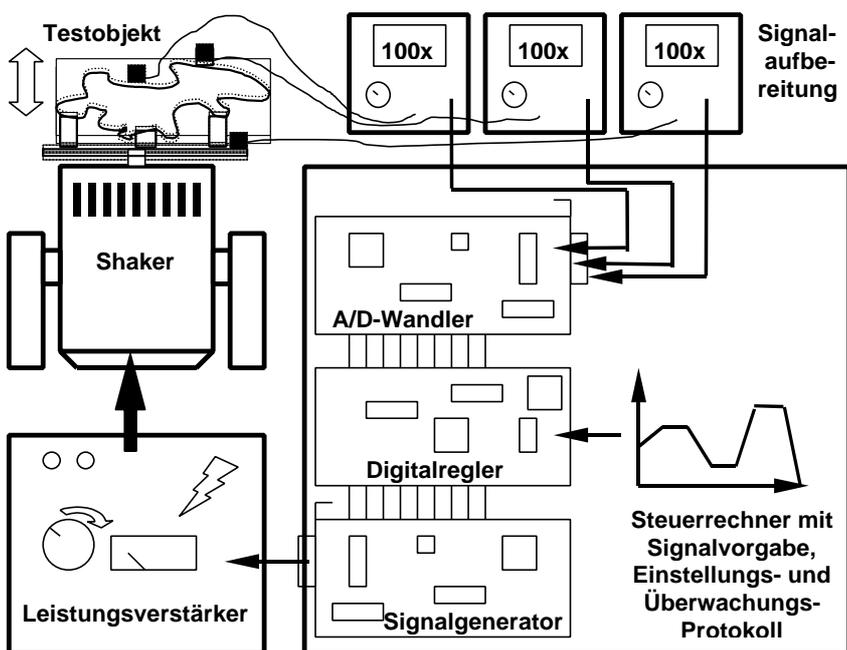
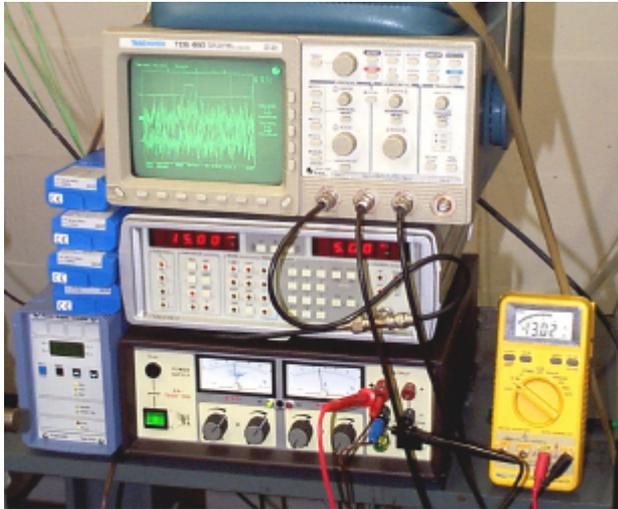


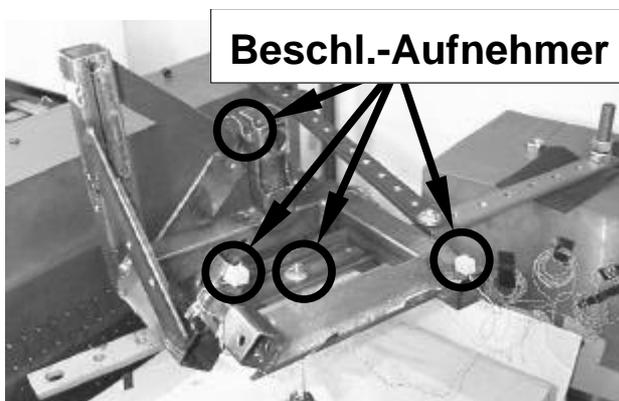
Bild 2: Testaufbau

13V Gleichspannung angeschlossen die durch ein stabilisiertes Netzgerät erzeugt wurden, den Aufbau der Versuchseinrichtung zeigt **Bild 3**. Die Schwingversuche wurden auf einem elektrodynamischen Schwingerreger vom Typ TiraVib 50001 (Hersteller TIRA Maschinenbau GmbH) durchgeführt. Als Steuergerät wurde ein Regler der Firma GenRad benutzt.



**Bild 3:** Meß-, Versorgungs- und Überwachungsgeräte

Die Beschleunigungsaufnehmer, die als Kontrollpunkte und Regelstelle die Schnittstelle zwischen Prüflingshalterung und Prüfling darstellen, wurden so dicht wie möglich an den Originalbefestigungsstellen angebracht. Als Regelstelle wurde für jede Prüfung jeweils ein Befestigungspunkt zwischen der Versuchsvorrichtung und dem Objekt gewählt, **Bild 4**. Die gemessenen Werte wurden an diesem Punkt unmittelbar mit der spektralen Beschleunigungsdichte verglichen und weiterverarbeitet.



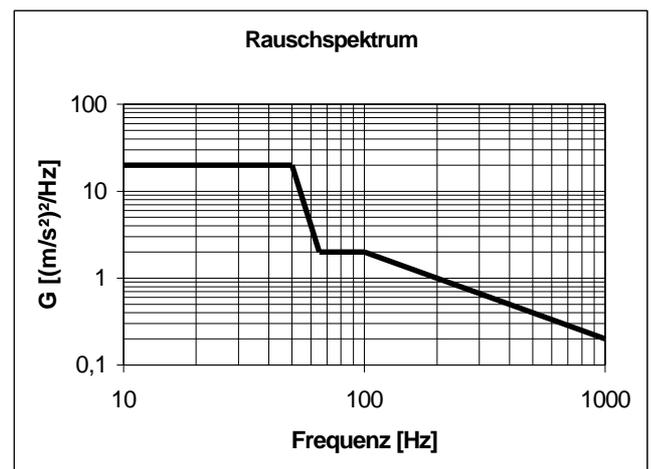
**Bild 4:** Aufspannvorrichtung, Shaker darunter abgedeckt wg. evtl auslaufender Flüssigkeiten

## 2.3 Versuchsablauf

Die Prüflinge wurden nacheinander entlang den drei Hauptebenen auf die Versuchseinrichtung gespannt und der Prüfprozedur nach Werksnorm unterzogen. Vor und nach der eigentlichen Beanspruchung des Prüflings mit Breitbandrauschen wurde eine Untersuchung des Schwingverhaltens mittels sinusförmiger Anregung (Sweep) durchgeführt. Diese Untersuchung ist vorgeschrieben, um die Resonanz mit der kleinsten modalen Dämpfung zu bestimmen, damit die Berechnung der vorzuzugenden Filterbandbreite erfolgen kann. Außerdem ist es wichtig, das Frequenzverhalten des Prüflings an mehreren Stellen zu ermitteln, um zu verhindern, daß eine Strukturresonanz nicht erfaßt wird, weil ein gewählter Meßpunkt im Schwingungsknoten liegt.

Anschließend wurde der Prüfling mit kleinem Pegel (-12 dB des vorgegebenen Testpegels) zur Angleichung der Beanspruchung rauschförmig angeregt. Dies erfolgt, um das Signal anzugleichen und eine vorläufige Analyse durchzuführen. Die Dauer für diese Voreinstellung wurde entsprechend der Norm nicht von der vorgegebenen Prüfdauer von 4 Stunden abgezogen.

Nach Werksnorm liegt der erforderliche Prüffrequenzbereich bei 10Hz bis 1000Hz. Die spektrale Beschleunigungsdichte und die Form des Beschleunigungsspektrums sind dort ebenfalls zu entnehmen, **Bild 5**. Die Prüfdauer beträgt für jede Hauptebene und jeden Prüfling 4 Stunden.



**Bild 5:** Spektrum laut Werksnorm Anwender /2/

Das gemessene Rauschsignal an einer Regelstelle wird unmittelbar mit den vorgegebenen Werten verglichen, der Regelalgorithmus berechnet die Korrektur und stimmt die Anregung auf die Vorgabe ab. Damit gelingt es die geforderte Regelgenauigkeit von  $\pm 3\text{dB}$  einzuhalten. Bei 6 dB liegt der soge-

nannte Abbruchbereich, ab dem der Regler nach einer vorgegebenen Zeit abschaltet, wenn es ihm nicht gelingt, innerhalb der Toleranzen zu bleiben. An drei weiteren Stellen wurden Kontrollpunkte befestigt, **Bild 4**, die jedoch nicht für die Gewinnung des Regelsignals dienen. An diesen Stellen konnte eine nicht zu vermeidende Querbelastrung des Prüflings festgestellt werden. Dies kann als Verschärfung der Prüfbedingung gewertet werden und ist auf die absolute Baugröße zurückzuführen. Da normalerweise mehrere elektronische Bauteile mit kleiner Abmessung gleichzeitig getestet werden, ist die Forderung der DIN nach homogener Beschleunigung leicht zu erfüllen. Bei großen Strukturen spielen jedoch die Eigenresonanzen außerhalb der Anregungsachse eine große Rolle, die unvermeidlich durch das Rauschsignal mit angeregt werden. Es ergibt sich deshalb meist eine zusätzliche Belastung, so daß man mit dem Test immer auf der sicheren Seite liegt.

Während der Schwinganregung wurden die elektronischen Bauteile einem zyklischen Prüfbetrieb unterzogen, um auch deren Betriebsverhalten realitätsnah abzubilden.

### 3 Ergebnisse

Die Prüfobjekte zeigten nach der jeweils vier Stunden dauernden rauschförmigen Schwinganregung leichte bis mittlere Schädigungen, die entscheidend von der getesteten Hauptebene abhängig waren. Als Schädigungen traten neben örtlichen abrasiven Verschleiß irreversible Veränderung der Werkstoffstruktur bis zur Anrißbildung auf.

Bei dem hier geprüften Testobjekten handelte es sich um Bauteile aus einem thermoplastischen Kunststoff, der durch Bildung von Mikrorissen und Verstreckungszonen, sog. Crazes, irreversibel geschädigt wurde, d. h., die Struktur auch nach der Entlastung geschädigt bleibt und nicht wieder ausgeht. Verursacht werden diese Schädigungen durch die lokale Überhöhung von Spannungen und Dehnungen, die das Herausreißen der Molekülstränge aus ihrer Verkettung bewirken und in Richtung der Dehnung verstrecken. Dies kann die Dichtheit vermindert oder die optischen Eigenschaften von transparenten Kunststoffen durch Trübung verändern.

Durch einfache konstruktive Maßnahmen, wie z.B. Verstärkung der Krafteinleitungsbereiche und Verbesserung des Kraftflusses durch Verwendung größerer Radien im Übergangsbereich, konnten die

aufgetretenen Schädigungen behoben werden. Dies hat eine entsprechende Nachprüfung bestätigt.

### 4 Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, wie ein Schwingtest mit Breitbandrauschen vorgenommen wird, und welche Größen entscheidend bei der Festlegung der Testparameter sind. Als Testobjekt wurde ein KFZ-Bauteil im Frontend-Bereich während des Betriebs untersucht. Es lassen sich Prüflinge bis 25 kg statischer Masse auf dem Shaker des IMW testen, da er über einen pneumatischen Gewichtsausgleich verfügt. In der Praxis ist aber die erreichbare Beschleunigungsdichte der begrenzende Faktor, den es für jeden Einsatzfall individuell zu ermitteln gilt. Je größer dabei die Beschleunigungsdichte und je kleiner die zugehörige Frequenz ist, desto größer ist der Weg, der aufgebracht werden muß (quadratisch zu  $1/f$ ).

### 5 Literatur

- /1/ DIN EN 60068-2-64: Umweltprüfung, Teil 2: Prüfverfahren. DIN, Berlin, 1995
- /2/ Werksnorm, NN.