

Entstehung von Körperschall im Fahrzeugcrash

Paul Spannaus¹

¹ Institut für Angewandte Forschung der Fachhochschule Ingolstadt, Email: paul.spannaus@fh-ingolstadt.de

Motivation

Für eine Verbesserung der Überlebenschance von Fahrzeuginsassen während eines Verkehrsunfalls ist es notwendig die Unfallsituation innerhalb von 20 - 30 ms zu erkennen und zu klassifizieren, um die passive Sicherheitssysteme (Airbag, Gurtstraffer) rechtzeitig aktivieren zu können [6, 5], d.h. durch geeignete Sensorik und Auswertelgorithmen ist der Unfall in die Kategorien *Airbag Fire* bzw. *No Fire* sowie die zu erwartende Unfallschwere zu unterteilen. Die Deformation des Fahrzeugs entspricht zu diesem Zeitpunkt, je nach Steifigkeit und Relativgeschwindigkeit der Unfallgegner, näherungsweise der Starrkörperbewegung $\Delta x \approx \iint a dt$. Nach [1, 2] und eigenen Crashuntersuchungen gilt $\Delta x \approx 2 - 10$ cm.

Durch Aufprall und Deformation der Fahrzeugstruktur werden Strukturschwingungen im Crash angeregt. Dabei kann das von *Barényi* vorgeschlagene und seit den 70er Jahren umgesetzte Konzept, die Aufteilung der Struktur in eine möglichst starre Fahrgastzelle und eine durch Deformation energieabsorbierende Frontstruktur, verwendet werden [3]. Entsprechend lassen sich die zu untersuchenden Körperschall- bzw. Strukturschwingungsphänomene in Emission und Transmission aufteilen [1, 2, 5] und getrennt von einander beschreiben. Eine umfangreiche Diskussion findet sich in dem Postervortrag von *M. Luegmair* „Randbedingungen der Körperschallausbreitung im Fahrzeug zur Crasherkenntnis“ auf der DAGA 2008.

Zur Gewinnung zusätzlicher Informationen über den Crashverlauf, wird die in allen Airbag-Systemen standardisierte Starrkörperverzögerung ($f \leq 400$ Hz) um die Auswertung der Strukturschwingung ($1 \leq f \leq 40$ kHz) erweitert.

Körperschallentstehung

Allgemein lassen sich endliche Strukturen durch äußere Kräfte zu Schwingungen anregen. Entsprechend haben sich Methoden der Strukturuntersuchung, wie die Modalanalyse, etabliert. Entscheidend für die anregbaren Frequenzen ist der zeitliche Kraftverlauf $\underline{F}(t)$ und die Eingangsimpedanz \underline{Z} des Kraftaufbringungsortes $\mathbf{x}(x, y, z)$, die eine Strukturschwingung der Schnelle \underline{v} hervorruft.

$$\underline{Z} = \frac{F}{v} \quad (1)$$

Die aufgeprägte Kraft übt auf das Bauteil eine zeitlich und örtlich anregende Druckverteilung $p = p(t, x, y, z)$ aus. Das anregbare Wellenspektrum kann über die Fouriertransformation [8] in den Bildbereich $p(t, x, y, z) \rightarrow \hat{p}(\omega, k_x, k_y, k_z)$, wobei $k_{x,y,z}$ die von der Kreisfrequenz ω

abhängigen Wellenzahlen sind, überführt werden.

$$\hat{p} = \int_{-\infty}^{\infty} p e^{-j\omega t} e^{j(k_x x + k_y y + k_z z)} dt dx dy dz \quad (2)$$

Mit (1) ergibt sich über die Rücktransformation in den Zeitbereich aus (2) für die anregbare Schnelle

$$v = \frac{1}{8\pi^3} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\hat{p}}{\underline{Z}} e^{j\omega t} e^{-j(k_x x + k_y y + k_z z)} d\omega dk_x dk_y dk_z. \quad (3)$$

Das bedeutet: Ist die Zeitfunktion und die Eingangsimpedanz am Anregungsort bekannt, lässt sich die entsprechende Strukturangeregung angeben. Abbildung 1 zeigt mögliche Kraftverläufe $F(t)$. Um im nächsten Schritt

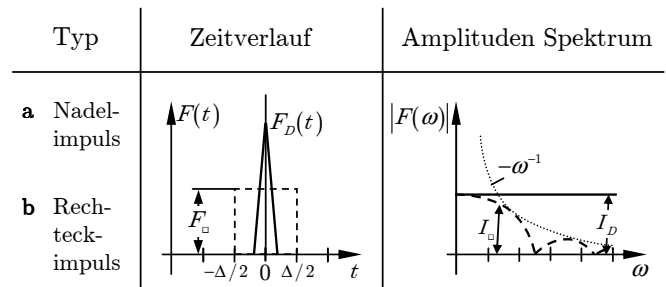


Abbildung 1: Kraftanregung $F(t)$ mit entsprechendem Amplitudenspektrum $F(\omega)$ nach [8]

die Körperschallquellen quantitativ bewerten zu können, ist eine Modellvorstellung der Kraftverläufe verschiedener Mechanismen notwendig. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass die Deformation der Fahrzeugfront plastisch erfolgt und stark von den Randbedingungen des Fahrzeugcrashes abhängt.

Approximation

Zur Beschreibung der Quellmechanismen wird die Tatsache ausgenutzt, dass in der zu untersuchenden Zeitspanne (Airbag-Zündzeit), lediglich ein kleiner Teil der Fahrzeugfrontpartie deformiert. Dazu zählen neben der Stoßfängerverkleidung aus Kunststoff, der Stoßfänger (Querträger) und das Typschadenelement (Crashbox). Zusammen bilden sie das Crashmanagementsystem *CMS*. Der Querträger überträgt die Crashkraft auf das Typschadenelement, welches durch geeignete Konstruktion gezielt plastifiziert. Entsprechend gestalten sich die Quellmechanismen in die Bereiche der Schädigungsmechanik, Materialversagen und Beuleffekten. Der Körperschallentstehungsort konzentriert sich auf das CMS. Dieses besteht in modernen Fahrzeugen aus

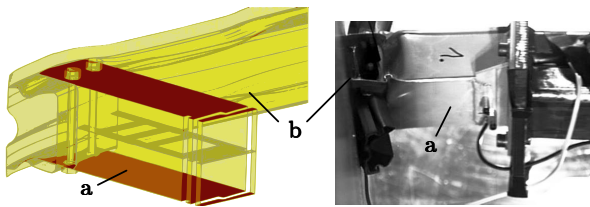


Abbildung 2: Fahrzeugkomponenten: (a) Typschadenelement und (b) Stoßfänger („Stoßstangensystem“); Hauptenergieabsorber der Crashenergie; rechts reales Bauteil im Ersatzversuch zur Zeit $t = 15$ ms, links CAD Modell

Stahlblechen oder aus extrudierten Aluminiumprofilen. Faserverstärkte Verbundwerkstoffe befinden sich in der Erprobung, haben jedoch bisher keinen Serieneinzug erhalten, deshalb wird für weitere Untersuchungen von isotropen Werkstoffverhalten unter ebenen Spannungszustand ausgegangen.

Quellmechanismen

Anlehnend an die Klassifizierung der Werkstoffmechanik [4] werden die körperschallanregenden Effekte in punktförmige, flächige und räumliche Strukturanregungen bzw. Krafteinwirkungen unterteilt, Tabelle 1.

Tabelle 1: Klassifizierung Quellmechanismen

1D	2D	3D
mikroskopisch	makroskopisch	global
Versetzungsmechanik	Rissdynamik	Crashimpuls

Versetzungsmechanik

Grundlegend für das Plastifizieren und Versagen von Bauteilen ist die Bewegung von Fehlstellen und Versetzungen. Phänomenologisch bewirkt eine Fehlstelle des Gefügegitters ein lokales Spannungsfeld um den Gefügefehler. Durch das Einwirken äußerer Belastungen, kommt es zum Abgleiten der Fehlstellen, entsprechend bewegen sich die Versetzungsfelder durch das Gefügegitter. Representativ für die Versetzungsmechanik werden Stufen- und Schraubenversetzungen untersucht. Dabei erweist sich die spezifische Gesamtenergie e_{ges} der Versetzungen als konstant. Durch die Versetzungsbewegung wird entsprechend die Leistung $P_V \sim \frac{d}{dt} \left(\int_V e_{ges} dV \right)$ emittiert, d.h. die strukturanregende Leistung ist proportional zur Geschwindigkeit der Volumenverformung. Da die Energien der Versetzungen nicht größer als $2eV$ werden und trotz hohen Versetzungsdichten von $10^9 \frac{1}{mm^3}$, nach [4], liegt der Mechanismus an der Aufzeichnungsgrenze moderner Beschleunigungsaufnehmer.

Rissdynamik

Eine wesentlich höhere technische Relevanz besitzt die Energiefreisetzung durch makroskopische Schädigung, Rissbildung und Risswachstum des Typschadenelements. Nach Gross [7] lässt sich zeigen, dass bei hoher äußerer Energiezufuhr die Rissgeschwindigkeit \dot{a} bei der Hälfte

der longitudinalen Wellengeschwindigkeit c_L liegt. Die Energiefreisetzungsrates \mathcal{G} ist ein Funktion der dynamischen Spannungsintensität K_d

$$\mathcal{G} \sim K_{Id}^2(\dot{a}). \quad (4)$$

Mit ihr ergibt sich die durch den Riss der Breite B frei werdende Leistung zu

$$P_{Riss} = \int_B \dot{a} \mathcal{G} dB \quad (5)$$

Bei konstanter Rissgeschwindigkeit $\dot{a} = konst.$ ist entsprechend $P_{Riss} = konst.$ Für die Unfallerkennung ergibt sich ein zu berücksichtigender Effekt, der beim Auftreten konstantes Strukturanregungspotential aufweist.

Crashimpuls

Unter dem Crashimpuls wird die global auf die Rahmenstruktur des Fahrzeugs wirkende Kraft verstanden, die sehr hohe Amplituden und Dynamik aufweist. Über Modellbildung aus Feder-Massen-Systemen ergibt sich eine beliebig komplexe Nachbildung des Crashimpulses [5, 6]. Die anregbaren Frequenzspektren lassen sich durch

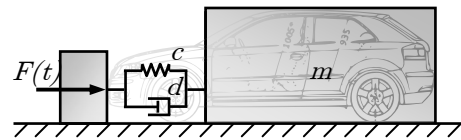


Abbildung 3: Feder-Massen-System des Unfalls [5, 6]

die Fouriertransformation realer Crashdaten aus hochfrequenten Beschleunigungssensoren gewinnen.

Literatur

- [1] M. Luegmair, L. Oestreicher: Körperschallausbreitung als wichtiger Einfluss auf die Crasherkenntung, ATZ, 2008-02, 160-165
- [2] C. Lauerer, T. Brandmeier, P. Spannaus: Crasherkenntung durch Körperschallmessung, Sensoren im Automobil, 2006, Expert Verlag, 187-203
- [3] H. Niemann: Bela Barényi - Nestor der passiven Sicherheit, Mercedes Benz AG, 1994
- [4] H. Altenbach, J. Altenbach, A. Zolochovsky: Erweiterte Deformationsmodelle und Versagenskriterien der Werkstoffmechanik, D.V. für Grundstoffindustrie, 1995
- [5] H. Appel, G. Krabbel, D. Vetter: Unfallforschung, Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion, Verlag Information Ambs GmbH, 2002
- [6] P.A. Bois: Crashworthiness Engineering, Livermore Software Technology Corporation, 2004
- [7] D. Gross, Th. Seelig: Bruchmechanik, Springer Verlag, 2007
- [8] L. Cremer, M. Heckl, B. Peterson: Structure-Borne Sound, Springer Verlag, 2005