

Auswertung aktiv erzeugter Körperschallsignale im Fahrzeug

Patrick Scherrmann, Markus Kohlhuber, Thomas Brandmeier

Institut für Angewandte Forschung, Hochschule Ingolstadt, Esplanade 10, 85049 Ingolstadt

Zusammenfassung

Das dargestellte Verfahren liefert durch eine optimierte Crasherkenkung einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung des Insassenschutzes. Durch eine mechanische Vorrichtung in der Crashbox wird ein von der Crashgeschwindigkeit abhängiges Körperschallsignal erzeugt. Das Signal wird über die Fahrzeugkarosserie übertragen und in der Mitte des Fahrzeugs gemessen. Durch ein Modulationsverfahren kann das Körperschallsignal von den Störungen getrennt und somit die ursprüngliche Crashgeschwindigkeit ermittelt werden. Die Auslegung der Signalverarbeitungsschritte erfolgt anhand generisch erzeugter Daten. Der Einfluss der Übertragungsstrecke (Karosserie) wird mittels einer Simulation abgedeckt. Die virtuelle Entwicklung wird dadurch unabhängig von realen Prototypen des Crashmanagementsystems sowie der Karosserie. Somit können bereits im Vorfeld verschiedene Plattformen hinsichtlich ihrer späteren Applikation untersucht und die Signalverarbeitung verfeinert werden. Der Algorithmus zur Bestimmung der relativen Crashgeschwindigkeit kann somit parallel zur Fahrzeugentwicklung implementiert und erprobt werden.

1 Motivation

Durch die Einführung der Insassenrückhaltesysteme wie z.B. Airbag, Sicherheitsgurt und Gurtstraffer, welche mittlerweile in allen Kraftfahrzeugen serienmäßig eingebaut werden, konnte die Zahl der Verkehrstoten (siehe **Bild 1**) in den letzten 40 Jahren in Deutschland erheblich verbessert werden. Der gesellschaftspolitische Ansatz „Vision Zero“ bildet eine der Grundlagen europäischer Verkehrspolitik. Basierend auf der Einsicht, dass Menschen Fehler machen, besteht die Zielsetzung von „Vision Zero“ in der fehlertoleranten Ausgestaltung des Gesamtsystems Verkehr mit dem Fernziel einer Reduktion auf null Verkehrstote. Um den Insassenschutz im Fahrzeug weiter zu verbessern ist es essentiell, die relative Crashgeschwindigkeit zwischen den Unfallpartnern zu bestimmen. Diese Information steht bisher dem Airbagsteuergerät noch nicht zur Verfügung. Sie ist jedoch notwendig, um eine bessere Abschätzung der Crasheschwere durchführen zu können, um so die passiven Sicherheitssysteme gezielter auslösen zu können.

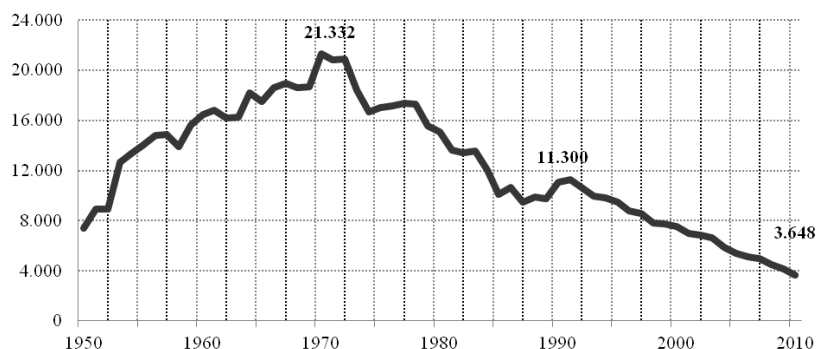


Bild 1 Zahl der Verkehrstoten in Deutschland (Quelle: Statistisches Bundesamt)

2 CISS – Crash Impact Sound Sensing

Im Vergleich zu bisherigen Sicherheitssystemen ist es mithilfe von Körperschallsensoren möglich, im Crash auf die Deformationsvorgänge in der Fahrzeugfront zu schließen. So misst die seit 2008 in Serie befindliche Crash Impact Sound Sensing Technologie, die zusammen mit Continental entwickelt wurde, die hochfrequenten Schwingungen, die durch unterschiedliche Deformationsmechanismen hervorgerufen werden. Zudem werden hieraus Kriterien berechnet, die dem System zusätzlich zur Verfügung gestellt werden. Damit wird eine Steigerung der Leistungsfähigkeit sowie der Kosteneffizienz der Crasherkennung bewirkt.

Bild 2 zeigt schematisch die Körperschallausbreitung im Fahrzeug. Hierbei breiten sich die hochfrequenten elastischen Wellen über die beiden Längsträger zur Fahrzeugmitte bis zur ACU¹ aus. Diese beinhaltet den Körperschallsensor. In **Bild 3** wird das konventionelle Airbagsystem (gestrichelte Linien) mit dem Körperschallprinzip (durchgezogene Linien) verglichen. Während die niederfrequenten Beschleunigungssensoren in der Fahrzeugmitte kaum zwischen AZT² und ODB³ unterscheiden können, liefert der Körperschallsensor ein hilfreiches und vor allem frühzeitiges Kriterium zur Crasheschwerebestimmung. Dies zeigt sich vor allem durch die hohe Amplitudendifferenz. Die Kollisionsschwere entscheidet darüber, ob die Rückhaltesysteme aktiviert werden müssen.

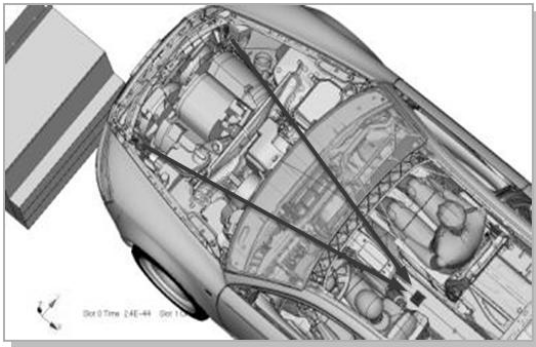


Bild 2 Ausbreitung des Körperschalls im Fahrzeug

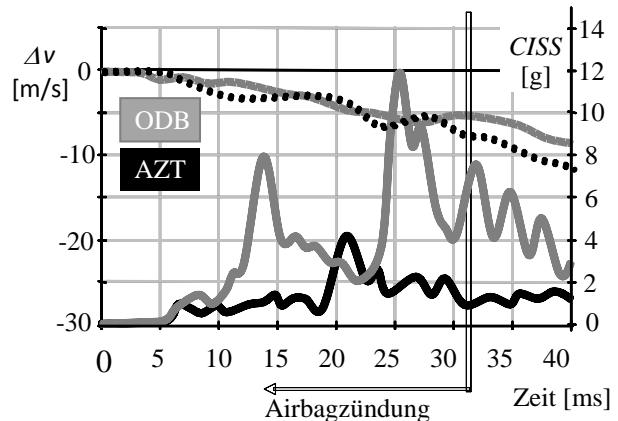


Bild 3 Vergleich zwischen AZT und ODB

3 active CISS – die nächste Generation

Die aktive Erzeugung von Körperschallsignalen stellt eine Erweiterung des beschriebenen Verfahrens dar. Der Körperschall wird bei einem Crash an der Fahrzeugfront erzeugt und breitet sich über die Struktur aus. Die Karosserie dient hierbei wiederum als Leiter des Körperschalls. Da sich die Anregung je nach Crashesituation unterscheidet, treten unterschiedliche Körperschallsignale auf. Deshalb wird bei active CISS ein definiertes Körperschallsignal bei einem Crash erzeugt. Das Signal beinhaltet die eigentliche relative Crashgeschwindigkeit und wird moduliert über die Fahrzeugstruktur bis hin zur Messposition in der Airbagsteuereinheit übertragen. Dort wird es anschließend wieder demoduliert. Das Modulationsverfahren, welches als Codierung für die Geschwindigkeitsinformation dient, bietet daher eine weitgehende Unabhängigkeit von den Struktureigenschaften des Fahrzeugs.

¹ Airbag Control Unit

² Allianz Zertifizierungstest Δ NoFire-Crash (leichter Crash bei 15 km/h)

³ Offset Deformable Barrier Δ Fire-Crash (schwerer Crash bei 64 km/h)

3.1 Mechanischer Aufbau

Die Information der relativen Crashgeschwindigkeit wird durch eine einfache konstruktive Maßnahme (siehe **Bild 4**) an der Fahrzeugfront während der Unfallsituation als hochfrequenter Körperschall in das Fahrzeug emittiert und erweitert das bestehende System [1]. Zur mechanischen Anregung fährt bei Kollisionen ein Schiebesitz am Typschadenelement, der durch ein Elastomer federnd in Anfangsstellung gelagert ist, zusammen. Es werden dabei durch Auslenkung einer mitfahrenden Feder Spannungswellen in die Struktur induziert. Die Spannungswellen breiten sich durch die Karosserie aus und werden durch Dispersion, parallele Ausbreitungspfade, Reflexion und Resonanzen stark verfälscht. Um die Verfälschung gering zu halten, werden durch die Mechanik schmalbandige, harmonische Sweeps erzeugt. Der Sweep beinhaltet die modulierte Geschwindigkeitsinformation und ist ein Sinussignal mit sich ändernder Frequenz. Seine Verwendung ist bekannt bei Fledermäusen, die Ultraschallsignale dieser Art aussenden, um ihre Umgebung zu erkunden, indem sie die Reflektionen auswerten. Im Normalfall existieren jedoch keine solchen frequenzmodulierten Schwingungen in der Natur, wie sie anwendungsbezogen genutzt werden sollen. Beispielsweise ist ein Sweep sehr gut von einer Eigenfrequenz zu unterscheiden, da sich deren Frequenz nicht ändert. active CISS wird so unabhängig von den Eigenfrequenzen und dem Aufbau des Fahrzeugs.

Da der Körperschall hochfrequent über die Struktur übertragen wird und das Airbagsteuergerät nur den niederfrequenten Bereich abtasten kann, müssen zwei Sweeps mit auf- und absteigender Frequenz (siehe **Bild 5**) generiert werden. Dieses Signalverarbeitungskonzept wird nachfolgend unter 3.2 ausführlich erklärt.

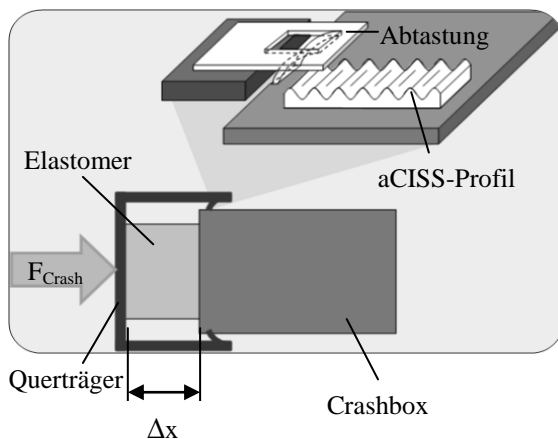


Bild 4 Mechanisches Konzept von aCISS

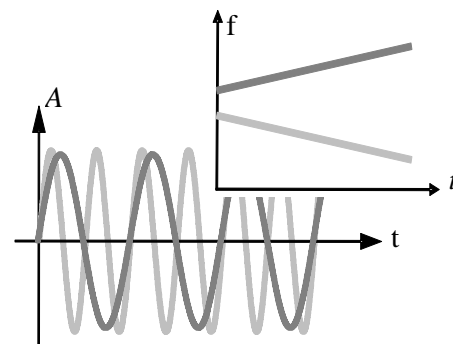


Bild 5 Schematische Darstellung des Doppelsweeps

3.2 Signalverarbeitungskonzept im Fahrzeug

Während der Übertragung über das Fahrzeug überlagern sich der auf- und absteigende Sweep. Die anschließende Verarbeitung des Körperschallsignals erfolgt in drei Schritten (siehe **Bild 6**).

Zunächst wird im Sensor die Demodulation durchgeführt. Der Bandpass schneidet die hoch- und niederfrequenten Anteile, die außerhalb des Nutzbandes liegen, ab. Über die folgende Quadratur wird das Signal in einen niedrigeren Frequenzbereich transformiert. Es entsteht ein Differenzsweep, welches nun im Sinusargument den auf- und absteigenden Sweep beinhaltet. Die bei der Quadratur entstehenden hochfrequenten Anteile fallen durch die Anwendung eines Tiefpassfilters weg. Es bleibt eine harmonische Schwingung mit Differenzfrequenz und Offset übrig, welche durch das Airbagsteuergerät abgetastet wird.

Im nächsten Schritt folgt eine Frequenz-Amplituden-Transformation (FAT). Das Signal wird dabei abgeleitet. Daher geht der Inhalt des niederfrequenten Sweeps in die Amplitude ein. Die Bildung des Absolutwerts und anschließende Tiefpassfilterung glätten das Signal und bilden eine Hüllkurve.

Abschließend wird die Hüllkurve durch eine lineare Regression angenähert. Der Wert der Steigung entspricht hierbei der Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeitsinformation wird somit aus dem niederfrequenten Signal extrahiert und als Kriterium dem Algorithmus zur Verfügung gestellt. Eine mathematische Beschreibung der Verarbeitungsschritte ist [4] zu entnehmen.

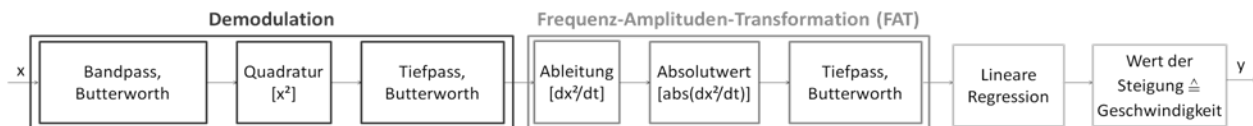


Bild 6 Signalverarbeitungskonzept im Fahrzeug

4 Körperschallausbreitungssimulation

Die am Institut für Angewandte Forschung der Hochschule Ingolstadt entwickelte Raytracing-Methode [2, 3] dient der Berechnung der Körperschallausbreitung von der Anregestelle (Crashbox) bis zum Sensor (siehe **Bild 7**). Damit ist es möglich bereits in einer sehr frühen Phase die Anwendbarkeit des Signalverarbeitungskonzepts zu testen. Hierbei ist es nicht erforderlich, Messdaten eines realen Prototyps zu nutzen.

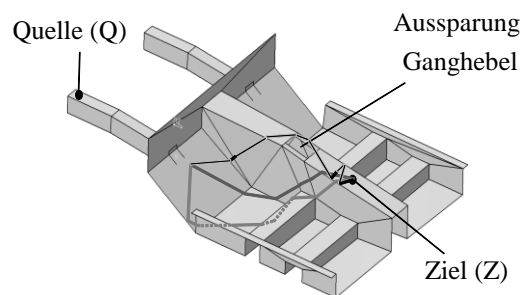


Bild 7 Anwendung der Raytracing-Methode

Als Eingangssignal für die eindimensionale TLM⁴-Methode dient zu Testzwecken ein generisch erzeugtes Signal, welches als Anregung der Mechanik angenommen wird.

Beispielhaft wird dies in **Bild 8** mit den Geschwindigkeiten 16 km/h, 24 km/h und 32 km/h veranschaulicht. Die TLM simuliert anschließend den Weg des Eingangssignals zur Zielposition (siehe **Bild 9**) und bezieht somit den Einfluss der Körperschallausbreitung mit ein.

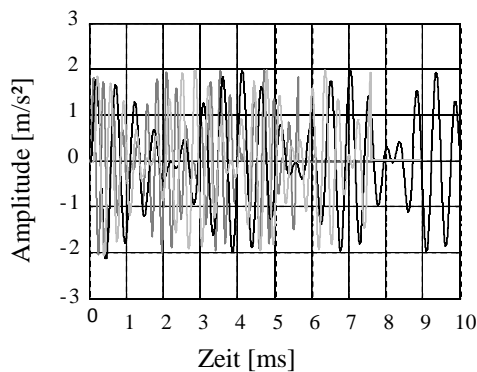


Bild 8 Generiertes Eingangsdatensignal

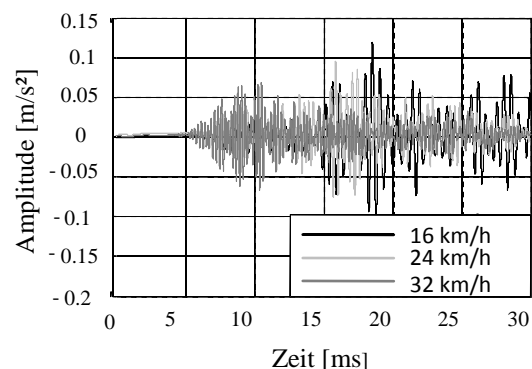


Bild 9 Simuliertes Ausgangssignal an der ACU

Auf das simulierte Ausgangssignal wird mittels eines numerischen Auswerteprogramms die Signalverarbeitung aus Bild 6 angewendet und über eine FFT abschließend analysiert.

Bild 10 zeigt die Steigungswerte an, welches sich aus der FAT bildet und liefert eine klare Trennung zwischen den einzelnen Geschwindigkeiten. Dies wird durch die Anwendung der FFT bestätigt, da jede

⁴ Transmission-Line-Methode

Geschwindigkeit in ein striktes Frequenzband (siehe **Bild 11**) eingeteilt ist. Mit zunehmender Geschwindigkeit würde der entsprechende Frequenzbereich nach rechts verschoben werden.

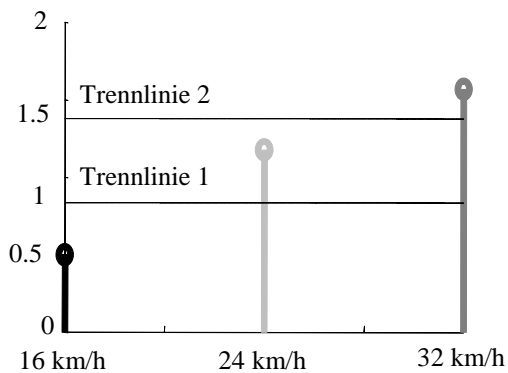


Bild 10 Wert der Steigung Δ Geschwindigkeit nach FAT

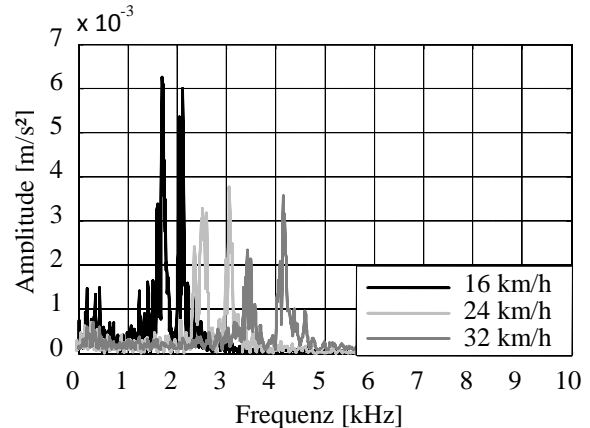


Bild 11 FFT des simulierten Ausgangssignal nach FAT

5 Diskussion

Obwohl das generierte Eingangssignal wegen der Dispersion durch die Übertragung über die Fahrzeugstruktur verschliffen wird (siehe Bild 9; hochfrequente Anteile erreichen die Zielposition früher als niederfrequente), ist eine klare Trennung der Frequenzbänder bei genauerer Betrachtung der Spektren an der ACU-Position eindeutig erkennbar. Das vorgestellte Signalverarbeitungsverfahren aus 3.2 und Bild 6 bietet daher mithilfe einfacher Signalverarbeitungsschritte eine Möglichkeit, die Geschwindigkeitsinformation der ACU zur Verfügung zu stellen. Auch wenn das dargestellte Verfahren auf generischen Daten basiert und mittels Körperschallsimulation der Einfluss der Karosserie nur virtuell abgebildet wird, zeigt diese simulative Abschätzung jedoch eine potentielle Machbarkeit für das Gesamtsystem.

Als nächster Schritt ist daher eine praktische Umsetzung der Prototypen geplant. Damit können Messungen an realen Fahrzeugkarosserien durchgeführt werden.

Literatur

- [1] C. Lauerer: Ein Beitrag zur Erhöhung des Insassenschutzes durch Körperschallmessung in der Crashererkennung. Dissertation. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. 2010
- [2] M. Luegmair: Erweiterung der Transmission-Line-Methode auf die Biegewelle zur Simulation von Crashesensorsignalen. Dissertation. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. 2011
- [3] M. Kohlhuber: Körperschallbasierte Seitencrashererkennung Chancen und Herausforderungen der Modellbildung. 9. Dresdner Sensor-Symposium, Band 39. Dezember 2009. Seite 53 – 57
- [4] M. Feser, T. Brandmeier, C. Lauerer, G. Brandmeier: Verfahren zur Aufprallererkennung bei Kraftfahrzeugen mit mindestens einer Körperschallerzeugungseinrichtung. Patent Nr.: DE 102009038430 A1. 2009

Dieses Thema wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Förderkennzeichen 1714X09, sowie die Bayerische Forschungsförderung, Förderkennzeichen AZ-861-09.