

Nichtlineare Modellierung einer Pkw-Hupe

Jörn Hübelt, Ennes Sarradj

Institut für Technische Akustik, TU Dresden, 01062 Dresden

Ein Mittel zur Modellierung elektro-akustischer Wandler ist die Beschreibung der Wandler-Teilsysteme durch Punktsysteme mit konzentrierten Parametern in enger Analogie zu elektrischen Netzwerken [2]. Diese Modellierungstechnik wurde in den vergangenen Jahren vielseitig verwendet, die Gültigkeit der ihr zugrunde liegenden Vereinfachungen muß jedoch für jede konkrete Simulationsaufgabe verifiziert werden.

Der Einsatz der Methode zur Beschreibung des akustischen Verhaltens einer Pkw-Hupe unter Berücksichtigung nichtlinearer Effekte soll im folgenden demonstriert werden. Doch zunächst sei kurz die Funktionsweise einer Hupe in Erinnerung gerufen.

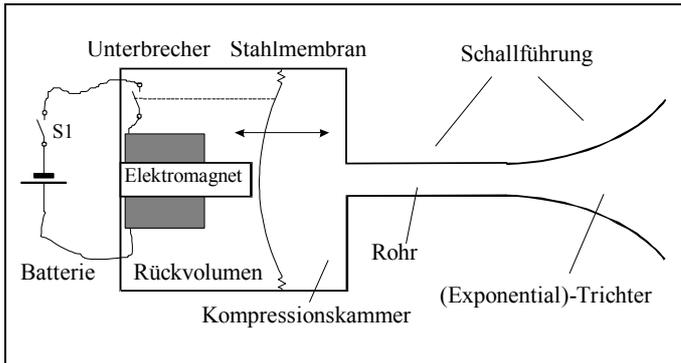


Bild 1: Funktionsprinzip einer Hupe.

Zum Zeitpunkt $t=0$ wird der Gleichstromkreis durch den Schalter S1 geschlossen (Bild 1). Der Elektromagnet zieht eine aus Stahl gefertigte Membran an, welche mit einem Unterbrecher mechanisch verbunden ist. Dadurch wird, nachdem die Membran eine bestimmten Position erreicht hat, der Stromkreis unterbrochen. Die Membran bewegt sich aufgrund ihrer Federwirkung in Richtung der Ruhelage zurück. Daraufhin kann der Unterbrecher den Stromkreis wieder schließen... Die sich ergebende Frequenz der Grundschwingung liegt im Bereich von 400-500Hz.

Die Modellierung erfolgt in zwei Stufen. Zur Bestätigung der getroffenen Vereinfachungen (z. B. Annahme der Membranmasse als Punktmasse...) wird zunächst im ersten Schritt ein lineares Modell im Frequenzbereich eingeführt [1]. Dieses Modell vernachlässigt nichtlineare Effekte (z.B. die Wirkung des Unterbrechers). Es kann daher nicht zur

vollständigen Abbildung der Funktionsweise herangezogen werden.

Mit der linearen Simulation wird jedoch die Untersuchung des Kleinsignalverhaltens der Hupen ermöglicht. Das erlaubt die Bestätigung der durch Messung bzw. Berechnung gewonnenen Parameter. Weiterhin kann infolge einer Parameter-Sensitivitätsanalyse eine Vereinfachung des Modells erfolgen.

Unter der Verwendung der bis dahin gewonnenen Erkenntnisse wird das lineare Modell nun auf die wesentlich erscheinenden nichtlinearen Effekte erweitert: die Wirkung des Unterbrechers, der Zusammenhang zwischen Steifigkeit der Membran und ihrer Auslenkung, der Zusammenhang zwischen Strom und Kraft (Elektromagnet $F \sim I^2$), das Verhalten der Luft innerhalb der Kompressionskammer als Funktion des sehr hohen Schalldruckes sowie der Auslenkung der Membran und die Aufsteilung der Schallwellen in der Schallführung hervorgerufen durch hohe Schalldruckpegel.

Während beim linearen Modell die Berechnung im Frequenzbereich erfolgen kann, muß das nichtlineare Modell im Zeitbereich berechnet werden.

Bild 2 zeigt das Modell einer Hupe. Die berücksichtigten Nichtlinearitäten sind durch einen Rahmen fett gekennzeichnet (vergleiche dazu [1]).

Wie eingangs erwähnt, ist der Zustand des Unterbrechers abhängig von der Lage der Membran. Durch die Integration der Schnelle-Zeitfunktion $v_{membran}(t)$ kann die Position $x(t)$ der Membran ermittelt werden. Die Integrationskonstante x_0 entspricht dabei der Ruhelage der Membran.

Das Übertragungsverhalten des Elektromagneten ist durch den Zusammenhang der Flußgrößen $F \sim I^2$ gekennzeichnet. Die entsprechende Relation der Feldgrößen mechanische Schnelle v und elektrische Spannung U kann durch Aufstellen der Energiebilanz des Übertragers gewonnen werden.

Nichtlineare Effekte im akustischen Teil treten vor allem in der Kompressionskammer und in der Schallführung auf.

Durch die Nachgiebigkeit N_K (siehe Bild 2) wird das Verhalten der Luft innerhalb der Kompressionskammer nachgebildet.

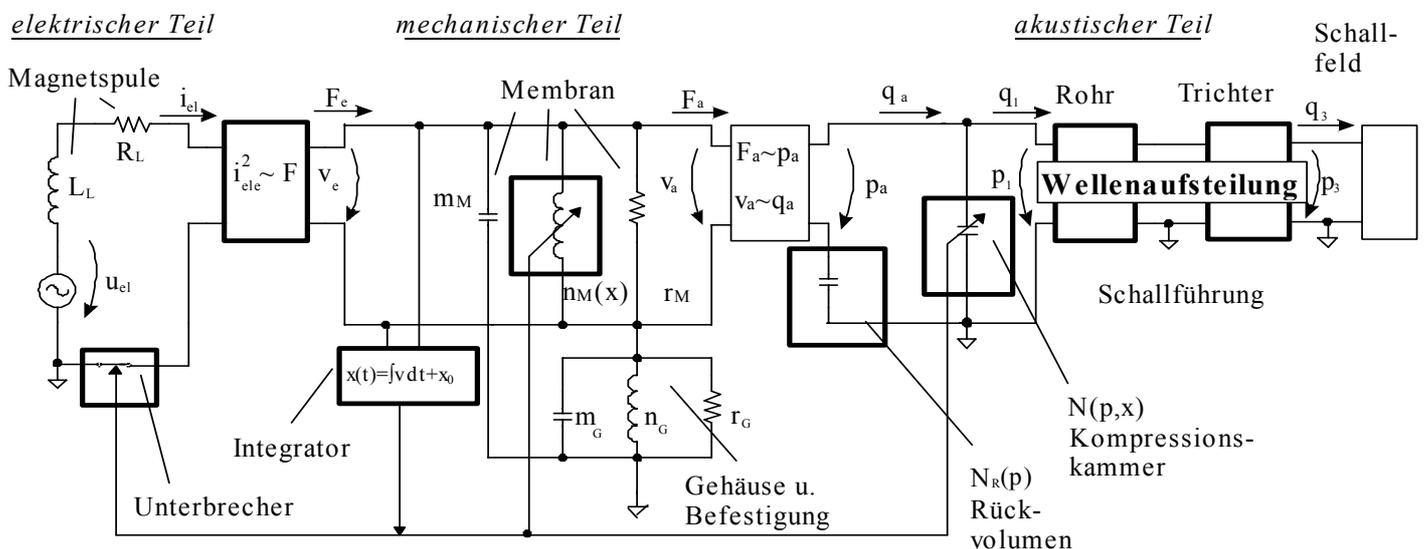


Bild 2: Nichtlineares Model einer Pkw-Hupe (Nichtlinearitäten fett gekennzeichnet).

Für Schalldruckpegel, die klein gegenüber dem Umgebungsdruck bzw. für Volumenänderungen, die klein gegenüber dem Volumen der Kammer sind, kann der Parameter N_K als konstant angenommen werden.

Da innerhalb des Kompressionsvolumens Schalldruckpegelwerte größer als 160dB auftreten und das Volumen der Kammer sehr klein ist, muß die Nachgiebigkeit N_K als eine Funktion der Membranauslenkung und des Schalldruckes modelliert $N_k(p,x)$ werden [3].

Bei der Herleitung der eindimensionalen Wellengleichung wird in der linearen Akustik die Schallgeschwindigkeit als konstant vorausgesetzt. Diese Annahme ist zutreffend solange der Schalldruckpegel klein gegenüber dem Umgebungsdruck ist.

In der Schallführung ist jedoch mit sehr hohen Wechseldrücken zu rechnen. Dies führt zu unterschiedlichen Phasengeschwindigkeiten. Dabei breiten sich Wellenphasen hohen Druckes schneller aus als Phasenanteile sehr niedrigen Druckes - die Welle wird „aufgesteilt“ [4]. Im Modell ist die Schallführung in sehr kleine Segmente unterteilt. Die zusätzliche positive bzw. negative Geschwindigkeit der Wellenphasen wird in Form von Flußquellen nachgebildet. Diese Flußquellen sind vom Schalldruck abhängig und an den Eingängen der Segmente angeordnet [3].

Eine erste Anwendung fand das Modell bei einer Parameter-Sensitivitätsanalyse. Dabei wurden vom Hersteller modifizierte Hupen untersucht und die Ergebnisse mit denen der Modellrechnung verglichen.

Das vorliegende Modell erlaubt insbesondere die Nachbildung von Einschwingvorgängen, es kann zur Modifizierung der Hupen herangezogen werden. Die zur Modellierung angewandte Netzwerkanalyse-Software PSPICE zeigte sich hierbei als ein geeignetes Werkzeug zur Behandlung derartiger Probleme.

Literatur

- [1] SARRADJ, E. , HÜBELT, J.: Modellierung der Schallführung von Pkw-Hupen, DAGA'98
- [2] REICHARDT, W.: Grundlagen der Technischen Akustik, Geest & Portig, Leipzig, 1968
- [3] Klippel, Schmitt,: „Modeling of the Nonlinear Behavior of the Horn Loaded Compression Driver System“, presented at the 92nd Convention of Audio Engineering Society, preprint No. 3256 (March 1992)
- [4] KLIPPEL, D. H.: Nonlinear wave propagation in horns and ducts, J. Acoust. Soc. Am. 98(1),1995, S.431

Diese Arbeit wurde unterstützt durch die Firma FIAMM, Montecchio Maggiore, Italy

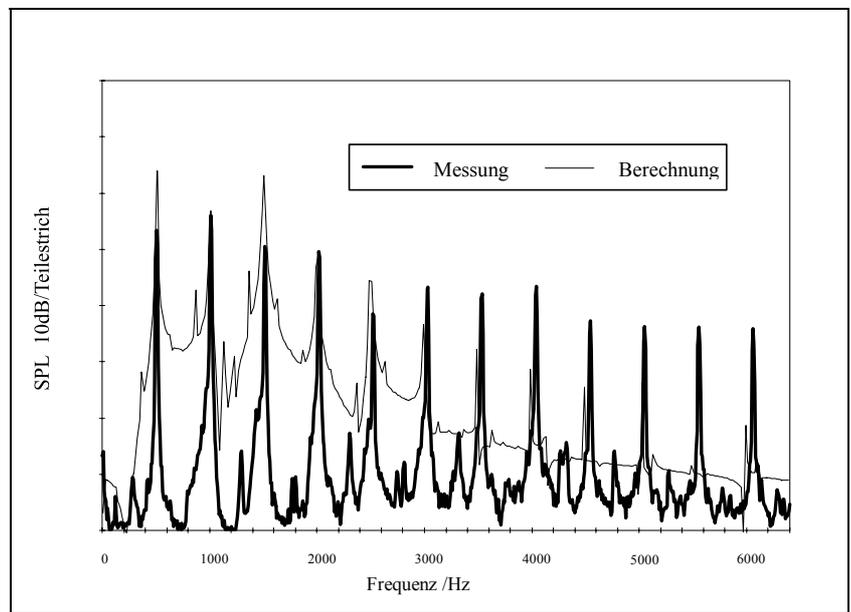


Bild 3: SPL am Trichterausgang der Hupe.

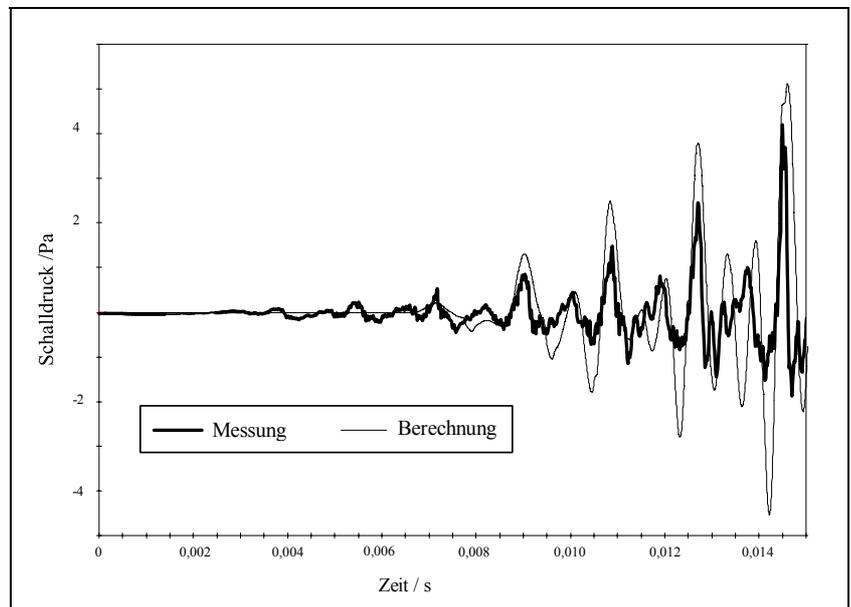


Bild 4: Schalldruck am Trichterausgang der Hupe - Einschwingvorgang.

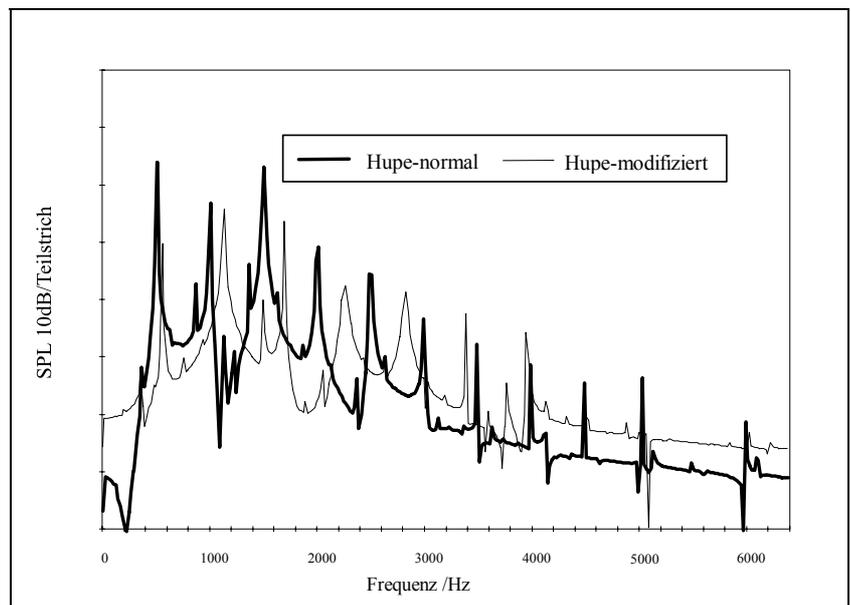


Bild 5: SPL am Trichterausgang der Hupe - Modifizierungen (Beispiel).