

Perzeptiver Ansatz zur Bestimmung der Verzerrungsreserve eines Lautsprechers

Andreas Escher, Steven van de Par, Reinhard Weber

Acoustics Group, Carl von Ossietzky University Oldenburg, 26129 Oldenburg, Deutschland

Einleitung

Bei der Audiowiedergabe über Lautsprechersysteme treten Verzerrungsprodukte auf. Diese lassen sich in lineare als auch in nichtlineare Verzerrungen einteilen. Bei linearen Verzerrungen handelt es sich um frequenzabhängige Amplituden- oder Phasenänderungen, wie sie z.B. bei Equalizern auftreten. Bei nichtlinearen Verzerrungen werden vom System Frequenzen erzeugt, die im Eingangssignal nicht vorhanden waren. Diese nichtlineare (NL) Verzerrungen können für einfache Sinustöne relativ gut bestimmt werden, jedoch geben diese gemessenen NL-Verzerrungsprodukte keine Angabe darüber, wie sich das Wiedergabesystem bei komplexeren Signalen, wie z.B. Musik, verhält und ob diese NL-Verzerrungsprodukte wahrnehmbar sind. Im Folgenden wird die Wahrnehmbarkeit von nichtlinearen Verzerrungen für Musiksignale untersucht.

Methode

Um dieses verzerrte Signal zu separieren, müssen zuerst die Einflussfaktoren des Systems geklärt werden. D.h. das Ausgangssignal $y(t)$ kann mathematisch durch Gleichung 1 beschrieben werden, wobei hier $x(t)$ dem Eingangssignal entspricht und h ist die Antwort des Systems auf das Eingangssignal. Diese Beschreibung des Systems ist wiederum in den linearen Teil $h_L(t)$ und den nichtlinearen Teil $h_{NL}(x(t))$, als Funktion von $x(t)$, aufgeteilt.

$$y(t) = x(t) * h_L(t) + h_{NL}(x(t)) \quad (1)$$

$$\leftrightarrow y(t) = y_L(t) + h_{NL}(x(t))$$

$$\leftrightarrow h_{NL}(x(t)) = y(t) - y_L(t) \quad (2)$$

Aufnahme von Verzerrungsprodukten bei Musiksignalen

Da nichtlineare Verzerrungen immer vom Eingangssignal abhängig sind, können diese NL Verzerrungen nicht durch Messung mit einfachen Sinustönen berechnet bzw. vorhergesagt werden. Die NL-Verzerrungen konnten jedoch durch die Gleichung 2 berechnet werden, indem Sinne, dass die NL Verzerrungen die Differenz zwischen dem aufgenommenen Musiksignal $y(t)$ und dem linearen Musiksignal $y_L(t)$ sind. Die Ermittlung des linearen Musiksignals wurde mit dem Verfahren von Angelo Farina [1] und Müller et al. [2] realisiert. Hierzu wurde ein logarithmischer Sweep bei gleichem Phon Pegel und bei gleicher Bandbreite, wie das Musiksignal, über das zu messende System wiedergegeben und ebenfalls wieder aufgenommen. Anhand dieses Sweeps kann nun, durch die Methode von Farina [1], die Impulsantwort in den nichtlinearen und den linearen Anteil des Systems aufgespalten werden. Hierbei sind die NL Verzerrungen in den vorderen

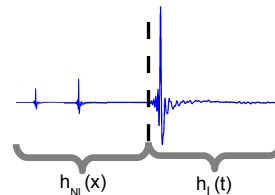


Abbildung 1: 2

Beispielhafte Impulsantwort des Systems, nach der Berechnungsmethode von Angelo Farina [1]

Bereich und die linearen Verzerrungen in den hinteren Bereich verschoben (siehe Abb. 1).

Dieser extrahierte lineare Anteil des Systems dient nun als lineares Musiksignal mit dem Amplituden- und Phasengang des Lautsprechers. Somit kann das NL Musiksignal aus Gl. 2 berechnet werden.

Stimuli

Als Stimuli wurden aus vier verschiedenen Musiksignalen zwei Ausschnitte (S_1 und S_2), mit einer Dauer von 1.5 Sekunden ausgewählt. Diese Musiksignale besitzen folgende Eigenschaften:

- Impulshaft: Schlagzeug
- Spektral voll: Gitarre
- Spektral leer: Violine
- Komprimiert: Punk Rock

Alle Musikstücke wurden vorher auf dieselbe Lautstärke von 70 Phon kalibriert [3] und bei selbigem Pegel aufgenommen.

Versuchsparadigma

Um nun die Wahrnehmungsschwellen der NL-Verzerrungen zu bestimmen, wurde für diesen Versuch ein 3I-2AFC Verfahren mit einer 1-up 2-down Methode angewandt. Aufgabe der Probanden war das unterschiedliche Signale zur Referenz heraus zu finden, wobei die Referenz immer im ersten Intervall präsentiert wurde, dieses bestand aus dem berechneten linearen Musiksignal. Im zweiten oder Dritten Intervall befand sich randomisiert eine versteckte Referenz und im jeweils anderen Intervall war ein lineares Signal mit einem nichtlinearen Anteil, welcher durch einen Vorfaktor angehoben bzw. abgesenkt werden konnte, enthalten.

Bei der Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle der nichtlinearen Verzerrungen haben 6 erfahrene Probanden teilgenommen mit einem Durchschnittsalter von 28 Jahren.

Die Darbietung der Signale wurde über Kopfhörer, bei einem Pegel von 65 dB SPL, realisiert.

Lautsprechersysteme

Um einen weiteren Einfluss zwischen verschiedenen Lautsprechersysteme zu untersuchen, wurden 3 Systeme ausgewählt, wobei es sich bei zwei Systemen um 1-Wege Lautsprecher handelte und das dritte System ein 3-Wege Lautsprechersystem war. Die Systemeigenschaften sind in der folgenden Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Frequenzbereich der einzelnen Systeme

	System 1	System 2	System 3
Freq.-Bereich [kHz]	0.2-13	0.1-16	LF: 0.02-0.3 MF: 0.3-8 HF: 2.3-18

Für das 3-Wege-System wurden zum einen die einzelnen Wege evaluiert, als auch alle Wege zusammen. Anhand dieses Verfahrens soll der Einfluss der einzelnen Wege untereinander untersucht werden.

Ergebnisse

In der folgenden Tabelle 2 ist die gemessene Schwelle für die Wahrnehmbarkeit der nichtlinearen Verzerrungen oberhalb bzw. unterhalb des tatsächlichen RMS der Verzerrung in dB aufgelistet. Hierbei bedeutet ein positiver Wert, dass die tatsächlich gemessenen Verzerrungspegel im Signal nicht wahrgenommen werden. Besitzt die Verzerrungsreserve einen negativen Vorfaktor, so sind die tatsächlichen Verzerrungsprodukte noch im direkten Vergleich, zwischen linearem und nichtlinearem Signal, wahrnehmbar (siehe Gleichung 3).

$$L_{VR} = L_{X_{NL}Th} - L_{X_{NL}} \quad (3)$$

Tabelle 2: Mittelwerte der Verzerrungsreserve in dB, gemittelt über alle Probanden, für das jeweilige System und das entsprechende Musikstück (S₁ & S₂). System 1 und System 2 sind jeweils 1-Wege Lautsprecher wobei für das dritte System alle drei Wege zusammen dargeboten wurden.

Instrumente	System 1	System 2	System 3
Schlagzeug	14.6	11.3	4.3
Gitarre	12.3	7.5	10.4
Punk Rock	13.4	7.4	5.0
Violine	13.1	-0.5	8.3

Anhand der erhobenen Daten zur Bestimmung der Verzerrungsreserve ist deutlich zu erkennen, dass überwiegend eine positive Verzerrungsreserve vorhanden ist. Dies trifft lediglich nicht für das Violinen Signal bei dem 2. System zu. Hier zeigt die gemessene Wahrnehmungsschwelle einen negativen Vorfaktor, somit kann das nichtlineare verzerrte Signal von dem linearen Referenzsignal unterschieden werden.

Es zeigt sich ebenso, dass für das 3-Wege System die Verzerrungsreserve teilweise niedriger ist, als für die 1-Wege Systeme. Zur genaueren Betrachtung ist in Tabelle 3 noch einmal jeder einzelnen gemessene Weg, des 3-Wege Systems,

aufgelistet. Hierbei wurden die NL-Verzerrungen eines einzelnen Weges mit dem gesamten linearen Signal addiert. Somit konnte der Einfluss z.B. des Mittentöners auf das Gesamtsignal analysiert werden.

Tabelle 3: Mittelwerte der Verzerrungsreserve in dB, gemittelt über alle Probanden, für das System 3 und das entsprechende Musikstück (S₁ & S₂). Evaluiert wurden die einzelnen Wege des Systems (Tiefen, Mitten und Höhen) separat.

Instrumente	Tiefen	Mitten	Höhen
Schlagzeug	21.4	15.2	12.5
Gitarre	30.8	22.6	20.0
Punk Rock	20.3	17.2	18.5
Violine	10.6	17.3	17.4

Anhand der Tabelle 3 ist zu erkennen, dass die einzelnen Wege des Lautsprechers immer eine positive Verzerrungsreserve besitzen. Des weiteren scheinen sich die einzelnen Wege untereinander zu beeinflussen, dies ist daran zu erkennen, dass die Verzerrungsreserve für jeden einzelnen Weg größer ist, als für die Wiedergabe aller 3-Wege zusammen. Hierbei ist aber keine einfache Addition zu erkennen.

Zusammenfassung

Ziel dieser Studie ist die Untersuchung eines neuen Ansatzes zur Bestimmung der Wahrnehmung nichtlinearer Verzerrungen bei Musiksignalen. Zum Vergleich der Methode wurden verschiedene Lautsprechersysteme untersucht, ebenso diente zur Evaluierung der Wahrnehmungsschwelle der hörbaren NL Verzerrungen ein psychoakustischer Ansatz. Es hat sich in den Ergebnissen gezeigt, dass die Wahrnehmungsschwelle der Verzerrungen abhängig vom jeweiligen Eingangssignal und dem System ist.

Anhand dieser Ergebnisse lässt sich die Prognose aufstellen, dass für die Höhe der Verzerrungsreserve die dynamischen und spektralen Eigenschaften des Eingangssignals zuständig sind. Des weiteren kann auch der Frequenzbereich des Systems als abhängige Parameter betrachtet werden und somit einen Einfluss auf die Verzerrungsreserve haben. Als letzten möglichen Faktor ergibt sich der Parameter des 1-Wege oder mehr-Wege Systems. Bei einem mehr-Wege System interagieren die einzelnen Wege mit einander, so dass sich hieraus ein geringere Verzerrungsreserve ergibt, als es für jeden einzelnen Wege der Fall wäre.

Literatur

- [1] Farina, A. (2000). Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique. In Audio Engineering Society Convention 108
- [2] Müller, S. und Massarani, P. (2001) Transfer-Function Measurement with Sweeps, J. Audio Eng. Soc, 49, 443-471
- [3] Zwicker E. und Fastl H. (1999), Psychoacoustics: Facts and models", 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin