

# Psychoakustische Experimente zur Knallhaftigkeit

Hugo Fastl, Bernhard Lichtinger, Stefan Kerber

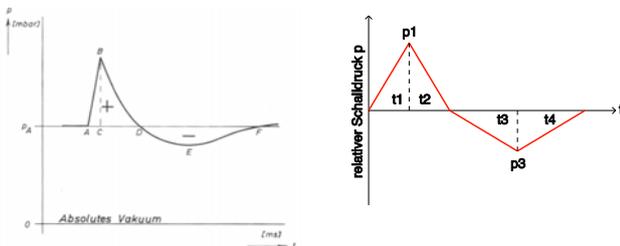
AG Technische Akustik, MMK, Technische Universität München, 80333 München, E-Mail: fastl@mmk.ei.tum.de

## Einleitung

Knallgeräusche weisen sehr kurze Anstiegszeiten der Schalldruck-Zeitfunktion auf, die bei der Speicherung und Übertragung durch datenreduzierende Medien in der Regel nicht originalgetreu übertragen werden können. Dennoch sind aus der Praxis keine Beschwerden über mangelhafte Geräuschqualität von Knallgeräuschen bekannt. Um für zukünftige Kodierverfahren Möglichkeiten und Grenzen auszuloten, wurde in psychoakustischen Messreihen untersucht, wie sich Veränderungen in den Anstiegs- und Abfallzeiten synthetisierter Knallgeräusche auf die wahrgenommene "Knallhaftigkeit" der Geräusche auswirken. Ziel war es, Grenzwerte für Anstiegs- und Abfallzeiten zu ermitteln, die nicht überschritten werden dürfen, damit Schalle noch als typische Knallgeräusche wahrgenommen werden.

## Schallreize

Knallgeräusche wurden mittels MATLAB in Anlehnung an Pfander et al. (1975) synthetisiert. Abb.1 zeigt die von diesen Autoren vorgeschlagene idealisierte Form eines Knallgeräusches und dessen angenäherte Form für die Synthesen in Matlab. Die einzelnen Syntheseparameter sind zusammen mit deren Wertebereichen in den Tabellen I und II zusammengefasst.



**Abbildung 1:** Idealisierte Form eines Knallgeräusches (links) nach Pfander et al. (1975, S. 23) und dessen Annäherung zur Synthese in MATLAB (rechts).

## Experimente

An den Experimenten nahmen 11 normalhörende Versuchspersonen im von Alter 23 bis 60 Jahren (Median 25 Jahre) teil. Die Knallgeräusche wurden in einer schallgedämmten Kabine diotisch über elektro-dynamische Kopfhörer (Beyer DT 48) mit Freifeldentzerrer nach Fastl und Zwicker (2007, S. 7) dargeboten. Aufgabe der Versuchspersonen war, die Geräusche nach ihrer „Knallhaftigkeit“ auf einer Skala von 0 (kein Knall) bis 100 (eindeutiger Knall) einzuordnen. Zunächst wurde jeder Testperson eine Trainingssequenz von 10 Geräuschen dargeboten, die das zu erwartende Spektrum an Schallen repräsentierten. Bei den Messreihen

**Tabelle 1:** Übersicht über die variierten Parameter

Parameter	Funktion
p1	Maximum condensatio
t1	Anstiegszeit von 0 auf Max condensatio
t2	Abfallzeit vom Max condensatio auf 0
p3	Maximum rarefactio
t3	Anstiegszeit von 0 auf Maximum rarefactio
t4	Abfallzeit vom Maximum rarefactio auf 0
t12	t1 und t2 werden gleichzeitig verändert
t34	t3 und t4 werden gleichzeitig verändert
t1234	t1, t2, t3 und t4 werden gleichzeitig verändert

**Tabelle II:** Wertebereich der für die Geräuschsynthesen verwendeten Parameter

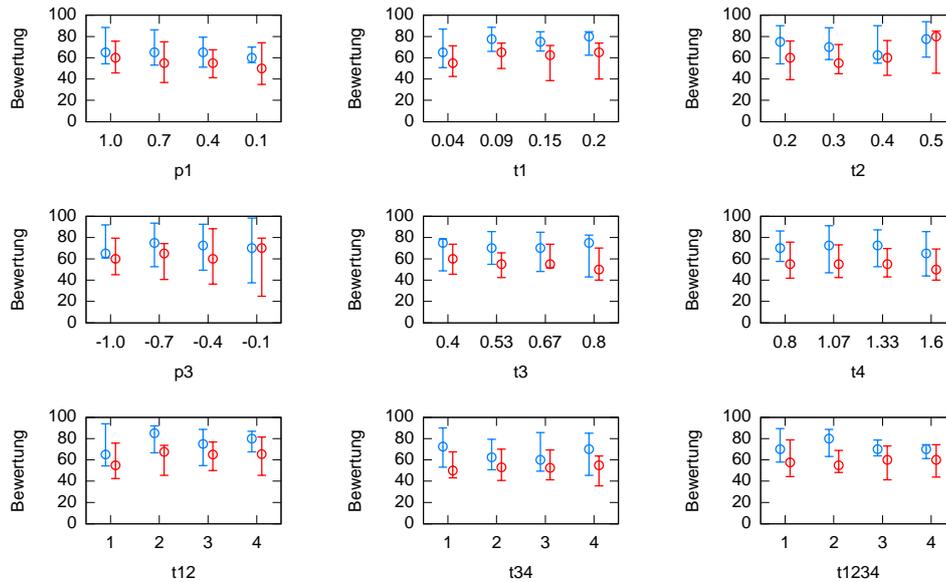
Parameter	Werte
p1	1.00, 0.70, 0.40, 0.10 Pa
t1	0.04, 0.09, 0.15, 0.20 ms
t2	0.20, 0.30, 0.40, 0.50 ms
p3	-1.0, -0.7, -0.4, -0.1 Pa
t3	0.40, 0.53, 0.67, 0.80 ms
t4	0.80, 1.07, 1.33, 1.60 ms
Nachhallzeit	0, 576, 1152 ms
Schallpegel $L_F$	90, 96 dB

wurden den Versuchspersonen die Knallgeräusche je viermal in unterschiedlicher Reihenfolge dargeboten. Aus den jeweils vier Messwerten wurden individuelle Mediane berechnet und dann über alle Versuchspersonen deren Mediane und Quartile gebildet. Dementsprechend basieren die Symbole in den Figuren auf jeweils 11 individuellen Medianen aus 44 Messwerten.

Die Ergebnisse wurden mit SPSS auf Signifikanz geprüft. Dazu wurden der U-Test (nach Wilcoxon, Mann und Whitney) bzw. der H-Test (nach Kruskal und Wallis) mit einem Signifikanzniveau von 5% gewählt (vgl. Sachs 2004).

## Ergebnisse

Entgegen jeglicher Erwartung wurde für **alle** in Tabelle II aufgelisteten Parametervariationen der Geräusche entsprechend der schematischen Darstellung in Abb. 1 (ohne Nachhall) bei einem Schallpegel  $L_F = 96$  dB **KEIN** Knall wahrgenommen!!



**Abbildung 2:** Beurteilung der Knallhaftigkeit für Geräusche gemäß den in den Tabellen I und II aufgelisteten Parametervariationen bei 1152 ms Nachhallzeit und  $L_F = 90$  dB (rot) bzw. 96 dB (blau).

Auf Nachfrage wurden die Geräusche von den Versuchspersonen eher als „click“ bezeichnet. Ganz offensichtlich fehlt den in Anlehnung an Pfander et al. 1975 generierten Signalen ein für einen „Knall“ typisches Merkmal.

Die Analyse von Knallgeräuschen aus Videos förderte zu Tage, dass die Signale dort immer mit Hallfahnen realisiert werden. Deshalb wurden in einem weiteren Experiment die Knallgeräusche entsprechend einem Vorschlag von Moorer (1979) mit Nachhallzeiten von 576 ms bzw. 1152 ms verhallt.

Abb. 2 zeigt entsprechende Ergebnisse für die längere Nachhallzeit. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass durch das Hinzufügen von Nachhall die für Knalle typische Geräuschqualität erzeugt werden kann. Allerdings haben die hier gewählten Parametervariationen keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die wahrgenommene Knallhaftigkeit. Lediglich eine Zunahme der Knallhaftigkeit mit dem Schallpegel kann statistisch signifikant nachgewiesen werden (vgl. rote und blaue Symbole in Abb. 2).

Für die kürzere Nachhallzeit von 576 ms zeigt sich keinerlei statistisch signifikanter Einfluss der Parameter auf die Knallhaftigkeit der Geräusche.

Andererseits beeinflusst die Nachhallzeit die Knallhaftigkeit signifikant: Über alle Parametervariationen gemittelt ergibt sich bei 90 dB ein Wert der Knallhaftigkeit von 33,8 für die kurze Nachhallzeit und von 50,0 für die längere Nachhallzeit. Bei 96 dB Pegel lauten die entsprechenden Werte 42,3 und 61,3.

Für eine Pegelerhöhung um 6 dB steigt demnach die Knallhaftigkeit bei kurzer Nachhallzeit im Mittel um den Faktor 1,25, bei langer Nachhallzeit um den Faktor 1,23 an. Hinsichtlich der Lautheit entspricht eine Pegelerhöhung um

6 dB allerdings etwa einem Faktor 1,52. Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass die Versuchspersonen in der Tat versucht haben, die Knallhaftigkeit und nicht etwa nur die Lautheit zu beurteilen.

Bei Verlängerung der Nachhallzeit um den Faktor 2 steigt die Knallhaftigkeit im Mittel um den Faktor 1,48 (für  $L_F = 90$  dB) bzw. 1,45 (für  $L_F = 96$  dB) an.

## Diskussion

Als völlig unerwartetes Ergebnis haben die Untersuchungen erbracht, dass Signale, die von Friedrich Pfander, dem Doyen des Fachgebiets Knalltrauma als Knalle bezeichnet werden, in psychoakustischen Experimenten nicht als solche erkannt werden (Knallhaftigkeit 0 => kein Knall)! Erst nach Hinzufügen von Nachhall werden die Geräusche als Knalle bezeichnet und skaliert. Hier scheint die Begrifflichkeit "Knall" durch Alltags-Erfahrungen aus dem Bereich audiovisueller Medien wesentlich geprägt zu sein. Aufgrund dieser unvorhersehbaren Wendung kann anhand der Ergebnisse der hier beschriebenen psychoakustischen Experimente kein Grenzwert für Anstiegs- und Abfallzeiten von Knallgeräuschen angegeben werden.

## Literatur

- [1] Pfander, F., Bongartz, H., Brinkmann, H.: Das Knalltrauma, Springer Verlag . Berlin Heidelberg New York , 1975
- [2] Fastl, H., Zwicker, E.: Psychoacoustics – Facts and Models. 3<sup>rd</sup> Ed., Springer Berlin Heidelberg New York , 2007
- [3] Sachs, L.: Angewandte Statistik. 11 Auflage, Springer, Heidelberg 2004.
- [4] Moorer, J. A.: About this reverberation business. Computer Music Journal 3, 13-28. 1979.