

Vergleich von Lautheits-Zeitmustern verschiedener Lautheits-Analysesysteme

H. Fastl, W. Schmid

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, Technische Universität München

Einführung

Für die meßtechnische Beurteilung von Schallen finden zunehmend Lautheits-Analysesysteme Verwendung. Dabei werden für die Realisierung von Lautheits-Algorithmen unterschiedliche Hardware- und Software-Konzepte eingesetzt (vgl. Fastl und Schmid 1997). Trotz dieser Unterschiede zeigt sich im Hinblick auf spektrale Effekte eine gute Übereinstimmung in den Anzeigen von Lautheits-Analysesystemen verschiedener Hersteller mit Abweichungen um lediglich etwa 5%. In dieser Arbeit sollen nun Aspekte der zeitlichen Verarbeitung von Lautheits-Analysesystemen für stark zeitvariante Schalle verglichen werden.

Schallreize

Als Testschalle wurden Sinustonimpulse bei 250 Hz, 1 kHz und 4 kHz Mittenfrequenz mit Dauern von 10 ms, 50 ms und 500 ms verwendet, die mit einer Gaußförmigen Übergangsfunktion ($T_{rG} = 2$ ms) ein- und ausgeschaltet wurden. Der Pegel der Dauerschalle, aus dem die Tonimpulse ausgeschnitten wurden, war 70 dB. Diese Testschalle wurden gewählt, um die dauerabhängigen Abklingfunktionen der spezifischen Lautheit überprüfen zu können (vgl. Fastl 1988).

Als weitere Gruppe von Testschallen wurden frequenzmodulierte Töne mit 1500 Hz Mittenfrequenz, einem Frequenzhub von ± 700 Hz sowie einem Schallpegel von 60 dB gewählt. Diese FM-Töne wurden bei Modulationsfrequenzen von 0, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 und 200 Hz getestet. Da bei FM-Tönen mit wachsender Modulationsfrequenz die „effektive Fläche“ im Lautheits-Tonheitsmuster zunimmt, ergibt sich eine Zunahme der Gesamtlautheit. FM-Töne wurden als Testschalle gewählt, da sie die unterschiedlichen Strategien der einzelnen Lautheits-Analysesysteme bezüglich der Interaktion spektraler und zeitlicher Effekte erhellen (Zwicker und Fastl 1990).

Ergebnisse

Figur 1 zeigt Spezifische Lautheits-Zeitmuster für die untersuchten Tonimpulse. Ohne auf Details einzugehen ist zu erkennen, daß manche Lautheits-Analysesysteme recht flache Abklingkurven der spezifischen Lautheit aufweisen. Darüber hinaus zeigt ein System insbesondere bei 10 ms Dauer ein wesentlich flacheres Ein- und Ausschwingen sowie einen um ein Drittel geringeren Maximalwert der spezifischen Lautheit.

Figur 2 zeigt die Lautheits-Zeitmuster der untersuchten FM-Töne. Allen Daten ist gemeinsam, daß – im Einklang mit der subjektiven Wahrnehmung – bei höheren Modulationsfrequenzen größere Werte der Lautheit erreicht werden als bei unmodulierten Tönen (vgl. Zwicker und Fastl 1990). Im Detail zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede. Während drei Lautheits-Analysesysteme recht ähnliche Lautheits-Zeitmuster aufweisen, ergibt sich für ein System ein durchwegs glatterer Verlauf, für ein anderes System gilt dies jedoch nur bei hohen Modulationsfrequenzen.

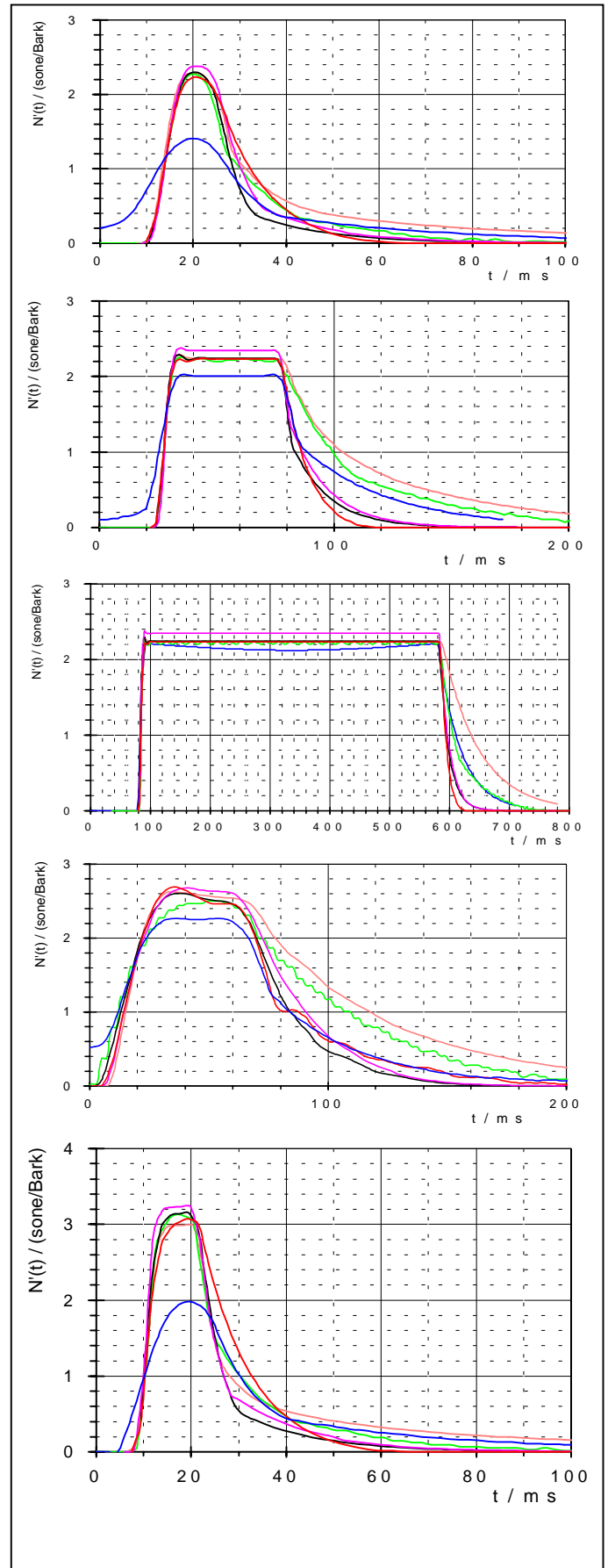


Fig. 1 : Spezifische Lautheits-Zeitmuster von Tonimpulsen.
Reihenfolge von oben nach unten: 1 kHz mit 10 ms, 50 ms und 500 ms Dauer, 250 Hz mit 50 ms Dauer sowie 4 kHz mit 10 ms Dauer. Schallpegel 70 dB, $T_{rG} = 2$ ms.

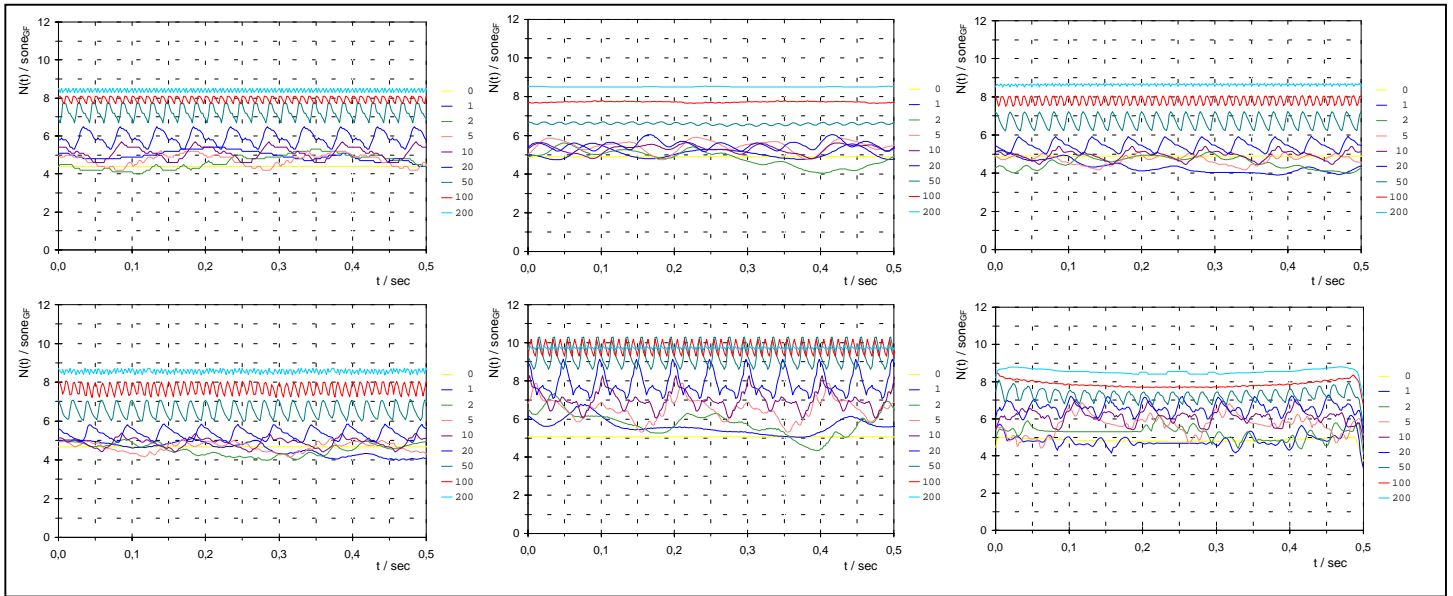


Fig. 2: Lautheits-Zeitmuster von FM-Tönen.
 Frequenz 1500 ± 700 Hz, Pegel 60 dB, Modulationsfrequenz 0, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 und 200 Hz.

Tabelle I: Perzentillautheiten N_5 , N_{50} und N_{95} für jeweils sechs verschiedene Lautheits-Analysesysteme bei neun Modulationsfrequenzen

f_{mod} / Hz	N_5 / sone _{GF}						N_{50} / sone _{GF}						N_{95} / sone _{GF}					
0	4,40	4,90	4,89	4,66	5,08	4,99	4,40	4,90	4,89	4,66	5,08	4,87	4,40	4,90	4,89	4,66	5,08	4,83
1	5,30	5,46	5,03	5,01	6,26	5,29	4,60	4,78	4,64	4,60	5,32	4,73	4,00	4,05	3,99	3,95	4,22	4,41
2	5,20	5,44	4,96	4,95	6,82	5,76	4,70	4,91	4,61	4,56	5,78	5,35	4,10	4,11	4,05	4,05	4,52	4,75
5	5,20	5,84	5,03	4,97	7,28	6,64	4,90	5,47	4,75	4,72	6,50	5,87	4,20	4,77	4,25	4,23	5,48	4,94
10	5,60	5,60	5,29	5,25	7,84	6,95	5,10	5,35	4,99	4,92	6,88	6,23	4,60	4,86	4,50	4,47	6,18	5,51
20	6,40	5,96	5,86	5,78	8,94	7,23	5,80	5,51	5,47	5,34	7,60	6,65	5,30	5,21	5,03	4,94	7,12	6,13
50	7,70	6,69	7,23	7,05	10,28	7,67	7,20	6,60	6,78	6,50	9,10	7,31	6,70	6,51	6,25	6,06	8,62	6,90
100	8,10	7,77	8,06	8,00	10,20	8,08	8,00	7,74	7,84	7,68	9,88	7,86	7,70	7,67	7,55	7,32	9,26	7,76
200	8,50	8,54	8,72	8,68	9,88	8,78	8,40	8,50	8,63	8,56	9,72	8,57	8,30	8,49	8,55	8,44	9,64	8,48

Im Gegensatz dazu zeigt ein weiteres System jedoch eine größere zeitliche Variation. Diese Unterschiede lassen auf unterschiedliche Zeitkonstanten in der Verarbeitung der spezifischen Lautheitsmuster einerseits sowie der Gesamtlautheit andererseits schließen. Um den Anstieg der Lautheit mit wachsender Modulationsfrequenz etwas quantitativer zu erfassen, sind in Tabelle I die Perzentillautheiten N_5 , N_{50} und N_{95} angegeben. Wie erwartet steigen mit zunehmender Modulationsfrequenz die Lautheitswerte an. Allerdings unterscheiden sich die Anzeigen der unterschiedlichen Lautheits-Analysesysteme bei den hier studierten zeitlichen Merkmalen viel deutlicher als bei den früher beschriebenen spektralen Merkmalen.

Ausblick

Die hier dargestellten Daten zeigen, daß Lautheits-Analysesysteme unterschiedlicher Hersteller bei stark zeitvarianten Schallen erheblich größere Unterschiede aufweisen als dies bei der Analyse stationärer Schalle der Fall ist (vgl. Fastl und Schmid, 1997). Möglicherweise ist die bessere Übereinstimmung bei den spektralen Merkmalen darauf zurückzuführen, daß in DIN 45 631 für stationäre Lautheiten bereits eine Norm mit einem Computerprogramm vorliegt.

Aus diesem Grunde wird ein Rechenprogramm, das sich für die Beschreibung der nichtlinearen zeitlichen Effekte der Lautheit eignet, vorgeschlagen. Wenn sich dieses Programm in der Praxis bewährt, könnte es – ähnlich wie das Programm zur Berechnung der stationären Lautheit – in einen Normvorschlag einfließen.

Die Autoren danken Mitgliedern des DIN-NALS A1 AK1 für ihre Unterstützung.

Literatur

Fastl, H., (1988), Gehörbezogene Lärmmeßverfahren. In: Fortschritte der Akustik, DAGA'88, Verl.: DPG-GmbH, Bad Honnef, 111-124.

Fastl, H., Schmid, W., (1997), Comparison of loudness analysis systems. In: Proc. inter-noise '97, Vol. II, 981-986.

Zwicker, E., Fastl, H., (1990), Psychoacoustics - Facts and Models, Springer-Verlag.

Literatur im www:
<http://www.mmk.e-technik.tu-muenchen.de/admin/noise.html>