

# Untersuchungen zur Halligkeit von zeitvarianten synthetischen und natürlichen Schallen

Josef Chalupper

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, Technische Universität München

## Einführung

Wenn Tonssequenzen mit unterschiedlichen Pausendauern gleich "hallig" klingen sollen, so muß - bei gleicher Nachhallzeit  $T_N$  - für die Sequenz mit den kürzeren Pausen ein größerer Hallpegel (Mischungsverhältnis zwischen Hall und Originalschall) gewählt werden. Aus diesem Befund leiteten Gardner und Griesinger die Hypothese ab, daß die Halligkeit zeitvarianter Schalle zusammenhängt mit einer Lautheitsintegration über dem hörbaren Nachhall [Gar94]. Dies bedeutet, daß der Unterschied zwischen den Spezifischen Lautheits-Tonheits-Zeitmustern [Zwi99] von verhalltem und trockenem Schall ein Maß für die Halligkeit ist. Diese Modellvorstellung ist in Abb. 1 anhand der entsprechenden Muster eines rechteckförmigen geschalteten Schalls ("Puls") dargestellt. Die gestreifte Fläche ist der Anteil des Musters des verhallten Pulses, der das Muster des trockenen überragt, und deshalb gemäß oben formulierter Hypothese ein Maß für die Halligkeit ist. Da der Spezifische Lautheits-Zeitverlauf hierbei die wesentliche Größe ist, kann die Halligkeit zeitvarianter Schalle ebenso wie die Schwankungsstärke und Rauigkeit als dynamische Hörempfindung angesehen werden. Dynamische Hörempfindungen können zur Anpassung dynamischer Parameter (wie Regelzeiten) von Hörgeräten verwendet werden [Cha01].

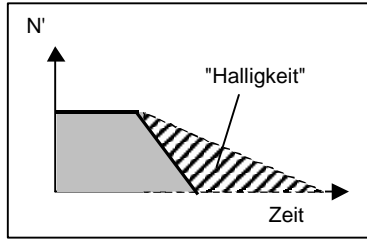


Abb.1: Modellvorstellung

Die Motivation für diese Arbeit war nun einerseits, die Modellvorstellung zu überprüfen und andererseits, zu untersuchen, ob die Halligkeit bei der Hörgeräteanpassung eingesetzt werden kann.

## Experimente

Sämtliche Experimente wurden mit 8 normalhörenden Versuchspersonen durchgeführt, die jeden Schall jeweils 4 mal beurteilten. Dabei wurden als Versuchsmethoden entweder Größenschätzung mit Ankerschall (GmA) oder eine Kategorialskalierung benutzt. Bei ersterer mußten die Probanden die Halligkeit des Testschalls relativ zum Anker (Halligkeit=100) beurteilen und bei zweiterer auf die Frage "wie stark hallt es?" mit einer von sieben Verbalkategorien antworten (s. Abb.6). Es wurden keine Erläuterungen zur Halligkeit gegeben. Die Ergebnisse sind jeweils anhand der Mediane und Quartile dargestellt. Alle Schalle wurden monotonisch (außer bei den Versuchen zur binauralen Darbietung) über einen freifeldentzerrten Kopfhörer dargeboten.

### 1. Halligkeit synthetischer Schalle

Im ersten Experiment wurde die Halligkeit von Folgen aus Rauschpulsen („GAR“, Gleichmäßig Anregendes Rauschen [Zwi99]) untersucht. Eine Folge bestand jeweils aus sieben Pulsen und den dazwischenliegenden Pausen. Diese Pulsfolgen wurden durch Faltung mit Impulsantworten von Räumen mit verschiedenen Nachhallzeiten

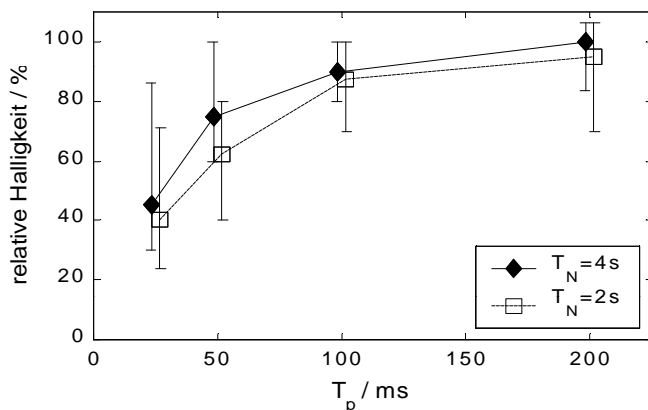


Abb.2: Relative Halligkeit als Funktion der Pausendauer.

verhällt. Die Dauer eines Pulses betrug immer 200 ms, während der Pegel  $L$ , die Nachhallzeit  $T_N$  und die Pausendauer  $T_P$  variiert wurden. Als Anker wurde die Folge mit den jeweiligen Maximalwerten verwendet ( $L = 70$  dB,  $T_N = 4$  s und  $T_P = 200$  ms). Mit zunehmender Pausendauer nimmt die relative Halligkeit bis etwa 100 ms zu, wo sie in eine Sättigung eintritt (Abb.2, Werte für  $L = 50$  dB). Die Kurven für  $T_N = 2$  s und  $T_N = 4$  s verlaufen nahezu parallel, wobei mit  $T_N = 4$  s nur eine geringfügig größere Halligkeit erzielt wird. Die gemessenen Werte bestätigen die Hypothese, daß die Halligkeit auf einer Lautheitsintegration beruht.

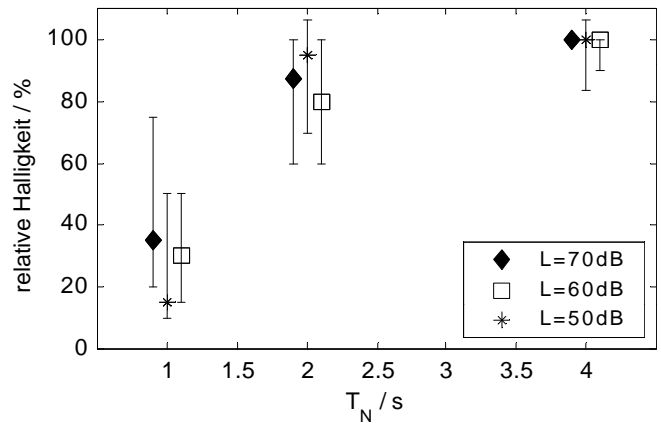


Abb.3: Relative Halligkeit als Funktion der Nachhallzeit.

Abb.3 zeigt die relative Halligkeit in Abhängigkeit von Pegel und Nachhallzeit, bei einer Pausendauer von 200 ms. Die Halligkeit nimmt mit zunehmender  $T_N$  zu, kommt aber bereits bei  $T_N = 2$  s in eine Sättigung. Erstaunlich - und nicht im Einklang mit der Modellvorstellung - ist, daß keine eindeutige Pegelabhängigkeit feststellbar ist. Aufgrund der Pegelabhängigkeit der Nachverdeckung sollte die Halligkeit mit dem Pegel zunehmen [Fas78]. Um die Modellvorstellung weiter zu überprüfen, wurden "teilweise" verhallte Pulsfolgen verwendet. Dazu wurden in einer verhallten Folge entweder die Pulse oder die Pausen durch die entsprechenden unverhallten Pulse bzw. Pausen ersetzt.

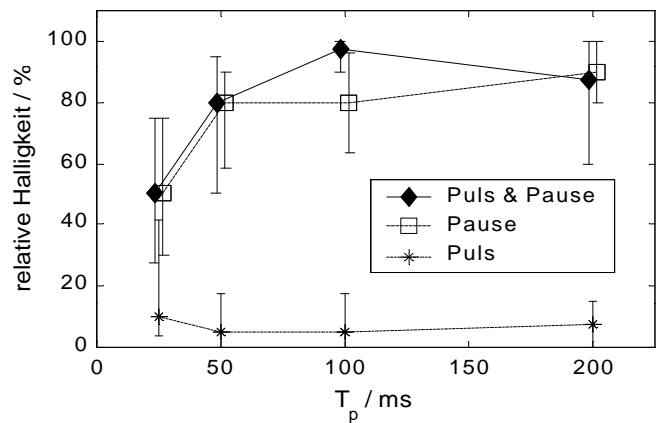


Abb.4: Relative Halligkeit „teilweise“ verhallter Pulsfolgen.

Abb.4 ist zu entnehmen, daß die Pulsfolgen, bei denen nur die Pausen verhallt sind ("Pause") in Abhängigkeit von  $T_P$  nahezu dieselbe Halligkeit besitzen, wie die komplett verhallten ("Puls & Pause"), während eine Verhallung der Pulse ("Puls") zu deutlich geringeren Halligkeiten (nahezu 0!) führt. Bei stark zeitvarianten Schallen wie den verwendeten Pulsfolgen ist offensichtlich - wie vom Modell vorhergesagt - der Nachhallvorgang entscheidend.

Dies wurde auch durch einen Versuch mit "aperiodischen" Pulsfolgen aus Komplexen Tönen ( $f_b = 440$  Hz, 12 Harmonische mit gleichem Pegel,  $L_{ges} = 70$  dB) bestätigt, bei welchen innerhalb einer Pulsfolge die Pausendauer variiert.  $T_N$  betrug 4 s und als Anker wurde eine komplett verhallte Folge aus Komplexen Tonpulsen mit einer festen Pausendauer von 200 ms verwendet. Die Ergebnisse (Abb.5) zeigen

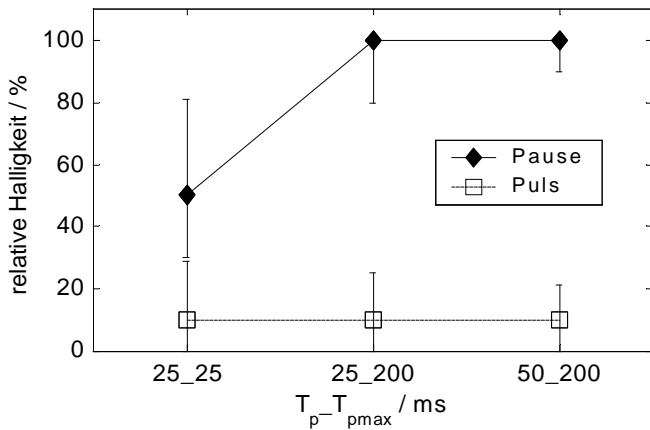


Abb.5: Relative Halligkeit „aperiodischer“ Pulsfolgen.

einerseits wiederum, daß die Verhallung der Pause ausschlaggebend ist und andererseits, daß die maximale Pausendauer  $T_{pmax}$  innerhalb einer aperiodischen Pulsfolge deren Halligkeit bestimmt. Die Halligkeit orientiert sich also ähnlich wie die Lautheit an den maximalen Ausprägungen innerhalb des Testschalls.

### II. Halligkeit komprimierter Schalle

Soll die Halligkeit zur Hörgeräteanpassung verwendet werden, so muß ein funktionaler Zusammenhang zwischen den einzustellenden Parametern und der Halligkeit existieren. Im folgenden wird deshalb untersucht, ob eine Abhängigkeit von der effektiven Kompressionsrate  $CR_{eff}$  [Ver96] besteht.  $CR_{eff}$  wird hier aus den Überschreitungspegelstatistiken des originalen und des komprimierten Schalls berechnet ([Sei98], [Cha01]). Die Testschalle wurden mit einem Drei-Kanal-Kompressionssystem mit verschiedenen statischen Kompressionsraten  $CR$  (1,5 / 3 / 4 / 6 / 8) und Ausschwingzeiten  $t_{aus}$  (7 ms / 129 ms / 975 ms) komprimiert. Die Einschwingzeiten betragen konstant 5 ms, die Kompressionsschwelle 40 dB und die Trennfrequenzen lagen bei 800 Hz und 2 kHz. Die komprimierten Schalle wurden auf den gleichen RMS-Pegel gebracht wie die zugehörigen Originalschalle. Für zwei Schalle („Hämmern“, „Sprache“) ist die relative Halligkeit der komprimierten Versionen in Abb.6 dargestellt. Als Anker wurde jeweils der Schall mit der größten  $CR_{eff}$  benutzt. „Sprache“ besteht aus fünf

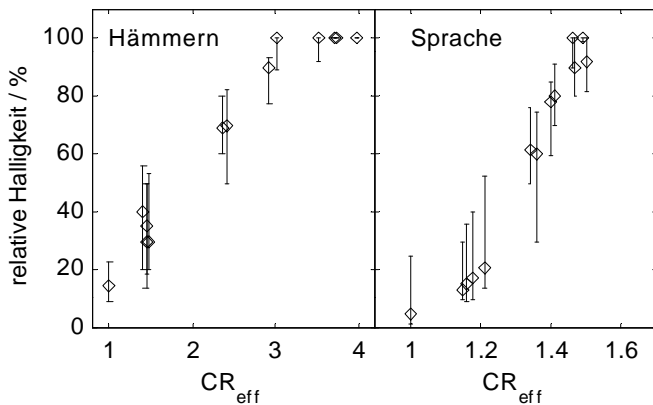


Abb.6: Relative Halligkeit in Abhängigkeit von  $CR_{eff}$

aufeinanderfolgenden Wörtern des Freiburger Wörterttests ("Fleck-Dreck-Speck-Zweck-Schreck"). Der "natürliche" Schall "Hämmern" ist - ebenso wie die Schalle des folgenden Versuchs - ein Klangbild des A-life-Verfahrens [Hau98]. In beiden Fällen nimmt die Halligkeit mit zunehmender  $CR_{eff}$  zu, allerdings in unterschiedlicher Weise. Dies liegt daran, daß einerseits die (absoluten) Halligkeiten der Originalschalle sehr verschieden sind und andererseits mit denselben Kompressionssystemen abhängig vom Schall sehr unterschiedliche  $CR_{eff}$  erzielt werden. Durch Variation von  $CR_{eff}$  kann also die Halligkeit beeinflusst werden.

Für eine Anwendung zur Hörgeräteanpassung muß die Halligkeit jedoch nicht nur relativ, sondern auch absolut skalierbar sein. Deshalb wurde ein weiterer Hörversuch mit einer absoluten Kategorienskaliierung durchgeführt. Die Schalle wurden mit dem gleichen System bearbeitet wie zuvor, es kam jedoch nur eine Parameterkombination ( $CR = 8$  und  $t_{aus} = 7$  ms) zum Einsatz. Abb.7 zeigt die Ergebnisse für neun

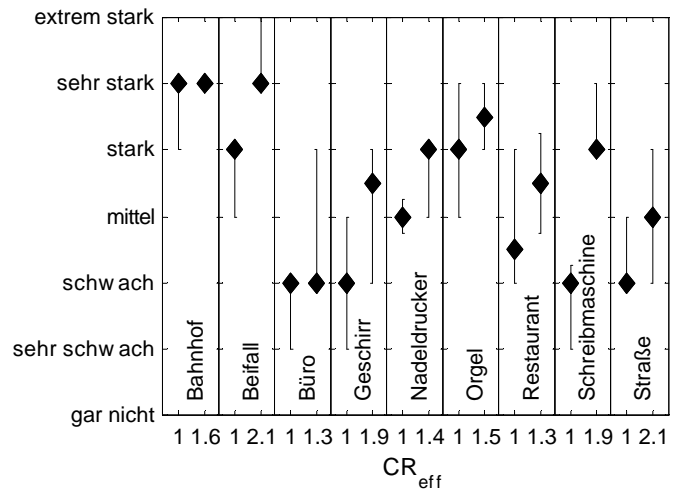


Abb.7: Halligkeit von komprimierten natürlichen Schallen.

natürliche Schalle ("Klangbilder"). Zunächst ist zu bemerken, daß die Versuchspersonen keine Probleme hatten, mit dieser Methode die Halligkeit zu beurteilen, und daß die wahrscheinlichen Schwankungen im Mittel bei etwa einer Verbalkategorie liegen. Zumeist ist die Halligkeit der komprimierten Schallen größer als diejenige der unkomprimierten ( $CR_{eff} = 1$ ). Die Zunahme ist jedoch - selbst bei gleicher  $CR_{eff}$  - stark vom Klangbild abhängig, und teilweise nicht statistisch signifikant. Bei von vornherein sehr halligen Klangbildern (wie "Bahnhof") ist die Halligkeit nicht sehr sensitiv gegenüber einer Kompression.

Mit dem verwendeten Drei-Kanal-System werden trotz der hohen statischen Kompressionsrate nur relativ geringe effektive Kompressionsraten erreicht (zumeist  $< 2$ ), weshalb es sinnvoll erscheint, die Halligkeit in erster Linie bei der Anpassung von Hörgeräten mit mehr als drei Kanälen einzusetzen.

### Zusammenfassung und Ausblick

Ausgangspunkt dieser Untersuchungen war die Hypothese, daß die Halligkeit zeitvarianter Schalle durch die Spezifischen Lautheits-Tonheits-Zeitmuster von verhalltem und trockenem Signal modelliert werden kann. Experimente mit synthetischen Schallen bestätigen im wesentlichen diese Modellvorstellung. Die fehlende Abhängigkeit vom Pegel muß anhand quantitativer Modellrechnungen und zusätzlicher Hörversuche genauer überprüft werden.

Da ein funktionaler Zusammenhang zwischen Halligkeit und effektiver Kompressionsrate besteht und die Halligkeit mit Verbalkategorien absolut skaliert werden kann, ist die Halligkeit grundsätzlich zur Verwendung bei einer psychoakustisch motivierten Hörgeräteanpassung geeignet.

Zuvor muß anhand weiterer Hörversuche die Modellvorstellung auf Schwerhörige erweitert werden und dabei insbesondere die Stabilität des psychologischen Bezugssystems überprüft werden.

Vielen Dank an Prof. H. Fastl für wertvolle Hinweise und J. Franke für die Durchführung eines Teils der Hörversuche. Diese Arbeit wurde im Rahmen des GEERS-Forschungsprojekts "A-life" durchgeführt.

### Literatur

- [Cha01] J. Chalupper, "Perzeptive Folgen von Innenohrschwerhörigkeit: Modellierung, Simulation und Rehabilitation", Dissertation, TU München, in Vorbereitung, 2001.
- [Fas78] H. Fastl, "Reverberation and Post-masking", Proc. FASE 78, 37-40, 1978.
- [Gar94] W. Gardner, Griesinger, D., "Reverberation Level Matching Experiments", Sabine Conference, 263-267, 1994.
- [Hau98] J. Haubold, Fuder, G., "Psychoakustische Verfahren und deren Anwendungsmöglichkeiten bei zukünftigen Hörgeräteanpassungen", DAGA'98, 130-131, 1998.
- [Sei98] H. Seidler, Pietzsch, T., "Analyse von Zeitstrukturen natürlicher Klangbilder", DAGA'98, 126-127, 1998.
- [Ver96] J. Verschuure, Maas, A.J.J., Stikvort, E., De Jong, R.M., Goedegebure, A., Dreschler, W.A., "Technical assessment of fast compression hearing aids", in: Psychoacoustics, speech and hearing aids, B. Kollmeier, Ed., World Scientific Publishing, Singapur, 171-182, 1996.
- [Zwi99] E. Zwicker, Fastl, H., "Psychoacoustics: Facts and Models", 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1999.