

Psychoakustische Effekte bei der Rauschbefreiung von Archivmaterial

H. Fastl, S. Goossens*,

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München

1. Einführung

Wertvolle Archivaufnahmen aus der Frühzeit der Tonaufzeichnungstechnik werden für die Veröffentlichung klassischer Editionen mit modernen Signalverarbeitungsverfahren [1] bearbeitet. Dabei werden vom Tonmeister Werkzeuge wie Denoise, Declick und Decrackle [2] verwendet, die sehr vorsichtig eingesetzt werden müssen, um Effekte wie Pumpen und Phasing möglichst klein zu halten. Insbesondere wird an Archivmaterial, bei dem eine extreme Rauschbefreiung durchgeführt wurde, bemängelt, daß nicht nur wie erwünscht, das Hintergrundrauschen reduziert worden sei, sondern daß auch die Brillanz des Musikmaterials gelitten habe. Als Ursache für diese Effekte werden meist Unzulänglichkeiten des Signalverarbeitungsalgorithmus vermutet.

Als Beitrag zur Klärung der Frage, ob es sich bei dem Phänomen "mangelnde Brillanz" um einen physikalischen oder um einen psychoakustischen Effekt handelt, wurde folgende Versuchsreihe [3] durchgeführt: Tiefpaßbegrenztem Musikmaterial von einer Test-CD wurde weißes Rauschen als Hintergrundgeräusch zugefügt. Dadurch ist sichergestellt, daß physikalisch der Höhenanteil des Musikmaterials mit bzw. ohne Hintergrundrauschen identisch ist. Sofern Versuchspersonen in A/B-Vergleichen der Version mit überlagertem Hintergrundrauschen eine höhere Brillanz des Musikmaterials zuschreiben, ist davon auszugehen, daß es sich nicht um einen physikalischen, sondern um einen psychophysikalischen Effekt handelt.

In dieser Arbeit sollen mit wissenschaftlichen Methoden die aus der täglichen Praxis bekannten Phänomene [4] untersucht und im Vergleich zu verwandten psychoakustischen Effekten diskutiert werden.

2. Messungen

An den Experimenten nahmen 48 normal hörende Versuchspersonen (19 weiblich, 29 männlich) im Alter zwischen 20 und 30 Jahren teil. 18 der 48 Personen hatten z.T. langjährige Erfahrung im Bereich Tontechnik. Die Musiksignale wurden in einer schallisolierten Meßkabine stereophon über elektrostatische Kopfhörer (Stax SR Lambda) dargeboten. Das Musikmaterial wurde einer von der EBU für die Durchführung von subjektiven Tests empfohlenen CD entnommen [5]. Tabelle I zeigt eine Übersicht über die ausgewählten Musikstücke. Dieses Musikmaterial wurde mit einem Tiefpaß bei 8 kHz (Flankensteilheit 30 dB/Oktave) bandbegrenzt. Die Musikstücke wurden paarweise dargeboten, wobei jeweils einem Beispiel eines Paares als Hintergrundgeräusch Weißes Rauschen mit

Tabelle I: Verwendetes Musikmaterial

Musikstück:	1	2	3	4	5	6
SQAM-CD;Tracknummer:	63	55	61	48	67	69

* jetzt: IRT München

20 dB(A) Schallpegel überlagert war. Die Abhörlautstärke wurde so eingestellt, daß - gemessen mit der Zeitkonstante "Fast" - die Pegelspitzen 85 dB(A) erreichten. Weitere Details der Testbedingungen sind [3] zu entnehmen.

Die Versuchspersonen hatten folgende Fragen zu beantworten: 1. "In welcher Version enthält die Musik mehr Höhen?" 2. "Welche Version bevorzugen Sie?" Den Versuchspersonen war die Art der Erzeugung der Testschalle nicht bekannt. Jedes Testpaar wurde viermal in unterschiedlicher Reihenfolge dargeboten, sodaß sich die Ergebnisse auf 1152 Paarvergleiche stützen.

3. Ergebnisse

Fig. 1 zeigt die Ergebnisse der Beurteilung durch alle 48 Versuchspersonen. Die Häufigkeit positiver Antworten für die Version mit unterlagertem Hintergrundrauschen ist für die sechs Musikstücke angegeben. Fig. 1a zeigt die Antworten auf die Frage nach dem Höhengehalt, Fig. 1b zeigt die allgemeine Bevorzugung.

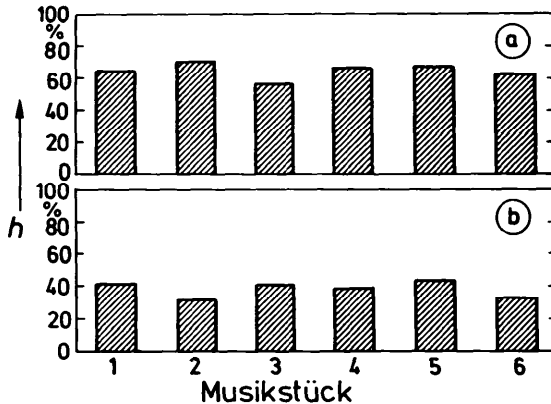


Fig. 1: Häufigkeit h positiver Antworten für das Musikbeispiel mit Hintergrundgeräusch für sechs Musikstücke. Fragestellung a) In welcher Version enthält die Musik mehr Höhen? b) Welche Version bevorzugen Sie? Ergebnisse von 48 Versuchspersonen.

Die in Fig. 1a dargestellten Ergebnisse weisen darauf hin, daß in der Mehrzahl der Fälle dem Musikbeispiel mit Hintergrundrauschen ein größerer Höhengehalt der Musik, also eine größere Brillianz, zugeordnet wurde, obwohl, rein physikalisch gesehen, der Höhenanteil der beiden Musikstücke eines Paares identisch ist. Im Mittel über alle sechs Musikstücke ergeben sich 65 % positive Antworten. Aus den in Fig. 1b dargestellten Ergebnissen wird deutlich, daß aber meistens die Version ohne Hintergrundrauschen bevorzugt wird. Über die sechs Musikbeispiele gemittelt ergibt sich lediglich in 39 % der Fälle eine Bevorzugung des Beispiels mit Hintergrundgeräusch.

In Fig. 2 sind die Ergebnisse einer Gruppe von 18 Versuchspersonen dargestellt, die als besonders kritisch eingestuft werden können, da sie z.T. über langjährige Erfahrung im Bereich Tontechnik verfügen. Die Ergebnisse dieser Gruppe von Spezialisten bestätigen

die Daten der 48 Versuchspersonen auf eindrucksvolle Weise. Die für alle Versuchspersonen festgestellte Tendenz verstärkt sich sogar bei der Gruppe von Spezialisten. Im Mittel wird in 78 % der Fälle der Version mit Hintergrundgeräusch ein größerer Höhenanteil der Musik zugeordnet (Fig. 2a). Im Gegensatz dazu wird in lediglich 33 % der Fälle die Version mit Hintergrundgeräusch bevorzugt (Fig. 2b). Während das letztgenannte Ergebnis nicht überrascht, war zunächst nicht zu erwarten, daß die Gruppe von Spezialisten in der überwiegenden Anzahl der Fälle der Version mit Hintergrundgeräuschen einen größeren Höhenanteil des Musikmaterials zuordnet, obwohl physikalisch der Höhenanteil in beiden Musikbeispielen völlig identisch ist. Hier tritt offensichtlich ein interessantes psychophysikalisches Phänomen auf, das im folgenden diskutiert werden soll.

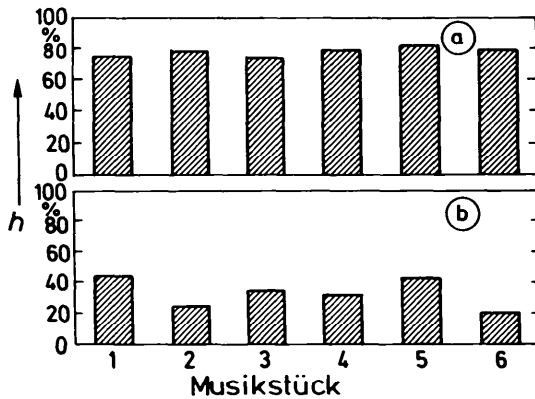


Fig. 2: Wie Fig. 1, jedoch Ergebnisse von 18 Versuchspersonen mit Erfahrung im Bereich Tontechnik.

4. Diskussion

Der Befund, daß durch Hinzufügen von Hintergrundgeräuschen scheinbar der Höhenanteil von Musik erweitert werden kann, weist auf ein Phänomen hin, das vermutlich in höheren Stationen der Hörbahn angesiedelt ist. Hier scheinen zentrale Effekte der Mustererkennung eine wesentliche Rolle zu spielen. Ein Analogon aus der Optik mag die hier vorgeschlagene Argumentation verdeutlichen: Ein Objekt, beispielsweise ein Baumstamm, kann, wenn er durch eine halbgeöffnete Jalousie betrachtet wird, rein vordergründig in zahlreiche Scheiben zerschnitten werden. Dennoch gehen wir davon aus, daß es sich um einen zusammenhängenden Baumstamm handelt, bei dem einzelne Teile durch die im Vordergrund befindliche Jalousie verdeckt und damit unsichtbar werden. Im Hinblick auf unsere Fragestellung würde diese zentrale Leistung etwa folgendermaßen interpretiert werden können: Unser Hörsystem "glaubt", es sei Musikmaterial mit Anteilen bei sehr hohen Frequenzen vorhanden, die jedoch durch das überlagerte Störgeräusch verdeckt und damit unhörbar werden. Das Störgeräusch im Akustischen würde also die Rolle der Jalousie im Optischen übernehmen und dem zentralen Prozessor suggerieren, daß es einen Teil des Objektes (Musikmaterial bzw. Baumstamm) unhörbar bzw. unsichtbar macht.

Vergleichbare Phänomene, die in unserem Beispiel im Spektralbereich diskutiert werden, sind im Zeitbereich in der Psychoakustik wohl bekannt. Beim Phänomen der Pulsationsschwelle [6] werden Töne mit zeitlichen Lücken dargeboten. Sofern während der Lücken Rauschen dargeboten wird, ist anstelle eines unterbrochenen Tones ein durchgehender Dauerton wahrnehmbar. Das Hörsystem faßt also die maskierende Wirkung des periodisch dargebotenen Rauschens wie die Unterbrechung eines Dauertones auf, obwohl rein physikalisch gesehen der Ton während der Darbietung des Rauschens abgeschaltet ist! Dieses Kontinuitätsphänomen läßt sich auch mit Sprache beobachten [7]: In Abschnitte von einigen hundert Millisekunden Dauer zerhackte Sprache klingt wieder wie kontinuierlich, wenn die zeitlichen Lücken durch Störgeräusche aufgefüllt werden. Unser zentraler Prozessor interpretiert die Situation offensichtlich so, als ob "unter" dem Störgeräusch die Sprache weitergehen würde. Als Hinweis darauf, daß vergleichbare Phänomene auch im Spektralbereich auftreten könnten, kann die Tatsache gewertet werden, daß insbesondere Versuchspersonen mit Erfahrung im Bereich Tontechnik "unter" dem hinzugefügten Hintergrundrauschen Spektralanteile des Musikmaterials bei hohen Frequenzen vermuten.

Für die Praxis der Rauschbefreiung von Archivmaterial lassen sich aus unseren Untersuchungen folgende Empfehlungen ableiten: Die Rauschbefreiung ist sicher sinnvoll, da in der überwiegenden Anzahl der Fälle die rauschbefreite Version bevorzugt wird. Allerdings kann es nicht das Ziel sein, eine völlige Rauschbefreiung durchzuführen, da dann aufgrund der hier dargelegten psychoakustischen Effekte zu befürchten ist, daß die subjektiv beurteilte Brillanz des Musikmaterials leidet.

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 204 "Gehör", München gefördert.

Literatur

- [1] Bisping, R.: CAI: Ein Transputer-Signalprozessor-Rechner zur Echtzeitverarbeitung von Audiosignalen. In: Audio Professional (1990), 5/6, S. 45 - 51.
- [2] Goeres-Petry, J.; Dell, J.: Überarbeitung von Archivmaterial unter Einsatz von Denoise, Declick und Decrackle. In: Audio Professional (1991) 3/4, S. 24 - 29.
- [3] Goossens, S.; Fastl, H.: Zur Höhenwahrnehmung beim Hören von Musikaufnahmen. In: Tonmeistertagung Karlsruhe 1992 Bericht <17, 1992, Karlsruhe>, München: K. G. Saur, 1993, S. 394 - 403
- [4] Schule für Rundfunktechnik [Hrsg.]: Handbuch der Tonstudio-technik. - 4. Aufl. - München: Saur, 1979, S. 557
- [5] Users' Handbook for the EBU-SQAM Compact Disc. - Bruxelles, 1988; (European Broadcasting Union: Dok. Tech. ; E3253)
- [6] Zwicker, E.; Fastl, H.: Psychoacoustics : Facts and Models. - Berlin: Springer-Verlag, 1990
- [7] Preis, A.; Terhardt, E.: Annoyance of distortions of speech: Experiments on the influence of interruptions and random-noise impulses. In: Acustica 68 (1989), S. 263 - 267