

## Vergleich psychoakustischer Methoden für den effizienten industriellen Einsatz

Markus Bodden\*, Ralf Heinrichs\*\*, Angela Linow\*\*

\* Ingenieurbüro Dr. Bodden, Herthastr. 29, 45131 Essen; \*\* Ford Werke AG, Spessartstr., 50725 Köln

### Einleitung

Die Psychoakustik hat als langjährige Wissenschaft eine Reihe psychoakustischer Testmethoden hervorgebracht, die bisher meist im Forschungsbereich eingesetzt werden. Für den Einsatz im industriellen Bereich - hier angewandte Psychoakustik genannt - ist es jedoch erforderlich, Methoden zur Verfügung zu haben, die neben einer hohen Zuverlässigkeit auch ein stärkeres Gewicht auf die Effizienz legen.

### Anwendungsbeispiel: Untersuchung von Getrieberasseln

Ein typischer Anwendungsfall für Psychoakustik in der Industrie ist die Bewertung der Geräuschqualität eines einzelnen Merkmals eines komplexen Gesamtgeräusches. Im vorliegenden Fall handelt es sich um die Beurteilung des vom Getriebe abgestrahltes Geräusch im Fahrzeuginnengeräusch, dem sog. Getrieberasseln. Wird dieses Geräusch, das in einigen Fahrsituationen auftritt, hörbar, so kann es leicht einen technischen Defekt assoziieren.

Für Laboruntersuchungen wurde eine Datenbank mit den Geräuschen von 20 Fahrzeugen in unterschiedlichen Fahrsituationen erstellt, für einen Feldtest wurden 3 Fahrzeuge mit unterschiedlichen Rasselstärken verwendet. Eine Untersuchung des Getrieberasseln stellt im vorliegenden Fall eine besondere Schwierigkeit dar, da es sich um Fahrzeuge mit Dieselmotoren handelte und das Getrieberasseln dem Dieselnageln stark ähnelt. Die einzusetzende psychoakustische Methode mußte diesem Aspekt Rechnung tragen, wobei zudem noch die übrigen Randbedingungen für einen Einsatz im industriellen Umfeld erfüllt sein mußten.

Bei der Planung der Experimente stellte sich heraus, daß eine direkte Größenschätzung der Geräuschqualität bei den zu untersuchenden Stimuli besonders untrainierte Versuchspersonen überfordern würde. Ein Paarvergleich kam jedoch aufgrund der Anzahl der Stimuli nicht in Frage: in einem einzelnen Test hätten 400 Geräuschpaare bewertet werden müssen.

### Vergleich psychoakustischer Methoden

Das obige Beispiel zeigt, daß die gängigsten Standardmethoden im industriellen Umfeld nicht immer direkt anwendbar sind. Um dies zu untermauern werden die Methoden im folgenden diskutiert.

Da häufig Phänomene untersucht werden, die in ihrer Gesamtheit nicht simuliert werden können, kann auch das zu untersuchende Merkmal in der Regel nicht direkt kontrolliert werden. Herstellungsmethoden, die z.B. in Verbindung mit adaptiven Methoden effiziente Untersuchungswerkzeuge darstellen, scheiden somit aus.

Für den Vergleich wurden deshalb nur Konstanzmethoden ausgewählt. Tab. 1 liefert die Zusammenfassung der Gegenüberstellung der Methoden bezüglich für den industriellen Einsatz relevanter Kriterien. Neben den Standardmethoden wurde auch eine neu entwickelte Methode, die im folgenden vorgestellt wird, aufgenommen: der Individualtest.

### Individualtest

Wie das obige Beispiel zeigt, stellen Zeitbedarf und Anforderungen an die Versuchspersonen Kriterien dar, die von den Standardmethoden nicht gleichzeitig befriedigt werden können. Benötigt wird eine Methode, die sowohl die Vorteile des Paarvergleichs (direkte Vergleichbarkeit der Stimuli) als auch der direkten Größenschätzung (absolute Beurteilung des Merkmals) vereint und

gleichzeitig deren Nachteile (großer Zeitaufwand) vermeidet. Entsprechende Eigenschaften weist der Individualtest auf: die Stimuli können beliebig miteinander verglichen werden, erhalten aber neben einer Rangfolge eine absolute Beurteilung.

Eine Grundvoraussetzung für den Test ist die direkte Zugriffsmöglichkeit auf alle Stimuli. Der Versuchsperson wird ein Symbol für jeden Stimulus auf einer Arbeitsfläche dargestellt, und durch das Anwählen des Symbols wird der Stimulus dargeboten. Die Versuchsperson bestimmt nun selbst, wie oft und in welcher Reihenfolge sie die Stimuli anhört. Ihre Aufgabe besteht darin, die Symbole bezüglich des zu beurteilenden Merkmals auf der Arbeitsfläche anzuordnen, wobei z.B. oben „gut“ und unten „schlecht“ bedeutet. Hierzu führt sie z.B. zunächst eine Grobklassifizierung durch, die sie dann iterativ genauer gestalten und jederzeit überprüfen kann. Sie führt folglich eine Art Paarvergleich aus, bei dem sie jedoch nicht in einer Zufallsreihenfolge jede mögliche Kombination der Stimuli beurteilen muß, sondern sich gezielt auf die Paare konzentrieren kann, die relativ ähnlich sind. Gleichzeitig repräsentiert der Ort auf der Arbeitsfläche eine absolute Beurteilung, wobei die Skala frei gewählt werden kann.

Ein Beispiel ist in Abb. 1 symbolisch der Übersichtlichkeit halber für nur 6 Stimuli dargestellt, die jeweils durch die Zahlensymbole repräsentiert werden. Links wird die Ausgangslage zu Beginn des Test dargestellt, im rechten Teil ist die Reihenfolge und Absolutbeurteilung am Ende des Tests zu erkennen.

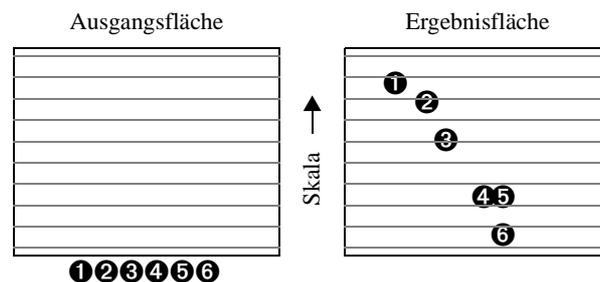


Abb. 1 Arbeitsfläche zu Beginn des Tests (links) und nach Beendigung (rechts).

Beim Individualtest bleibt es folglich der Versuchsperson überlassen, wie oft sie einzelne Stimuli anhört, und damit auch wie lange ein Test dauert. Zur Überprüfung sollte die Anzahl der Darbietungen pro Stimuli protokolliert werden.

Der Individualtest stellt im Vergleich zu den vorher aufgeführten Methoden eine „freie“ Methode dar, d.h. daß sie lediglich Anweisungen erhält, den Ablauf des Versuches aber selbst bestimmt. Sie wird folglich aktiv in den Versuch eingebunden, wodurch sich auch ihre Motivation erhöht. Desweiteren fühlt sich die Versuchsperson dem Test nicht „ausgeliefert“, wodurch sich ihre Sicherheit erhöht und ihr Streß sinkt.

Die benötigte direkte Zugriffsmöglichkeit auf die Stimuli sowie eine Umsetzung der Arbeitsfläche bietet sich in Form eines komplett rechnergesteuerten Versuches an. Mit einer Maus können so die Stimuli einfach ausgewählt, dargeboten und verschoben werden.

### Ergebnisse des Methodenvergleichs

Zur Gegenüberstellung der mit den unterschiedlichen Methoden erzielbaren Ergebnisse wurden im Labor 5 Stimuli von 14 Versuchspersonen mit den Methoden direkte Größenschätzung, Paarvergleich und Individualtest beurteilt. Um weiterhin eine Einordnung der Relevanz der Ergebnisse durchführen zu können

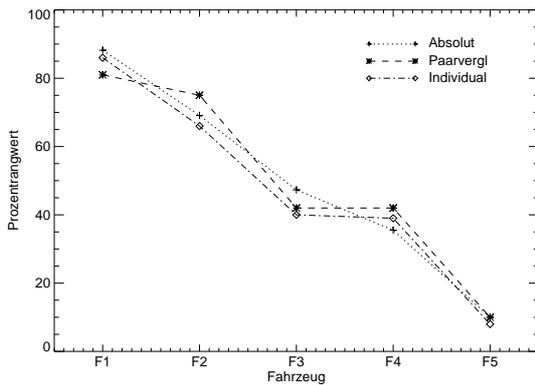
Methode	Kategorie	Zeitaufwand *	Genauigkeit	Anforderungen an VPs	Art der Ergebnisse	Aussagefähigkeit	Besonderheit / Kommentar
direkte Größenschätzung, Kategorialtest	absolut	$B = W \cdot N$	-	schwierig (abh. von Ähnlichkeit der Stimuli, zu beurteilendem Merkmal)	Ratioskala	absolute Beurteilung, direkt anwendbar	bei geringen Stimuliunterschieden ungeeignet
Paarvergleich	relativ	$B = W \cdot N^2$ **	+	einfach	Rangfolge	schwierig z.B. für Schwellwertfestlegung, geeignet zur Überprüfung der Grenzwerteinhaltung	besonders für feine Unterschiede der Stimuli geeignet.
Triaden			++				
sem. Differential, MDS	absolut oder relativ	$B = W \cdot N$ oder $B = W \cdot N^2$		bei mehreren Merkmalen häufig komplex	bis Ratioskala	zur Aufdeckung relevanter Dimensionen (Merkmale)	aufwendig, für grundlegende Untersuchungen
Individual	absolut und relativ	frei $W \cdot N < B < W \cdot N^2$	+	einfach	Ratioskala	durch Absolutbeurteilung auch für geringe Stimuliunterschiede direkt anwendbar	Vereint Vorteile absoluter und relativer Beurteilung und vermeidet Nachteile

\*: B: Anzahl Beurteilungen; N: Anzahl Stimuli; W: Wiederholungen; (Angabe jeweils für ein zu beurteilender Merkmal)  
 \*\*: bei komplettem Paarvergleich

**Tab. 1: Vergleich psychoakustischer Methoden für den industriellen Einsatz**

wurde auch ein Feldtest mit 20 Versuchspersonen, jedoch nur 3 Fahrzeugen durchgeführt. Es wurden Fahrzeuge mit starkem, mittlerem und schwachem sowie im Labortest zusätzlich mit sehr starkem und mittlerem Getrieberasseln untersucht. Für die Beurteilung wurde eine 10er-Skala verwendet. Die Tests wurden auf einem PC-gestützten psychoakustischen System<sup>1</sup> implementiert und bei Ford durchgeführt.

Abb. 2 zeigt die Ergebnisse der unterschiedlichen Verfahren aus dem Labortest der Vergleichbarkeit halber in Form der Prozentrangwerte.



**Abb. 2** Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden im Labor

Es sind insgesamt recht gute Übereinstimmungen zu erkennen. Der Vergleich der Bewertungen der Fahrzeuge F3 und F4 zeigt jedoch, daß sie beim Paarvergleich und Individualtest jeweils gleich, beim Absoluttest jedoch unterschiedlich bewertet werden. Dies deutet darauf hin, daß bei der Absolutbeurteilung zusätzliche Merkmale mitbeurteilt wurden (z.B. übriges Fahrzeugge-

räusch), während bei den anderen Methoden die Konzentration automatisch auf das zu beurteilende Merkmal gelenkt wird.

Tab. 2 zeigt den Vergleich der Absolutbeurteilungen aus dem Labor und dem Feldtest. Die Beurteilungen des Individualtests liegen hier näher bei den Ergebnissen des Feldtests als die des Absolutbeurteilungstests. Insgesamt gesehen scheinen die Ergebnisse aus dem Labor auf das Feld übertragbar zu sein.

Methode	F 1	F 2	F 3	F 4	F 5
Dir. Größenschätz.	7.4	8.4	5.1	2.9	4.4
Individualtest	6.9	8.3	4.6	2.8	4.6
Feldtest	5.7	8.5	4.3	-	-

**Tab. 2: Vergleich Feld - Labor**

**Zusammenfassung**

Ausgehend von einem Vergleich psychoakustischer Standardmethoden wurde die Methode des Individualtests vorgestellt, der vor allem den Anforderungen an einen effizienten Einsatz im industriellen Umfeld gerecht wird. Da er die Vorteile der Relativ- und Absolutbewertungen vereint und dabei deren Nachteile vermeidet, liefert der Test mit geringem Zeitaufwand sowohl eine genaue Rangfolge als auch eine absolute Beurteilung. Durch die aktive Einbindung in den Versuchsablauf werden auch gleichzeitig die Motivation und die Sicherheit der Versuchspersonen erhöht und ihr Streß reduziert.

**Literatur**

Green, D.M.; Swets, J.A. (1974): Signal Detection Theory any Psychophysics. Krieger, N.Y.  
 Levitt, H. (1971): Transformed Up-Down Methods in Psychoacoustics. J. Acoust. Soc. Am. 49, 467-477.

1. PATS der Firma Synotec