

# Laborversuche zur Ermittlung von Unterschiedsschwellen bei der Wahrnehmung von Erschütterungen aus dem Schienenverkehr

A. Said (1), D. Fleischer (1), H. Fastl (2), H.-P. Grütz (3), G. Hölzl (3)

(1): Obermeyer Planen + Beraten, Hansastr. 40, 80686 München (2): TU München, Lehrstuhl für Mensch, Maschine, Kommunikation, Arcisstr. 21, 80290 München (3): DB AG FTZ 81-Akustik, Körperschall, Erschütterungen, Völckerstr. 80939 München

## 1. Einleitung und Problemstellung

Zur Zeit existieren keine gesetzlichen Regelungen zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen aus ABS-Bahnstrecken mit Vorbelastungen. Die momentane Regelung, die zwar keinen rechtsverbindlichen Charakter hat, aber zur Zeit von mehreren gesetzgebenden Gremien akzeptiert wird, fordert, dass sich die vorhandenen Vorbelastungen durch das Hinzutreten neuer Immissionen nach dem Ausbau von Bahnstrecken nicht wesentlich erhöhen. Der Begriff einer spürbaren Änderung von Erschütterungsimmissionen ist jedoch bis jetzt noch nicht festgelegt. Ein Ziel dieses Forschungsvorhabens war, zu ermitteln, welcher Minimalbetrag an Schwingungsenergieänderung im Labor benötigt wird, um wahrgenommen zu werden.

Für die vorliegende Aufgabenstellung wurde deshalb ein Versuchsraum aufgebaut, in dem Probanden definierte Erschütterungssignale mit einander vergleichen können. Die Untersuchungen beschränkten sich auf eisenbahnspezifische Erschütterungen bei unterschiedlichen Intensitäten ( $KB_{Fmax}$ -Werte) und unter Einfluss des gleichzeitig einwirkenden Innengeräuschpegels (Vorbeifahrtpegel). Der hierfür errichtete Versuchsraum bietet realitätsnahe Bedingungen für Aufenthaltsräume, ist von äußeren Einflüssen wie Verkehrslärm, Umgebungsgeräuschen und Vibrationen ausreichend abgeschirmt und hat eine Grundfläche von ca. 20 m<sup>2</sup>.

## 2. Untersuchungsprogramm

### 2.1 Angewandte Untersuchungsmethode

Bei Diskriminationsaufgaben von Reizen bzw. Reizdifferenzen spielt nicht nur die Sinnesempfindlichkeit eines Probanden eine Rolle, sondern auch seine Reaktionsneigung. Aus diesem Grunde wurde nach einer geeigneten psychophysischen Methode gesucht, die die Trennung zwischen der sensorischen Empfindung und der Reaktionsneigung eines Probanden ermöglicht. Die angewendete Signal- Entdeckungstheorie (Signal Detection Theory = SDT) erfüllt diese Bedingung /1-5/. Die SDT gibt im Gegensatz zu klassischen psychophysischen Experimenten vor, dass nur eine konstante Größe für den Reiz bzw. Reizunterschied dargeboten wird. Die SDT liefert als Ergebnis eine Aussage über die Entdeckbarkeit dieses Reizes bzw. Reizunterschiedes. Aus diesem Grunde waren Voruntersuchungen erforderlich, um die Größe der zu untersuchenden Unterschiedsschwellen abschätzen zu können. In Vorversuchen wurde auch

geklärt, welches Verfahren für die Hauptversuche am besten geeignet ist.

Mit 5 Personen wurden die Vorversuche für unterschiedliche Experimentarten (2 AFC, Same Different und Rating-Experiment) durchgeführt. Die Vorversuche haben gezeigt, dass die zu untersuchende Reizdifferenz der Erschütterungssignale (relative Differenz von 25 %) im Toleranzbereich einer Unterschiedsschwelle liegt. Als Beurteilungskriterium wurde der Diskriminationsindex  $d'$  herangezogen. Der mittlere Wert lag bei ca.  $d'_{\text{mittel}} = 1,4$  (Median-Wert). Mit den Auswertungen des Rating-Experiments konnte gezeigt werden, dass die Verteilung der Reizempfindung normal ist. Die Streuung (Varianz) der beiden Verteilungen bei Reiz- und Vergleichsreiz war im Mittel akzeptabel; die Neigung der Z-transformierten ROC-Geraden betrug im Mittel ca. 40 Grad. Diese Festlegungen sind deshalb von Bedeutung, da die Berechnungsgrundlagen auf der Annahme von Normalverteilung und gleicher Streuung basieren.

Für die Hauptversuche wurden je 10 weibliche und 10 männliche Versuchspersonen (VP) im Alter zwischen 19 und 63 Jahren (Durchschnittsalter 35 Jahre) ausgesucht, die über keine besonderen Vorkenntnisse im Erleben von bahnspezifischen Erschütterungen verfügten.

Im Rahmen der SDT wurde die „Same Different-Methode“ angewandt. Bei dieser Methode werden im Gegensatz zur 2 AFC-Methode 50% der Erschütterungspaare mit gleicher Intensität dargeboten. Für Treffer „H“ und für falschen Alarm „F“ wurde folgende Festlegung definiert:

E1=Referenzsignal E2=Vergleichssignal Darbietungen		Reaktion / Antwort	
		verschieden	gleich
25%	$E_1 / E_1$	F	H
25%	$E_2 / E_2$		(Hits, Treffer)
25%	$E_2 / E_1$	H	F
25%	$E_1 / E_2$		(falscher Alarm)

Eine Darbietung bestand aus zwei zu vergleichenden Erschütterungsereignissen, die mit einer Pause von ca. 3 Sekunden zwischen den einzelnen Ereignissen

aufeinander folgten. Die VP musste nach jeder Darbietung die Frage beantworten, ob die Erschütterungssignale „gleich“ oder „verschieden“ waren.

## 2.2 Versuchsdesign

Es waren insgesamt vier Erschütterungsintensitätsstufen und drei Innengeräuschpegelstufen zu kombinieren. Insgesamt ergaben sich 12 unterschiedliche trials (Kategoriestufen).

KB <sub>Fmax</sub> -Wert	Vorbeifahrgeräusch		
	< 30 dB(A)	45 dB(A)	55 dB(A)
0.2	100 <sub>1)</sub>	100	100
0.4	100	100	100
0.8	100	100	100
1.6	100	100	100

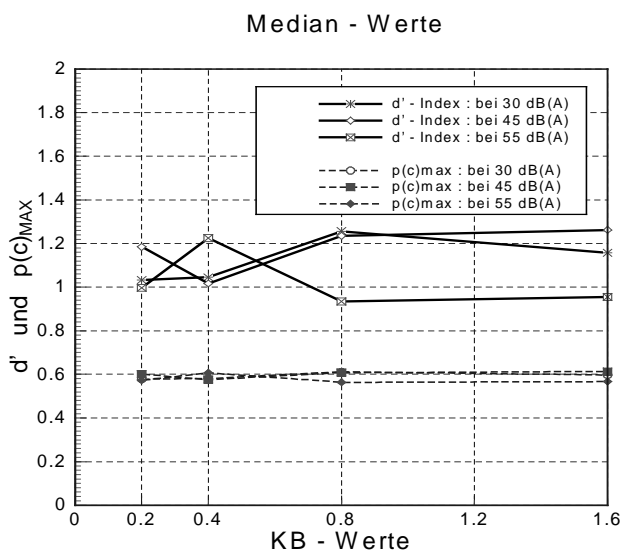
Untersuchungsmatrix 1) : Anzahl der Erschütterungssignalaare

Pro Kategoriestufe und Proband (Sitzung) wurden 100 Erschütterungssignalaare zum Vergleich dargeboten. Bei jeder Darbietung wurden die Erschütterungssignale und Luftschallpegel gemessen und in eine Datenbank zur späteren Kontrolle und Auswertung gespeichert.

Das Referenzsignal war ein eisenbahnspezifisches Erschütterungsereignis (Vorbeifahrt eines Zuges) ohne auffällige Spitzen im zeitlichen Verlauf und mit einem spektralen Maximum im Frequenzbereich um ca. 30 Hz. Die Dauer dieses Signals betrug ca. 5 Sekunden. Der Messort war ein Wohnraum, die Messrichtung war die Z-Richtung.

## 3. Untersuchungsergebnisse

Zur Interpretation und Analyse der Versuchsergebnisse wurde der mittlere Diskriminationsindex  $d'$  und der Maximalwert für Proportion Correct  $P(c)_{max}$  gemäß /2/ ausgewertet und grafisch dargestellt.



Die Auswertungen ergaben, dass die Wahrnehmungen der einzelnen Probanden auch innerhalb eines Feldes der Untersuchungsmatrix (Kategoriestufe),

relativ großen Streuungen unterliegen. Je nach Kategoriestufe variiert der Median-Wert für die Diskriminationsindices  $d'$  der einzelnen Probanden zwischen 0,9 und 1,3. Es zeigt sich kein eindeutiger Einfluss einer bestimmten Kategoriestufe. Der arithmetische Mittelwert des Diskriminationsindex aus den ermittelten Median-Werten über alle Kategoriestufen und Probanden liegt bei  $d'_{mittel} = 1,1$ . Ein Einfluss der Erschütterungsintensität auf die Diskriminationsindexgröße war nicht erkennbar.

Ein Einfluss des Innengeräuschpegels war nur ab 45 dB(A) und nur ab einer Erschütterungsintensität von  $KB = 0,8$  eindeutig zu erkennen. Bei einer Erhöhung des Innengeräuschpegels von 45 dB(A) auf 55 dB(A) reduzierte sich der Entdeckungsindex  $d'$  von 1,22 auf 0,96.

Der hier über alle Kategoriestufen und Probanden ermittelte Median-Wert des Diskriminationsindex  $d'_{mittel}$  von 1,1 (bei einer relativen konstanten Erschütterungsamplitudendifferenz von 25%) entspricht praktisch einer Unterschiedsschwelle. In /1/ wird angedeutet, dass die Versuchsperson bei einem Diskriminationsindex  $d' = 1$  "weder zu gut noch zu schlecht unterscheidet". Dieser Wert wird in der Psychophysik bei SDT-Untersuchungen als Schwellenwert angegeben /5/. Gemäß dieser Hypothese „ $d' = 1.0$ “ bedeutet für die Diskriminationsschwelle, dass die Proportion für Treffer bei 57% und für falschen Alarm bei 43% liegt. Der aus den Hauptversuchen ermittelte Mittelwert (Median) über alle Probanden und Kategoriestufen  $d'_{mittel} = 1.1$  kann als recht nahe an der Schwelle bei dieser Diskriminationsaufgabe angesehen werden. **Demnach kann die hier untersuchte Erschütterungsdifferenz von 25% Erhöhung praktisch als Laborunterschiedsschwelle angesehen werden.** Diese Untersuchungsergebnisse beziehen sich auf die Differenzen von Erschütterungsamplituden ( $KB_{Fmax}$ ) und können nicht ohne Einschränkungen auf die Beurteilungsschwingstärke ( $KB_{FT}$ -Werte) übertragen werden. Nur für den Fall, dass die Anzahl der Erschütterungsereignisse unverändert bleibt, wird die prozentuelle Energieerhöhung der Erschütterungsamplituden mit der Erhöhung der Beurteilungsschwingstärke gleich sein.

## Literatur

- /1/ Manfred Velden: Die Signalentdeckungstheorie in der Psychologie, 1982, Verlag Kohlhammer
- /2/ Niel A. Macmillan and C. Douglas Creelman: „Detection Theory, A user's Guide“, 1991, Cambridge University Press
- /3/ Dirk Wendt; Allgemeine Psychologie, „Eine Einführung“ Verlag Kohlhammer 1989
- /4/ Goldstein, B.: Wahrnehmungspsychologie, 1997, Akademischer Verlag, Heidelberg
- /5/ David M. Green and John A. Swets "Signal Detection Theory and Psychophysics" J.Wiley New York 1966
- /6/ Joan Gay Snodgrass, Gail Levy-Berger, Martin Haydon ;"Human Experimental Psychology" New York Oxford, Oxford University Press 1985