

# Zur Wahrnehmung von Synchronität bei auditiv-taktil dargebotenen Stimuli

M.E. Altinsoy<sup>a</sup>, J. Blauert<sup>a</sup>, C. Treier<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Institut für Kommunikationsakustik, Ruhr-Universität Bochum

<sup>b</sup>Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum

## Kurzfassung

Ziel ist es, ein besseres Verständnis der Integration von akustischer und taktiler Information zu gewinnen und die neuen Erkenntnisse in Virtuellen Auditiven Umgebungen anwenden zu können. Dabei ist es insbesondere hinsichtlich der Synchronität notwendig, spezifizieren zu können, welche Kriterien in Bezug auf zeitliche Faktoren getroffen werden müssen.

Ein Experiment zur Untersuchung von Wahrnehmungsaspekten der zeitlichen Faktoren wurde in einer Virtuellen Auditiven Umgebung durchgeführt. In diesem Experiment wurde ein Audio-Stimulus über einen Kopfhörer und ein taktiler Stimulus in einem Schwingungsprüfstand dargeboten. Dabei wurde die zeitliche Verzögerung bestimmt, mit der beide Signale dargeboten werden konnten, ohne dass die Versuchspersonen eine Asynchronität wahrnehmen konnten, wenn beide Stimuli zeitversetzt dargeboten wurden. Hierzu wurden zwei verschiedene Stimuluspaare, ein künstliches und ein natürliches, benutzt. Für das künstliche Stimuluspaar wurden Breitbandrauschimpulse, für das natürliche Stimuluspaar Aufnahmen im Krafffahrzeug (Fahrt über Bodenwellen, „Schildkröten“) verwendet. In einem „forced-choice“ Experiment musste die Versuchsperson beurteilen, welcher der beiden (auditiv und taktil) Stimuli zuerst angeboten wurde. Die Ergebnisse der Untersuchung werden vorgestellt und diskutiert.

## Einleitung

Im täglichen Leben, bei der Wahrnehmung und deren Beurteilung besetzen die multimodalen Informationen einen wesentlichen Einfluss. Virtuelle Umgebungen spielen eine besondere Rolle in der Forschung, denn sie erlauben es, komplexe Versuchsszenarien flexibel und aufwandsgünstig darzustellen [1]. Die Erzeugung von natürlicheren und vorteilhafteren virtuellen Umgebungen ist eines der Hauptziele in Entwicklung und Forschung an virtuellen Umgebungen. Das Verständnis von Wahrnehmungsaspekten bezüglich zeitlicher Faktoren auf multimodalen Darstellungen ist sehr wichtig, um festzustellen, wie die Integration von multimodalen Informationen stattfindet und um in virtuellen Umgebungen die Verzögerungstoleranz zwischen Modalitäten für einen optimalen Wahrnehmungsrealismus zu bestimmen.

Im Rahmen der hier vorgestellten Studie werden Aspekte des zeitlichen Synchronismus zwischen auditorischen Stimuli und Ganzkörperschwingungen untersucht. Die meisten Forschungen, die den Effekt der zeitlichen Faktoren auf multimodale Darstellungen untersuchen, hängen mit der audio-visuellen Synchronität zusammen (unterschiedliche Referenzen können in einem Artikel von Kohlrausch und van de Par gefunden werden [2]), während sich nur sehr wenige Untersuchungen auf die akustisch-taktile Synchronität beziehen [3]. Die erreichten Resultate variieren abhängig von der Art der Stimuli und den psychometrischen Methoden. Die Ergebnisse der Untersuchungen von audio-visueller Synchronität zeigen, dass es eine bestimmte Asymmetrie für die

Synchronitätsschwelle gibt (die größere Toleranz im Falle von „visueller Stimulus zuerst“ verglichen mit der Situation „auditiver Stimulus zuerst“) [3]. Hirsh und Sherrick untersuchten die zeitliche Synchronität zwischen auditiven und taktilen (am Finger dargebotene) Stimuli. Die Schwellenwerte liegen bei ca. 20 ms, aber das Gehör ist relativ zum Tastsinn schneller [4].

Viele virtuelle Umgebungen, z.B. Autosimulatoren, benötigen eine Ganzkörperschwingungsanregung. Für diesen Fall sind keine Literaturdaten vorhanden. Weitere Untersuchungen über die zeitliche Synchronität zwischen auditorischen und Ganzkörperschwingungen wurden von uns durchgeführt, um den Synchronisierungsschwellwert von auditaktilen Stimuli mit einem Ganzkörperschwingungssystem und einer virtuellen auditiven Umgebung zu messen.

## Experiment

### Versuchsaufbau

Die Ganzkörperschwingungssignale wurden durch einen elektrohydraulischen Simulator (Schenk) mit einem maximalen Weg (Hub) von 250 Millimetern und einer dynamischen Kraft von 25 kN in der vertikalen Richtung produziert (z-Achse). Ein starrer hölzerner Sitz ohne eine Rückenlehne wurde auf der Simulatorplattform montiert.



Abb.1: Das Foto der experimentellen Installation

Zwei unterschiedliche Signale wurden durch eine Soundkarte eines PC erzeugt (linker Kanal: auditiver Stimulus, rechter Kanal: Triggersignal für den Vibrationsgenerator) um das Zeitverhältnis (gleichzeitige und nicht-gleichzeitige Darstellung) zwischen der Ganzkörperschwingung und den Audiosignalen zu erhalten. Die akustischen Stimuli wurden verstärkt und durch Kopfhörer dargeboten. Die Totzeit des elektrohydraulischen Simulatorsystems (zwischen der Ankunftszeit des Triggersignals und der Erzeugung der Vibration) wurde gemessen und mit einer zusätzlichen Verzögerung in den Audiosignalen ausgeglichen, als diese erzeugt wurden. Das Foto der experimentellen Installation ist in Abb. 1 dargestellt.

## Stimuli

Zwei verschiedene Stimuluspaare, ein künstliches und ein natürliches, wurden zur Messung der Wahrnehmbarkeit der Asynchronie zwischen auditorischen und Ganzkörperschwingungen verwendet. Im künstlichen Stimuluspaar wurden Breitbandrauschimpulse für die akustischen Signale und eine Sinuswelle für die taktilen Signale benutzt (Abbildung 3). Die künstlichen Stimuli dauerten 25 ms. Der Schalldruckpegel des Testschalles betrug etwa 62 dB und die Intensität der Vibration an der Plattform des Simulators wurde auf  $0,45 \text{ m/s}^2$  eingestellt.

Für das natürliche Stimuluspaar wurden Aufnahmen der auditiven Schalle und der Vibrationen im Kraftfahrzeug (Fahrt über Bodenwellen) angefertigt. Die Dauer der natürlichen Stimuli ergab sich zu 300 ms. Der Schalldruckpegel des Audiosignals betrug etwa 64 dB und die Intensität der Vibration an der Plattform des Simulators wurde auf  $0,7 \text{ m/s}^2$  eingestellt.

## Testpersonen

Acht Versuchspersonen (sechs Männer und zwei Frauen) mit Normalhörfähigkeit nahmen an diesem Experiment teil. Sie waren zwischen 23 und 50 Jahren alt (Mittelwert 28 Jahre) und wogen zwischen 53 und 80 Kilogramm (Mittelwert 68 Kilogramm). Niemand litt an Rücken- oder Unterleibserkrankungen.

## Versuchsdesign

Die Versuchspersonen wurden angewiesen, auf dem starren hölzernen Sitz in einer bequemen Lage zu sitzen und die Kopfhörer aufzusetzen. Die Stimuli wurden mit relativen Verzögerungen zwischen -350 ms (Vibration zuerst) und +350 ms (Audio zuerst) dargeboten. Die Versuchspersonen wurden gebeten, einzuschätzen, ob das Audiosignal oder das Vibrationssignal zuerst kam (forced choice). Vor Beginn des Experimentes wurden den Versuchspersonen fünf Ankerstimuli dargeboten, damit sie sich mit System und Stimuli vertraut machen konnten. Jede experimentelle Sitzung dauerte ungefähr eine halbe Stunde einschließlich der Trainingssitzung.

## Ergebnisse

Die relativen Anteile der Antworten „Audio zuerst“, „Vibration zuerst“ für jede Situation werden in Abbildung 4 (künstlichen Stimuli) und in Abbildung 5 gezeigt (natürlichen Stimuli).

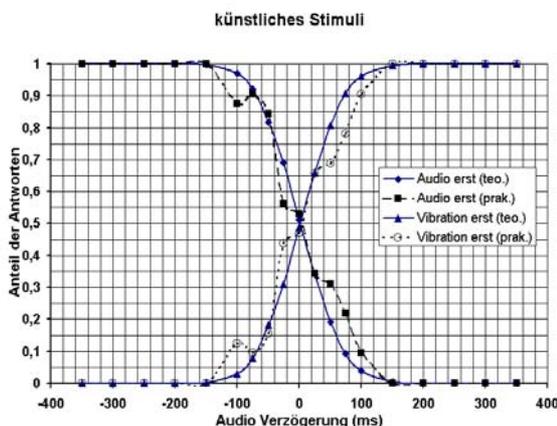
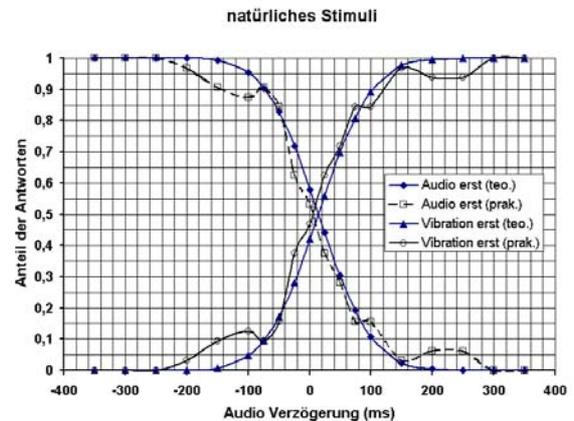


Abb.2: Der relative Anteil der Antworten "Audio zuerst" und "Vibration zuerst" als Funktion der Audioverzögerung für natürliche Stimuli

Theoretische psychometrische Funktionen (S-Kurven) können aus den Resultaten ermittelt werden, indem man Normalverteilungswerte errechnete und eine Näherung kleinster Quadrate anwendete. Die Schwellenwerte bei 75% Synchronität der psychometrischen Funktionen sind -35 ms und 39,1 ms für die künstlichen Stimuli und 32,4 ms



und 61 ms für die natürlichen Stimuli.

Abb.3: Der relative Anteil der Antworten "Audio zuerst" und "Vibration zuerst" als Funktion der Audioverzögerung für natürliche Stimuli

## Diskussion

Die Resultate zeigen, dass Menschen für die Synchronität von Audio- und Ganzkörperschwingung sehr empfindlich sind. Die Resultate des Psychoakustikexperimentes zeigen an, dass die Synchronisierungsschwellenwerte zu kritisch sind, um durch eine vereinfachte auditive virtuelle Umgebung produziert zu werden und dass die Synchronisierung mindestens innerhalb einer Genauigkeit von 40 ms stattfinden muss.

In der Experimentalsituation mit den künstlichen Stimuli wird die Erkennungswahrscheinlichkeit von 50% bei einer Verzögerung von 0 ms gefunden. Obwohl dieser Wert für die Situation mit den natürlichen Stimuli bei einer Verzögerung von 15 ms gemessen wurde, glauben wir nicht, daß es einen allgemeinen Unterschied gibt zwischen dem Fall, bei dem das Audiosignal verzögert wird und jenem Fall, bei dem die Erschütterung verzögert wird, im Gegensatz zur audio-visuellen Asynchronität (van de Par und Kohlrausch). Es ist wahrscheinlicher, dass die Unterschiede für die Bedingungen mit den künstlichen und natürlichen Stimuli aus den physikalischen Parametern der Stimuli resultieren. Die künstlichen Stimuli waren sehr kurz (25 ms), während die natürlichen Stimuli bedeutend länger waren (300 ms). Es ist wahrscheinlich, dass die Wahrnehmungsangriffszeiten der natürlichen Stimuli asynchron sind, selbst wenn die Stimuli ohne eine Verzögerung dargestellt werden.

## Literatur

- [1] Blauert, J., Lehnert, H., Sahrhage, J., Strauss, H. (2000). An Interactive Virtual-Environment Generator for Psychoacoustic Research I: Architecture and Implementation, *ACUSTICA/acta acustica*, Vol. 86, 94-102.
  - [2] Kohlrausch A., van de Par S., 1999. "Auditory-visual interaction: From fundamental research in cognitive psychology to (possible) applications", in: *Human Vision and Electronic Imaging IV*, Proc. Soc. Photo-Optical Instrumentation Engrs. 3644, 34-44
  - [3] Hirsh I.J., and Sherrick C.E., 1961, Perceived Order In Different Sense Modalities, *J. Exp. Psychol* 62, 423-432
- Danksagung:* Bedanken möchten wir uns bei J. Braasch für die hervorragende Zusammenarbeit und wertvolle Hinweise sowie bei P. Salzsieder und W. Heckers für ihre kompetente Unterstützung im Labor.