

Psychoakustische Experimente zur Untersuchung der Wahrnehmung Doppler-behafteter Signale

Christian Störig, Christoph Pörschmann

Fachhochschule Köln, Institut für Nachrichtentechnik, Email: christian.stoerig@gmx.de

Einleitung

Die Entfernungswahrnehmung *ortsfester* Schallquellen, die sich in mittleren bis hohen Entfernungen zum Hörer befinden, wird durch die Hörerfahrung dominiert. Auch wirkt sich im Fall hoher Entfernungen die Dissipation aus, die spektrale Veränderungen (Tiefpassfilterung) des beim Hörer eintreffenden Schallsignals bewirkt.

Bewegt sich die Schallquelle auf einer Geraden, so sind diese Größen implizit zeitabhängig. Die von der Translation der Schallquelle abhängigen Veränderungen des beim Hörer eintreffenden Signals stellen diesem zusätzliche Informationen in Form *dynamischer Cues* (interaurale Unterschiede, bewegungsabhängiger Immissionspegel und Doppler-Effekt) über ihren Bewegungsvorgang und ihre Entfernung zur Verfügung.

Der Einfluss *monauraler Cues* (Doppler-Effekt, Immissionspegel), sowie der Einfluss *binauraler Cues* (ITD, ILD) auf die Geschwindigkeits- und Entfernungswahrnehmung wird in zwei Experimenten am Beispiel eines frontal am Hörer vorbeifahrenden PKWs untersucht. Dieser wurde simultan mit einem Kugelmikrofon und einem Kunstkopf in fünf unterschiedlichen Entfernungen zur Straße (4, 8, 12, 16, 20 m) und mit vier unterschiedlichen Fahrzeuggeschwindigkeiten (40, 60, 80, 100 km/h) aufgezeichnet.

Experiment 1

In Anbetracht von Lutfi&Wangs [3] Untersuchungen wird zur Unterscheidung von Geschwindigkeiten vorrangig der Doppler-Effekt genutzt.

Experiment 1 befasst sich mit der Frage, ob die Geschwindigkeit einer Schallquelle unter dichotischer und diotischer Darbietung von den Versuchspersonen unterschiedlich hoch eingeschätzt wird. Diese Vorgehensweise ermöglicht einen Rückschluss darauf, inwiefern monaurale und binaurale Cues vom Hörer zur Abschätzung von Geschwindigkeiten genutzt werden (vgl. [2][3][4]).

Die VP hatten die Aufgabe die Geschwindigkeit des PKWs mithilfe einer sieben-stufigen Kategorienskala zu beurteilen (s. Abb. 1). Zudem konnten Urteile zwischen benachbarten Kategorien abgegeben werden. Dargeboten wurden 20 dichotische und 20 diotische Stimuli über Kopfhörer in randomisierter Abfolge.

Abb. 1 verdeutlicht, dass die Geschwindigkeit bei diotischer Darbietung im Vergleich zu dichotischen Stimuli unterschiedlich eingeschätzt wird. Um zu verifizieren, ob die Urteile signifikant unterschiedlich sind, wurden diese einem t-Test ($p = 0.05$) unterzogen (s. Abb. 2).

Der Test zeigt, dass die Geschwindigkeit im Nahfeld ($d = 4$ m) bei diotischen Stimuli überschätzt wird. Im Fernfeld wird die Geschwindigkeit bei diotischer Darbie-

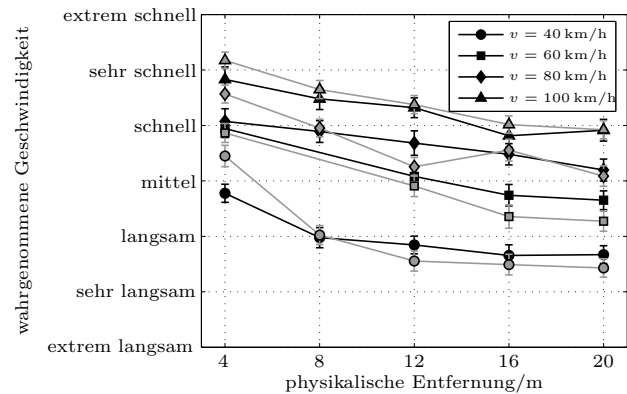


Abbildung 1: Wahrnehmbare Geschwindigkeit über der physikalischen Entfernung - Dargestellt sind die Urteile mit 95%-Konfidenzintervallen über dichotische (schwarze Marker) und diotische (graue Marker) Stimuli.

tung tendenziell unterschätzt, wobei dieser Effekt hier schwächer ausgeprägt ist, was auch der t-Test belegt. Im Fall hoher Geschwindigkeiten und im Fernfeld kann die Nullhypothese ($H_0: \mu_a = \mu_b$) nicht verworfen werden. Dies ist dadurch erklärbar, dass bei hohen Geschwindigkeiten der Doppler-Cue stärker ausgeprägt und somit deutlicher wahrnehmbar ist [3][2].

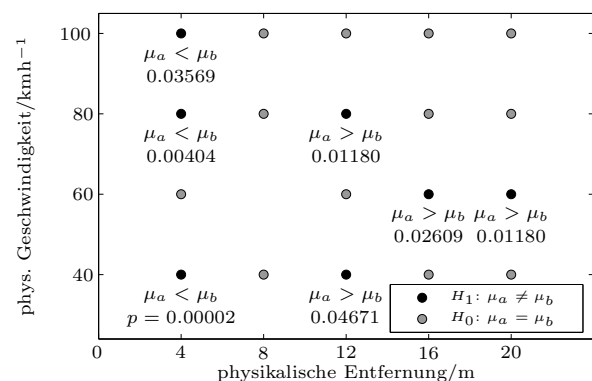


Abbildung 2: Ergebnisse des t-Tests ($\mu_a \equiv$ dichotisch, $\mu_b \equiv$ diotisch): Für den Fall, dass die Nullhypothese H_0 verworfen wurde, sind zusätzlich die p -Werte aufgetragen.

Experiment 2

Hellmanns [1] Untersuchungen zur Distanzwahrnehmung von auf den Hörer zubewegten Schallquellen zeigen, dass neben der Änderungsrate (*Acoustic Tau*) die absolute Höhe des Immissionspegels einen Einfluss auf das Distanz Urteil ausübt (*computationale Strategie*, vgl. [1]).

In Experiment 2 sollten die VP die Entfernung des Fahrzeugs im Moment der Vorbeifahrt (frontale Position) mithilfe einer sieben-stufigen Kategorienskala (s. Abb. 3) abschätzen. Als Ausgangsbasis dienten Kunstkopfmessungen, bei denen der PKW mit konstanter Geschwindigkeit ($v = 60 \text{ km/h}$) in einem Abstand von 4, 12, 16 und 20 m am Kunstkopf vorbeifuhr. Der Immissionspegel der Vorbeifahrtmessungen wurde in randomisierter Abfolge um feste Werte abgesenkt ($\Delta L_a = 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 \text{ dB}$). Da die in den Messungen enthaltenen Umgebungsgeräusche mit abgesenkt werden, wurde zur Verschleierung des Versuchsprinzips ein unverändertes binaurales Umgebungsgeräusch zugemischt.

Analog zu [1] zeigen die Ergebnisse, dass sich statische Veränderungen des Immissionspegels auf das Distanzurteil auswirken (s. Abb. 3). Eine Effektivwertmessung des Immissionspegels ($L_{max} \equiv$ Moment der Vorbeifahrt) ergab, dass der PKW bei ähnlichen Pegelniveaus in einer ähnlichen Entfernung wahrgenommen wird (s. Abb. 4).

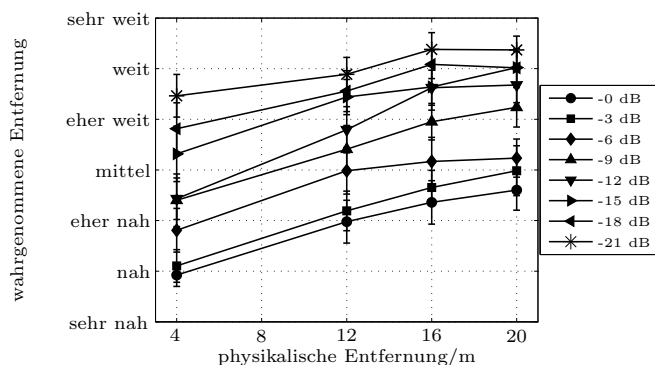


Abbildung 3: Psychophysische Funktion - Dargestellt ist die wahrgenommene Entfernung über der physikalischen Entfernung im Moment der Vorbeifahrt (95%-Konfidenzintervalle). Jede Kurve gilt für einen Dämpfungsfaktor ΔL_a in [dB].

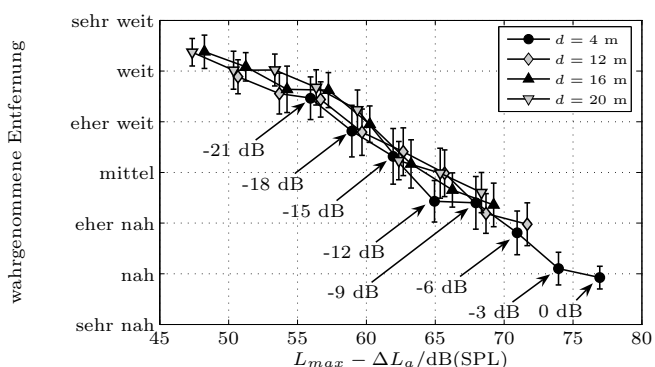


Abbildung 4: Dargestellt ist die wahrgenommene Distanz über dem Immissionspegel der Vorbeifahrtgeräusche (Urteile der VP mit 95%-Konfidenzintervallen). An den Urteilen über die Vorbeifahrtmessung in 4 m Entfernung sind als Beispiel die Dämpfungsfaktoren angetragen.

Des Weiteren sollten die VP die Plausibilität der Vorbeifahrtgeräusche beurteilen (Kategorienskala, s.o.). Dies ermöglicht Rückschlüsse darauf, inwiefern *dynamische* Cues in das Distanzurteil mit eingehen. Diese zeigen im

Gegensatz zum künstlich veränderten Immissionspegel die tatsächliche Entfernung der Quelle an. Interessanterweise stellte sich heraus, dass das Fahrzeuggeräusch mit steigendem Dämpfungsfaktor ΔL_a als *zunehmend unplausibel* empfunden wird. Offensichtlich ist dies durch die Diskrepanz zwischen dem veränderten Immissionspegel und den dynamischen Cues bedingt.

Dies suggeriert, dass dynamische Cues im Vergleich zum Niveau des Immissionspegels auf die Entfernungswahrnehmung einen geringen Einfluss haben, in Bezug auf die Gesamtwahrnehmung aber nicht vernachlässigbar sind.

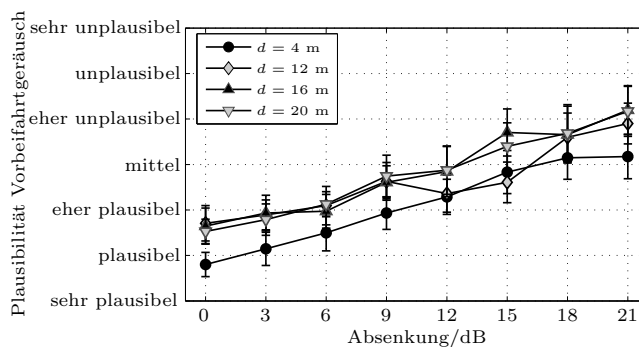


Abbildung 5: Experiment 2 - Dargestellt sind die Urteile (95%-Konfidenzintervalle) der VP über die Plausibilität der dargebotenen Stimuli über dem Dämpfungsfaktor ΔL_a /dB.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse von Experiment 1 zeigen, dass im Nahfeld binaurale Cues bei der Beurteilung von Geschwindigkeiten eine Rolle spielen. Mit zunehmender Entfernung und insbesondere bei schnell bewegten Schallquellen ($v = 100 \text{ km/h}$) werden vom Hörer überwiegend monaurale Cues zur Abschätzung der Geschwindigkeit genutzt.

Durch Experiment 2 kann gezeigt werden, dass die Distanzwahrnehmung einer frontal am Hörer vorbeibewegten Quelle durch statische Veränderungen des Immissionspegels beeinflusst wird. Zudem stellt sich heraus, dass dynamische Cues offensichtlich nicht in das Distanzurteil mit eingehen, für die Plausibilität jedoch nicht vernachlässigbar sind.

Literatur

- [1] Hellmann, A. (1994): Auditive Kollisionwahrnehmung: Schallquellen, die sich auf den Hörer zubewegen. in: *Fortschritte der Akustik - DAGA 1994*, DEGA e.V., D - Bad Honnef, pp. 1149–1152.
- [2] Kaczmarek, Thomasz (2005). Auditory Perception of sound source velocity. *J. Acoust. Soc. Am.* 117(5), pp. 3149–3156.
- [3] Lutfi, Robert A. und W. Wang (1999). Correlational analysis of acoustic cues for the discrimination of auditory motion. *J. Acoust. Soc. Am.* 106(2), pp. 919-928.
- [4] Rosenblum, Lawrence D. (1987). Relative effectiveness of three stimulus variables for locating a moving sound source. *Perception* 16, pp. 175–186.