

Detektion und Ausprägtheit der Tonhöhe bei Impulsfolgen

M. Schmidt, H. Fastl, E. Hafter*

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, Technische Universität München;

*Department of Psychology, University of California, Berkeley

1. Der Stimulus

Untersucht wurde die Ausprägtheit der Tonhöhe, sowie die Unterschiedsschwellen von Tonimpulsfolgen. Die einzelnen Tonimpulse bestanden aus einem 4 kHz Sinussignal, welches (bezgl. des Sinussignals symmetrisch) durch eine Gauß-Hüllkurve begrenzt wurde. Diese Hüllkurve hatte eine Anstiegszeit von $T_{rG} = 0,358$ ms, wodurch sich eine Impulsdauer von $T_i = 0,36$ ms ergab.

Ein Teil der zeitlichen Intervalle T_p zwischen den Impulsen war in der Länge definiert ("Signalintervalle" T_{pS}), die restlichen Impulsabstände wurden aus einer Zufallsverteilung gewählt ("Rauschintervalle" T_{pR}). Abbildung 1a) zeigt einen Ausschnitt aus dem Zeitsignal einer Pulsfolge mit 100% Signalintervallen, also eine Folge äquidistanter Impulse mit einem Impulsabstand von $T_p = T_{pS} = 6$ ms. Abbildung 1b) zeigt einen Ausschnitt aus einer Impulsfolge, die sowohl aus Signalintervallen (mit " T_{pS} " gekennzeichnet) als auch aus Rauschintervallen zusammengesetzt ist.

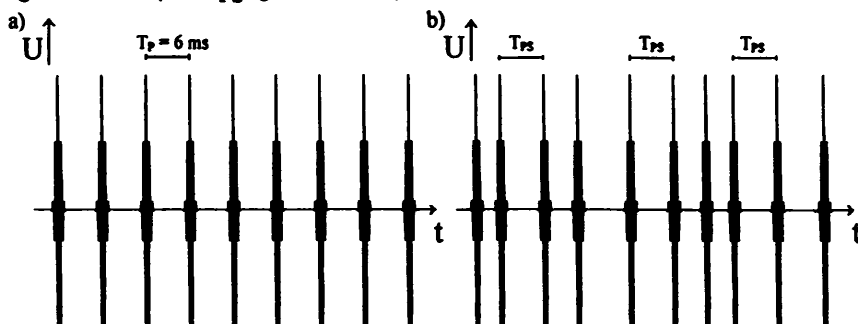


Abb. 1) Zeitsignale von Impulsfolgen (Ausschnitte)

In der vorliegenden Untersuchung wurden sowohl der Anteil der Signalintervalle als auch die Zufallsverteilung der Rauschintervalle variiert. Die Signalintervalle hatten eine Länge von $T_{pS} = 6$ ms (\Rightarrow Tonhöhenfrequenz $\approx 1/T_{pS} = 167$ Hz). Abbildung 2) zeigt für die Impulsfolgen qualitativ die Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung als Funktion der Impulsabstände T_p . Bei $T_p = 6$ ms ist der Anteil der Signalintervalle zu erkennen (in Abb. 2a) mit T_{pS} gekennzeichnet). Die gleichmäßige Zufallsverteilung der Rauschintervalle besteht aus zwei Bändern mit einer Breite von 0,4 ms, je eines zu jeder Seite von T_{pS} . In Abbildung 2a) liegen diese Bänder an T_{pS} an, die Rauschintervalle T_{pR} haben in diesem Fall eine Länge zwischen $5,6 \text{ ms} \leq T_{pR} \leq 6,4 \text{ ms}$. In Abbildung 2b) wird der untere Teil der Zufallsverteilung von T_{pS} entfernt, sodaß eine Lücke ΔT_{11} entsteht. Wird der obere Teil der Zufallsverteilung von T_{pS} entfernt (Abb. 2c), so wird die Lücke in der Zufallsverteilung mit ΔT_0 bezeichnet. Es wurde jeweils nur ein Band der Zufallsverteilung von T_{pS} entfernt. Gemessen wurden Werte für ΔT_{11} bzw. ΔT_0 von 0; 0,4; 1 und 2 ms.

2. Messung der Ausprägtheit der Tonhöhe (ATH)

Die ATH wurde mit Hilfe einer Größenschätzung mit Ankerschall gemessen. Dabei wurde jeweils der Ankerschall und anschließend ein Testschall dargeboten. Der Ankerschall besaß bezüglich der ATH per Definition den ATH-Wert "100". Die Vpn hatten die Aufgabe, dem Testton einen Wert zuzuordnen, der, verglichen mit dem Ankerschall, die ATH ausdrückt. Es wurden zwei verschiedene

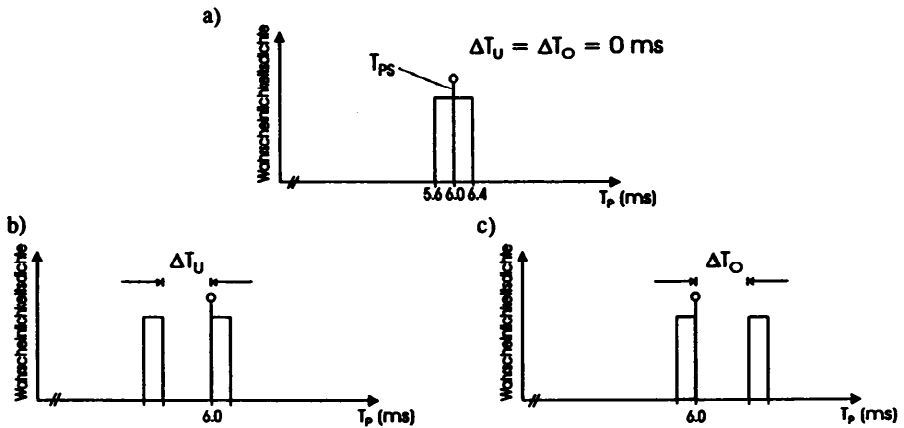


Abb. 2) Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen als Funktion der Pulsintervalle

Ankerschalle verwendet. Ein Anker war eine Impulsfolge mit 100%, der zweite Anker eine Folge mit 50% Signalintervallen. Ankerschall und Testschall hatten je eine Länge von 201 Impulsen. Der Anteil der Signalintervalle in den Testschallen wurde in 10%-Schritten zwischen 0% und 100% gewählt. Während einer Meßsitzung wurde nur der Anteil an Signalintervallen geändert, die anderen Parameter (Zufallsverteilung, Anker...) blieben konstant. Die unterschiedlichen Testschalle wurden je fünfmal, in zufälliger Reihenfolge dargeboten. Die Meßwerte für beide Anker wurden normiert und anschließend zusammengefaßt. Die Normierung wurde so vorgenommen, daß eine Impulsfolge mit 100% Signalintervallen den ATH-Wert "100" hatte. Am Versuch nahmen zwei Versuchspersonen (Vpn) teil. Die Schalle wurden diotisch über elektrostatische Kopfhörer dargeboten. Der Darbietungspegel wurde so gewählt, daß eine Pulsfolge äquidistanter Pulse mit $T_P = 10 \text{ ms}$ einen Schalldruckpegel von 60 dB erzeugte.

Abbildung 3 zeigt die ATH als Funktion des Anteils an Signalintervallen in der Impulsfolge. Parameter ist dabei für Abb. 3a) ΔT_U und für Abb. 3b) ΔT_O . Es zeigt sich, daß die ATH mit dem Anteil an Signalintervallen ansteigt. Dieses Ergebnis war zu vermuten, da man intuitiv sagen würde, daß eine Impulsfolge mit äquidistanten Impulsen eine stärkere ATH erzeugt als eine, bei der sich die Intervalle von Impuls zu Impuls ändern. Die Meßergebnisse lassen aber zusätzlich auf einen linearen Zusammenhang zwischen Anteil an Signalintervallen und ATH schließen.

Weiter erkennt man, daß die ATH deutlich sinkt, wenn ein Band der Zufallsverteilung von T_{PS} entfernt wird. Dies gilt sowohl für ΔT_U als auch für ΔT_O .

3. Messung der Detektion von Signalintervallen

Es wurde weiter die Frage untersucht, ob durch die ATH die Unterschiedsschwellen zwischen Impulsfolgen, die nur aus Rauschintervallen bestanden und solchen mit einem Anteil Signalintervallen vorhergesagt werden können.

Die Unterschiedsschwellen wurden in einem Two-Alternative-Forced-Choice (2AFC) Verfahren gemessen. Es wurde je eine Impulsfolge mit einem bestimmten Anteil an Signalintervallen und ein Schall mit 100% Rauschintervallen in zufälliger Reihenfolge dargeboten. Die Zufallsverteilung war in beiden Fällen dieselbe. Die Vp hatte die Aufgabe, den Schall, der die Signalintervalle enthielt zu

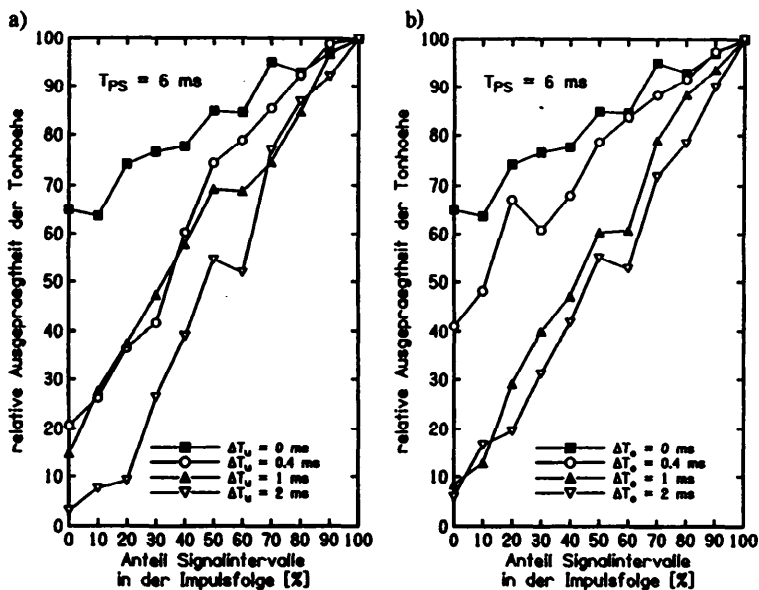


Abb. 3) ATH als Funktion des Anteils an Signalintervallen für ΔT_U und ΔT_O .

identifizieren. Gemessen wurde der Prozentsatz an korrekten Antworten der Vpn. Diese Messung wurde für verschieden starke Anteile an Signalintervallen durchgeführt, aus den Ergebnissen wurde für jede Vp ihre psychometrische Funktion ermittelt und der 75%-Wert extrahiert. Dieser stellt die Detektionsschwelle für Signalintervalle dar. Vor jedem Schallpaar wurde ebenfalls ein Hinweisschall mit 60% Signalintervallen dargeboten, und den Vpn wurde mitgeteilt, daß der Schall, welcher die Signalintervalle enthält, wahrscheinlich eine deutlichere, dem Hinweisschall ähnliche Tonhöhe besäße. Es wurde ein Feedback gegeben, ob der richtige Schall erkannt worden war, und die Vpn konnten vor jeder Sitzung die Aufgabe in einem Testmodus üben.

Der Testschall, der die Signalintervalle enthielt war eine Impulsfolge mit 101 Impulsen, der Testschall der nur Rauschintervalle enthielt wurde in der zeitlichen Länge angeglichen. Weiter wurde ausgedehnt, die Schalle durch ihre akustische Energie zu unterscheiden, indem sie darin einander angeglichen wurden und jeder Schall zusätzlich mit einer zufällig gewählten Dämpfung zwischen 0 dB und 2 dB belegt wurde. Die Parameter (T_{PS} , Zufallsverteilung) wurden wie beim ATH-Versuch gewählt, um einen Vergleich zu ermöglichen. Am Versuch nahmen 4 Vpn teil. Jeder Meßpunkt pro Vp ist der Mittelwert über 100 Darbietungen (Ausnahme: bei einer Vp nur über 50 Darbietungen gemittelt).

Abbildung 4) zeigt die gemessenen Unterschiedsschwellen (gefüllte Quadrate) als Funktion von ΔT_U (Abb. 4a) bzw. ΔT_O (Abb. 4b)). Die senkrechten Linien markieren den Bereich, in dem die Mittelwerte der einzelnen Vpn lagen. Die höchsten Schwellen zeigen sich für $\Delta T_U = \Delta T_O = 0$ ms. Mit wachsenden Lücken sinken die Schwellen erst stärker, dann schwächer. Dies gilt sowohl für ΔT_U als auch für ΔT_O .

4. Vergleich des Detektions- mit dem ATH-Versuch

Geht man davon aus, daß die Detektion der Signalintervalle auf der ATH basiert, müßten die Detektionsschwellen durch die Ergebnisse des ATH-Versuchs vorhergesagt werden können. Um die Er-

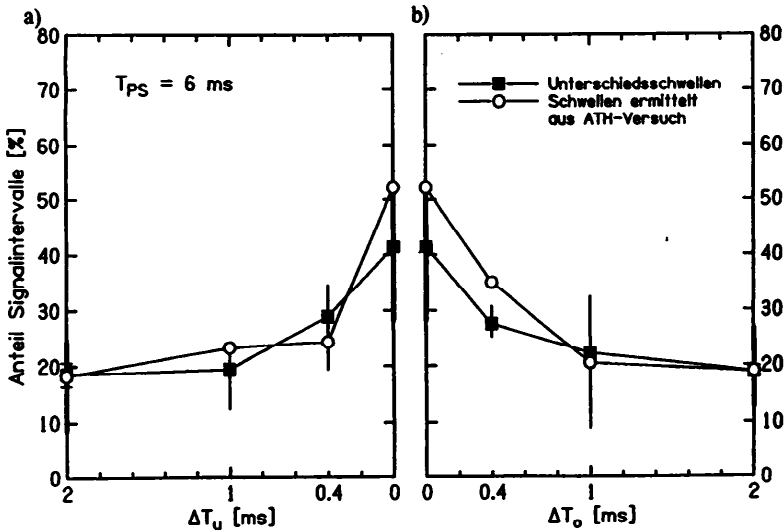


Abb. 4) Unterschiedsschwellen und aus den ATH-Funktionen ermittelte Schwellen

Ergebnisse beider Versuche zu vergleichen, war es nötig, aus den Ergebnissen des ATH-Versuchs "Schwellenwerte" zu ermitteln. Dabei wurde von der Hypothese ausgegangen, daß zur Detektion eine bestimmte Differenz in der ATH notwendig ist. Der Detektionswert für $\Delta T_O = 2$ ms (= 18,9% Signalintervalle) wurde als Referenzpunkt gewählt und aus der entsprechenden (mit Hilfe des minimalen Fehlerquadrats linearisierten) ATH-Funktion wurde die ATH-Differenz zwischen 0% und 18,9% Signalintervalle ermittelt. Mit dieser ATH Differenz wurde nun aus den anderen linearisierten ATH-Funktionen in umgekehrter Vorgehensweise eine "Schwelle" ermittelt. Abb. 4) zeigt diese "Schwellenwerte" als leere Kreispunkte.

Vergleicht man die gemessenen Schwellen mit den aus den ATH-Funktionen errechneten qualitativ, so zeigt sich ein ähnlicher Verlauf: hohe Schwellen für $\Delta T_U = \Delta T_O = 0$ ms und ein Sinken der Schwellen mit wachsendem ΔT_U bzw. ΔT_O . Quantitativ zeigen sich mit sinkender Lücke in der Zufallsverteilung jedoch wachsende Differenzen zwischen beiden Funktionen, die größte bei $\Delta T_U = \Delta T_O = 0$ ms. An diesem Punkt ist die gemessene Schwelle niedriger als die durch die ATH errechnete (dies bestätigt sich auch bei Messungen für andere Werte von T_{PS}). Es kann also geschlossen werden, daß sich die Detektion (wie auch von den Vpn berichtet) zu einem großen Teil auf die ATH stützt. Für Zufallsverteilungen, die zu einer hohen ATH-Schwelle führen würden scheint es doch noch andere psychoakustischen Größen zu geben, die zu niedrigeren Schwellen, also zu einer besseren Detektion führen.

5. Zusammenfassung

Im ATH-Versuch zeigt sich ein linearer Anstieg der ATH mit wachsendem Anteil an Signalintervallen. Weiter zeigt sich ein Sinken der ATH mit wachsender Lücke in der Zufallsverteilung der Rauschintervalle. Auch die Schwellen des Detektionsversuchs sinken mit wachsender Lücke in der Zufallsverteilung. Es liegt der Gedanke nahe, daß die Detektion auf der ATH beruht. Ein quantitativer Vergleich zwischen ATH- und Detektionsversuch zeigt zwar ähnliche Verläufe der Funktionen, für einige Situationen zeigen sich jedoch Differenzen, die vermuten lassen, daß sich die Detektion auch auf andere Größen als die ATH stützt.