

Spektrale Lautheitssummation bei zeitversetzter Darbietung der Frequenzkomponenten

Wiebke Heeren¹, Jan Rannies², Jesko Verhey^{1,3}

¹ Carl von Ossietzky Universität, 26121 Oldenburg, Deutschland, Email: wiebke.heeren@uni-oldenburg.de

² Fraunhofer IDMT / Hör-, Sprach- und Audiotechnologie, 26129 Oldenburg, Deutschland, Email: rns@idmt.fraunhofer.de

³ Exp. Audiologie, Otto-von-Guericke-Universität, 39120 Magdeburg, Deutschland, Email: jesko.verhey@med.ovgu.de

Einleitung

Der Pegel eines breitbandigen Signals ist bei gleicher Lautheit üblicherweise niedriger als der eines schmalbandigen. Dieser als spektrale Lautheitssummation bezeichnete Effekt wird für gewöhnlich für Schalle gemessen, bei denen alle Frequenzkomponenten gleichzeitig dargeboten werden. Zwicker [1] hat für eine Folge von Tonpulsfolgen außerdem gezeigt, dass es auch bei zeitversetzter Darbietung der Frequenzkomponenten eines Stimulus zu spektraler Lautheitssummation kommt. Zur Erklärung dieses Effektes nahm Zwicker an, dass die einzelnen Tonpulse einer solchen Folge eine schnell ansteigende und langsam abfallende spezifische Lautheit in den entsprechenden Frequenzbereichen hervorrufen. Wird der nächste Puls eingeschaltet, solange die spezifische Lautheit des vorherigen Pulses noch nicht vollständig abgeklungen ist, so sind zur gleichen Zeit mehrere Frequenzbereiche angeregt. Durch die Summation über alle Frequenzbereiche resultiert dies somit in einer erhöhten Gesamtlautheit $N(t)$. Dieser Interpretationsansatz ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. In der vorliegenden Studie wur-

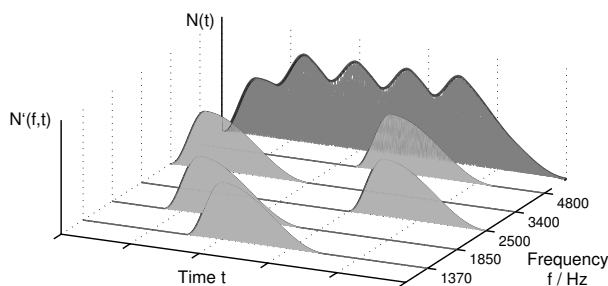


Abbildung 1: Schematische Darstellung der spezifischen Lautheit $N'(f,t)$ einer Folge von kurzen Tonpulsen unterschiedlicher Frequenzen als Funktion von Zeit und Frequenz nach [1]. Im Hintergrund ist die Lautheit $N(t)$ als Summe der $N'(f,t)$ über die Frequenz dargestellt.

de seine Hypothese durch eine systematische Variation des Interpulsintervalls (IPI) überprüft. Auf Basis der Hypothese ergeben sich die folgenden Vorhersagen für die Abhängigkeit der nichtsimultanen Lautheitssummation vom IPI: (i) die Lautheitssummation ist am größten für kurze IPI und (ii) der Abfall der Lautheitssummation mit steigendem IPI spiegelt den Abfall der spezifischen Lautheit $N'(f,t)$ wider.

Methodik

Mittels eines adaptiven 2-AFC-Verfahren mit 1up-1down-Prozedur wurden die Pegel gleicher Lautheit von zwei verschiedenen Teststimulustypen (Condition 1 and Condition 2) und einem Referenzstimulus bestimmt (siehe Abb. 2). Die zeitliche Struktur der beiden durch eine 500 ms lange Pause getrennten Stimuli war in jedem Trial identisch. Um Bias-Effekte zu vermeiden, wurden für jede Messkondition die Tracks mit den verschiedenen Interpulsintervallen (IPI) randomisiert dargeboten. Als Stimuli wurden Pulsfolgen mit variierenden IPI ver-

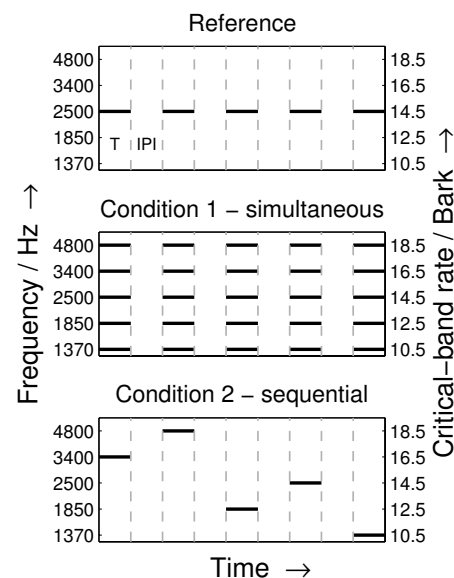


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Spektrogramme des Referenzstimulus (oben) und der beiden Teststimulustypen: Tonkomplexpulse bei Kondition 1 (mitte) und Tonpulsfolge mit variabler Frequenz bei Kondition 2 (unten).

wendet. Die Pulslänge betrug 10 ms bei einer Gesamtsignaldauer von 1000 ms, die IPI betragen 190, 90, 30, 10, 3,3 und 0 ms. Jeder Einzelpuls einer Folge wurde mit 2,5 ms langen \cos^2 -Rampen geflankt. Als Referenzstimulus wurde eine Tonpulsfolge mit einer Frequenz von 2500 Hz und einem Pegel von 60 dB SPL für jeden Einzelpuls verwendet. An diesen Referenzstimulus wurden zwei verschiedenen Teststimuli in der Lautheit angeglichen: (i) eine Folge aus Tonkomplexpulsen, in der jeder Puls aus der Summe von fünf individuell gleich lauten Pulsen der Frequenzen 1370, 1850, 2500, 3400 und 4800 Hz gebildet

wurde (Kondition 1) und (ii) eine Tonpulsfolge aus gleich lauten Einzelpulsen der genannten fünf Frequenzen, wobei die verschiedenen Pulse randomisiert hintereinander gereiht wurden (Kondition 2). Der prinzipielle Aufbau der drei Stimuli ist in Abbildung 2 dargestellt.

Der Versuch wurde mit zwölf normalhörenden Versuchspersonen (Hörschwelle ≤ 15 dB HL) im Alter zwischen 23 und 29 Jahren in einer doppelwandigen Hörkabine durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 3 zeigt die mittleren Messergebnisse aller zwölf Versuchspersonen (schwarz). Für Kondition 1 (Kreise) steigt der Betrag der spektralen Lautheitssummation bis zu einem IPI von 90 ms und bleibt dann konstant. Der Betrag liegt dabei zwischen 17 dB für einen IPI von 0 ms und 22 dB für IPI von 90 bzw. 190 ms. Für Kondition 2 (Dreiecke) liegt der Betrag zwischen 3 dB und 6,5 dB, dabei steigt er bis zu einem IPI von 30 ms zunächst auf 6,5 dB an und sinkt dann wieder auf 3 dB bei 190 ms. Die negativen Daten zeigen, dass die beiden Teststimuli über alle IPI lauter empfunden wurden als der Referenzstimulus. Der Betrag aus Kondition 1 ist

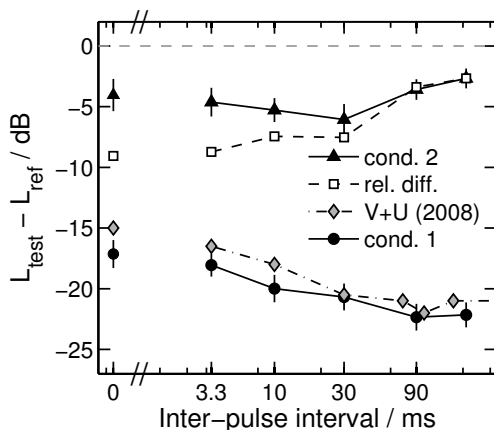


Abbildung 3: Lautheitssummation von Pulsfolgen mit 10 ms langen Pulsen und unterschiedlichen IPI gemittelt über zwölf Versuchspersonen. Die Pegeldifferenz zwischen dem Pegel des Referenzsignals und dem des Testsignals, die gleiche Lautheit hervorruft, ist über dem IPI in ms aufgetragen. **cond.1:** Pulsfolgen mit fünf Frequenzen pro Puls, **cond.2:** Pulsfolgen mit je einer Frequenz pro Puls, **rel. diff.:** Differenzkurve, **V+U (2008):** Literaturdaten aus [2].

auf die klassische Vorstellung der spektralen Lautheitssummation zurückzuführen. Die zu hohen IPI hin ansteigenden Beträge lassen sich dadurch erklären, dass die Lautheitssummation bei einem 10 ms langen Puls größer ist als bei einem 1000 ms langen Puls (vgl. [2] und [3]). Außerdem entspricht nach [2] der Betrag der Lautheitssummation bei großen IPI dem eines kurzen Einzelpulses. Mit kleiner werdendem IPI nähert sich der Betrag dem eines langen Einzelpulses an. Die entsprechenden Daten aus [2] sind in Abbildung 3, grau, dargestellt und stimmen gut mit den vorliegenden Messdaten überein. Auch diese weisen für IPI bis 10 ms eine geringere Lautheits-

summation auf als für größere IPI.

Für Kondition 2 wäre nach der Interpretation aus [1] ein monotoner Abfall des Betrags der Pegeldifferenz auf 0 dB bis zu einem bestimmten IPI zu erwarten. Die gemessenen Werte aus Kondition 2 entsprechen dieser Vorstellung nicht. Sowohl der Gesamtverlauf der Kurve als auch die Pegeldifferenz von etwa -3 dB bei hohen IPI unterscheiden sich von den erwarteten Werten. Eine mögliche Erklärung für den gemessenen Kurvenverlauf ist, dass die Daten nicht nur den erwarteten Effekt der spektralen Lautheitssummation bei zeitversetzter Darbietung der Frequenzkomponenten zeigen, sondern zusätzlich auch noch der in Kondition 1 auftretende Effekt des IPI auf den Betrag der spektralen Lautheitssummation eine Rolle spielt. Ein Ansatz, um nur den Effekt der nicht simultanen spektralen Lautheitssummation zu zeigen ist, den Dauereffekt von Kondition 1 aus den Messdaten für Kondition 2 herauszurechnen. Hierfür wurden die gemittelten Messdaten aus Kondition 1 von denen aus Kondition 2 subtrahiert. Die sich ergebende Kurve wurde anschließend so verschoben, dass der Wert für das IPI von 190 ms mit dem Messergebnis aus Kondition 2 identisch ist. Der Verlauf dieser Differenzkurve (Abb. 3, offene Symbole) entspricht in etwa dem für Kondition 2 erwarteten Verlauf. Für niedrige IPI ist der Betrag der Pegeldifferenz zwischen Referenz- und Teststimulus bei gleicher Lautheit maximal und nimmt mit wachsenden IPI ab. Ab einem IPI von 90 ms bleibt die Pegeldifferenz nahezu konstant.

Zusammenfassung

- Der Einfluss des Interpulsintervalls auf den Betrag der spektralen Lautheitssummation von Tonkomplexen (Kondition 1) ist identisch mit dem aus vorherigen Studien mit Rauschpulsen [2].
- Auch für die nicht simultane Darbietung der Frequenzkomponenten (Kondition 2) konnte über alle IPI spektrale Lautheitssummation gezeigt werden.
- Unter Einbezug des Einflusses des Interpulsintervalls auf die simultane spektrale Lautheitssummation nimmt der Betrag der spektralen Lautheitssummation bei nicht simultaner Darbietung der Frequenzkomponenten mit steigendem IPI monoton ab. Dieser so berechnete Verlauf entspricht der Vorhersage auf Basis der Hypothese von Zwicker [1] zur nichtsimultanen spektralen Lautheitssummation.

Literatur

- [1] Zwicker, E.: Einfluss der zeitlichen Struktur von Tönen auf die Addition von Teillautheiten. *Acustica* 21 (1969), 16-25.
- [2] Verhey, J. L. and Uhlemann, M.: Spectral loudness summation for sequences of short noise bursts. *J. Acoust. Soc. Am.* 123. (2008), 925-934
- [3] Verhey, J. L. and Kollmeier, B.: Spectral loudness summation as a function of duration. *J. Acoust. Soc. Am.* 111 (2002), 1349-1358.