

Gestaltung akustischer Informationssignale: Eine Untersuchung zum Einfluss spektraler und temporaler Parameter auf das Ausmaß der wahrgenommenen Bestätigung

Xaver Bodendorfer¹, Reinier Kortekaas², Markus Weingarten³, Sabine Schlittmeier⁴

¹ *Arbeits-, Umwelt- und Gesundheitspsychologie, KU Eichstätt-Ingolstadt, 85072 Eichstätt, E-Mail: xaver.bodendoerfer@ku.de*

² *Siemens AG, Healthcare Sector, 91301 Forchheim, E-Mail: reinier.kortekaas@siemens.com*

³ *Siemens AG, Healthcare Sector, 91301 Forchheim, E-Mail: markus.weingarten@siemens.com*

⁴ *Arbeits-, Umwelt- und Gesundheitspsychologie, KU Eichstätt-Ingolstadt, 85072 Eichstätt, E-Mail: sabine.schlittmeier@ku.de*

Einleitung

Der Einsatz akustischer Informationssignale in Mensch-Maschine-Interaktionen ist weit verbreitet und reicht von Arbeitsumgebungen (z.B. Steuerung komplexer technischer Anlagen oder medizintechnischer Geräte) bis hin zu Geräten des privaten, täglichen Gebrauchs (z.B. Mobiltelefone oder Autos). Mit Hilfe akustischer Signale werden häufig Warnungen über kritische Zustände oder potentielle Gefahrenquellen dargeboten. Im störungsfreien Verlauf der Mensch-Maschine-Interaktion spielen jedoch andere akustische Signale eine größere Rolle: Bestätigungssignale. Bei mehrschrittigen Interaktionen ermöglicht die Bestätigung einer vorangegangenen Aktion das reibungslose Voranschreiten mit den nächsten Prozedurschritten. Folglich ist es sinnvoll und notwendig, dass ein akustisches Bestätigungssignal vom Nutzer intuitiv als solches verstanden und interpretiert wird. Dennoch liegen unseres Wissens nach keine Informationen zu den optimalen spektralen und temporalen Eigenschaften von nicht-sprachlichen, akustischen Bestätigungssignalen vor.

Mit Hilfe eines Dominanzpaarvergleichs untersucht die vorliegende Studie den Einfluss ausgewählter auditiv-perzeptiver Parameter auf das wahrgenommene Bestätigungsausmaß eines nicht-sprachlichen akustischen Informationssignals. Als Ausgangspunkt dienen dazu die Forschungsergebnisse über den Einfluss bestimmter akustischer Parameter auf die wahrgenommene Dringlichkeit akustischer Warnsignale. Es wird angenommen, dass ein Bestätigungssignal nicht dringlich klingen sollte. Bestätigungssignale beziehen sich – im Gegensatz zu Warnsignalen – auf den erfolgreichen Abschluss einer vorangegangenen Aktion oder Eingabe. Warnsignale hingegen deuten mehr oder weniger dringlich auf zukünftig nahende Gefahren hin. Folglich wird angenommen, und im vorgelegten Dominanzpaarvergleich geprüft, dass sich die bisherigen Forschungsergebnisse zum Einfluss spektraler und temporaler Signalparameter auf die wahrgenommene Dringlichkeit invers auf das wahrgenommene Bestätigungsausmaß abbilden lassen.

In der vorliegenden Studie wurden vier temporal-spektrale Signalcharakteristika gewählt, die sich unabhängig voneinander manipulieren lassen und zu denen Forschungsergebnisse bezüglich der wahrgenommenen Dringlichkeit vorliegen. Entsprechend der eben dargestellten Hypothese eines inversen Zusammenhangs zwischen

Dringlichkeits- und Bestätigungsausmaß, wurde für jeden dieser Parameter eine Hypothese zu dessen Einfluss auf die wahrgenommene Bestätigung eines akustischen Signals formuliert:

- *Frequenz*: Je niedriger die Grundfrequenz eines Signals, desto höher das Bestätigungsausmaß (vgl. [1][2][3]).
- *Pulsanzahl*: Je niedriger die Anzahl der Pulse aus denen das Signal besteht, desto höher das Bestätigungsausmaß (vgl. [3]).
- *Interpulsabstand*: Je geringer der zeitliche Abstand zwischen den Pulsen eines Signals, desto höher das Bestätigungsausmaß (vgl. [1][2][3][4]).
- *Frequenzverhältnis*: Je niedriger das Frequenzverhältnis, desto höher das Bestätigungsausmaß (vgl. [3]). Dabei ist das Frequenzverhältnis das Verhältnis der Grundfrequenzen zweier aufeinanderfolgender Pulse (Grundfrequenz des ersten Pulses geteilt durch Grundfrequenz des zweiten Pulses).

Methode

Stichprobe

$N = 31$ Studierende (22 weiblich) der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt nahmen an dem Hörversuch teil. Alle Teilnehmer wiesen laut Selbstbericht normales Hörvermögen auf. Die Teilnehmer waren zwischen 18 und 47 Jahre alt, der Altersmedian lag bei $Md = 20$ Jahren.

Stimuli

Es wurde das subjektiv empfundene Bestätigungsausmaß von insgesamt 9 akustischen Informationssignalen untersucht, nämlich eines Basissignals und 8 Variationen desselben. Dabei wurde ausgehend vom Basissignal jeder der vier untersuchten Parameter (Frequenz, Pulsanzahl, Interpulsabstand, Frequenzverhältnis) zweimal variiert, sodass 8 Variationen aus dem Basissignal entstanden. Das Basissignal bestand aus zwei aufeinanderfolgenden, identischen Pulsen mit einer Grundfrequenz von 524 Hz, einer Pulslänge von 255 ms und einem Interpulsabstand von 50 ms. Durch eine Erhöhung der Grundfrequenz beider Pulse um 25% auf 655 Hz bzw. eine Absenkung der Grundfrequenz um 25% auf 393 Hz entstanden die Variationen 1 und 2.

Die *Pulsanzahl* wurde variiert, indem das Basissignal auf insgesamt drei Pulse erweitert (Variation 3) bzw. auf einen Puls reduziert (Variation 4) wurde. Die Variation des *Interpulsabstands* erfolgte, indem der zeitliche Abstand zwischen den zwei Pulsen des Basissignals von 50 ms auf 150 ms (Variation 5) bzw. auf 300 ms (Variation 6) erhöht wurde. Um das *Frequenzverhältnis* zu variieren, wurde die Frequenz des zweiten Pulses geändert, während der erste Puls unverändert blieb. Die Frequenz des zweiten Pulses wurde um 25% gesenkt bzw. erhöht, sodass Frequenzverhältnisse von 1.33 (Variation 7; zweiter Puls tiefer als erster Puls) bzw. 0.80; (Variation 8; zweiter Puls höher als erster Puls) entstanden. Die untersuchten Signale waren zwischen 255 ms und 865 ms lang.

Versuchsaufbau

Das Experiment wurde auf einem 15“ MacBookPro 2013 mit der Software Psyscope B57 [5] durchgeführt. Die Audio-Signale wurden über einen Sennheiser HD 600 Kopfhörer dargeboten. Die Darbietungslautstärke wurde mit einem Brüel & Kjær 4153 Kunstohr und einem Brüel & Kjær 2231 Schallpegelmessgerät auf 60 dB(A) eingestellt.

Versuchsablauf

Es wurde ein vollständiger Paarvergleich durchgeführt, so dass die Teilnehmer alle möglichen Paarungen (insgesamt 36) aus den 9 Signalen bewerteten. Die zwei Signale eines Paares wurden im Abstand von 2s dargeboten. Die Instruktion für die Teilnehmer war, die beiden Signale bezüglich der folgenden Frage zu beurteilen:

„Welches Signal wirkt eher wie eine Bestätigung?“

Die Signale konnten von den Teilnehmern ein zweites Mal abgespielt werden. Per Mausklick gaben die Teilnehmer ihr Urteil ab, anschließend wurde das nächste Signalpaar dargeboten. Es wurden fünf Übungstrials durchgeführt.

Ergebnisse

Um zu prüfen, wie sich die vier Parameter Grundfrequenz, Pulsanzahl, Interpulsabstand und Frequenzverhältnis auf das wahrgenommene Bestätigungsausmaß eines akustischen Informationssignals auswirken, wurde ein vollständiger Paarvergleich mit 9 Stimuli und $N = 31$ Teilnehmern durchgeführt.

Die Konsistenz der Teilnehmerurteile wurde geprüft [6], indem analysiert wurde, ob die Teilnehmer zu viele widersprüchliche Urteile abgaben. Vier Teilnehmer urteilten zu inkonsistent (i.e nicht signifikante Konsistenzkoeffizienten $K_s < 0.47$; $\chi^2_s(20, N = 9) < 29.96$, n.s.) und wurden aus der weiteren Datenanalyse ausgeschlossen.

Die Übereinstimmung zwischen den Signal-Beurteilungen der 27 konsistent urteilenden Teilnehmern wurde geprüft [6]. Das signifikante Konkordanzmaß $A = .16$, $\chi^2(40, N = 27) = 199.16$, $p < .01$ zeigt, dass sich diese 27 Teilnehmer hinsichtlich der Signalbeurteilung hinreichend einig waren.

Anschließend wurden die Auswahlhäufigkeiten der Stimuli aller Teilnehmer summiert. Die Summe der Auswahlhäufigkeiten dient als Indikator für das Bestätigungsausmaß eines Signals. Abbildung 1 zeigt die summierten Auswahlhäufigkeiten der untersuchten Signale.

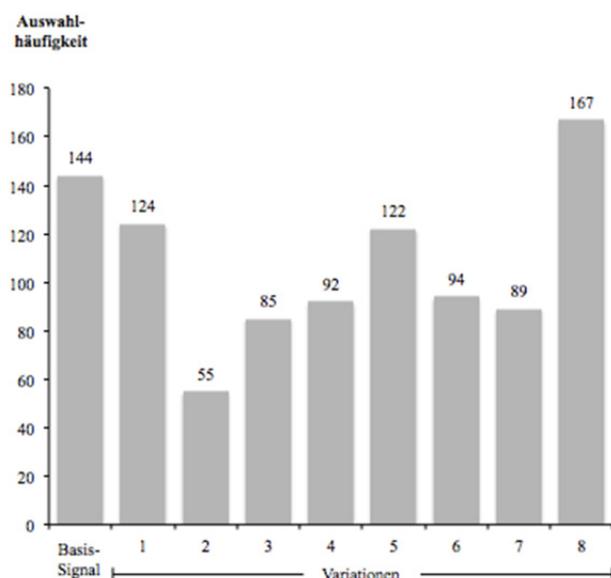


Abbildung 1: Summierte Auswahlhäufigkeiten der neun untersuchten Signale (Basissignal und 8 Variationen desselben) der $N = 27$ konsistent urteilenden Teilnehmer des vollständigen Paarvergleichs mit insgesamt 36 dargebotenen Signal-Paaren.

Um zu prüfen, ob sich die Signale hinsichtlich ihrer Auswahlhäufigkeit, bzw. ihrem Bestätigungsausmaß signifikant unterscheiden, wird ein kritischer Wert m berechnet [7]. Ist der Differenzbetrag der Auswahlhäufigkeiten zweier Signale größer als m , unterscheiden sich die Signale signifikant in dem wahrgenommenen Bestätigungsausmaß. Für das gewählte alpha-Fehler Niveau von 5% ergibt sich der kritische Wert $m = 18.58$.

Zur Analyse der Effekte der einzelnen psychoakustischen Signalparameter wurden die jeweils drei auf einem Parameter variierenden Signale betrachtet, also das Basissignal und die beiden zugehörigen Variationen. Die Ergebnisse werden für jeden untersuchten Parameter separat dargestellt.

Frequenz: Die drei relevanten Signale unterschieden sich signifikant im wahrgenommenen Bestätigungsausmaß. Den höchsten Wert erreichte das Basissignal, d.h. sowohl eine Erhöhung (Variation 1) als auch eine Senkung (Variation 2) der Frequenz um 25% vermindern das wahrgenommene Bestätigungsausmaß, wobei die Frequenzsenkung (Variation 2) das geringste Bestätigungsausmaß erreichte.

Pulsanzahl: Den höchsten Wert erreichte das Basissignal mit zwei Pulsen, die Signale mit drei Pulsen (Variation 3) bzw. einem Puls (Variation 4) wurden als signifikant weniger bestätigend beurteilt.

Interpulsabstand: Alle Interpulsabstand-variierten Signale unterscheiden sich signifikant im subjektiv wahrgenommenen Bestätigungsausmaß. Die Steigerung des Interpulsabstandes führte zu einer Reduzierung des Bestätigungsausmaßes. Das Basissignal mit 50 ms Interpulsabstand erreichte den höchsten Wert. Das Signal mit einem Interpulsabstand von 150 ms (Variation 5) wurde als weniger bestätigend skaliert als das Basissignal und das Signal mit 300 ms Interpulsabstand (Variation 6) wiederum nochmals als weniger bestätigend.

Frequenzverhältnis: Eine Senkung des Frequenzverhältnisses zwischen dem ersten und zweiten Puls eines Signals führte zu einer Steigerung der wahrgenommenen Bestätigung. Das Signal, bei dem der zweite Puls höher als der Erste war (Variation 8), erreichte das höchste wahrgenommene Bestätigungsausmaß. Das Basissignal mit zwei identischen Pulsen wurde als weniger bestätigend beurteilt. Das Signal, bei dem der zweite Puls tiefer als der Erste war (Variation 7), erreichte das geringste Bestätigungsausmaß.

Insgesamt betrachtet erreichte das Signal mit einem Frequenzverhältnis von 0.80 (Variation 8; zweiter Puls höher als erster Puls) das höchste subjektiv wahrgenommene Bestätigungsausmaß aller 9 untersuchten Signale (sh. Abbildung 1).

Diskussion

Bis heute liegen uns kaum experimentell fundierte Empfehlungen über die psychoakustische Gestaltung von nicht-sprachlichen, intuitiv verständlichen Bestätigungssignalen vor. Die berichtete Studie untersuchte den Einfluss von vier temporal-spektralen Parametern (Frequenz, Pulsanzahl, Interpulsabstand und Frequenzverhältnis) auf das Ausmaß an wahrgenommener Bestätigung eines akustischen Informationssignals. Dazu wurde ein Basissignal auf jedem der vier Signalparameter zweifach variiert. Diese acht Variationen sowie das Basissignal wurden in einem vollständigen Paarvergleich bezüglich des subjektiv wahrgenommenen Bestätigungsausmaßes evaluiert.

Ein intuitiv verständliches Bestätigungssignal weist ein möglichst hohes subjektiv wahrgenommenes Bestätigungsausmaß auf. In diesem Experiment wies das höchste subjektive Bestätigungsausmaß das Signal auf, das aus zwei aufeinanderfolgenden Pulsen mit einem Abstand von 50 ms bestand, wobei die Frequenz des zweiten Pulses um 25% höher ist als die des Ersten (Variation 8). Insgesamt legen die empirischen Befunde zu den in diesem Experiment geprüften Signalen folgende Parameterausprägungen für ein akustisches Bestätigungssignal nahe: mittlere Höhe der Grundfrequenz (524 Hz) und der Pulsanzahl (2); kurzer Interpulsabstand (50 ms) und niedriges Frequenzverhältnis (0.80).

Hervorzuheben ist, dass sich die Anwendung der Paarvergleichsmethode in der vorliegenden Studie als sehr gut geeignet erwies, um den Einfluss der spektral-temporalen Parameter auf das subjektiv wahrgenommene Bestätigungsausmaß aufzudecken. Die signifikanten Konsistenz- und Konkordanzmaße zeigen, dass die Teilnehmer eindeutig und zuverlässig beurteilen konnten, welches Signal für sie subjektiv bestätigend wirkt, und sich diese Urteile nicht maßgeblich zwischen den Teilnehmern unterschieden. So konnte in der vorliegenden Untersuchung gezeigt werden, dass jeder der vier untersuchten temporal-spektralen Signalparameter signifikanten Einfluss auf das wahrgenommene Bestätigungsausmaß eines nicht-sprachlichen, akustischen Informationssignals hat.

Der angenommene inverse Zusammenhang zwischen wahrgenommener Bestätigung (im vorliegenden Hörversuch geprüft) und wahrgenommener Dringlichkeit (Befunde aus Literatur, vgl. [1][2][3][4]) konnte nur für den Parameter *Frequenzverhältnis* bestätigt werden. So ging ein geringeres Frequenzverhältnis, also die Erhöhung der Frequenz des zweiten Pulses, mit einem höheren Bestätigungsausmaß einher. Die Effekte der Parameter *Frequenz* und *Pulsanzahl* zeigten sich als nicht eindeutig. Hier wurden im vorliegenden Hörversuch Signale, die nach empirischen Befunden anderer Autoren wenig dringlich wahrgenommen werden (Variation 2: Frequenz -25% und Variation 3: Pulsanzahl = 1) – entgegen unserer Annahme – als wenig bestätigend beurteilt. Ferner zeigte sich der Effekt des Parameters Interpulsabstand auf das Bestätigungsausmaß entgegen der erwarteten Richtung: Je kürzer der Interpulsabstand eines Signals, desto bestätigender wurde es wahrgenommen. Dieser Zusammenhang lässt sich möglicherweise durch den Parameter Signaldauer erklären. In der vorliegenden Untersuchung führte eine Reduzierung des Interpulsabstandes eines Signals zu einer kürzeren Dauer des Signals, und bisherige Forschung zeigt [8], dass kürzere Signale weniger dringlich wirken als längere.

Künftige Forschungsarbeiten könnten zusätzlich Daten über die wahrgenommene Dringlichkeit der verwendeten Signale erheben. Dadurch kann geprüft werden, ob sich die Signale auch tatsächlich in der angenehmen Weise in ihrer Dringlichkeit unterscheiden. Um weitere Erkenntnisse über den bisher nicht eindeutigen Effekt von Frequenz und Pulsanzahl zu erhalten bietet es sich an, in Nachfolgeexperimenten eine größere Bandbreite an Signalen zu untersuchen, beispielsweise 5 Frequenz-Variationen: -50%; -25%; +0%; +25%; +50%.

Zusammenfassend liefert die vorliegende Untersuchung empirisch fundierte Hinweise zur systematischen Gestaltung bzw. Optimierung nicht-sprachlicher Bestätigungssignale in Mensch-Maschine-Interaktionen. Audio-Signale können durch die zielgerichtete Variation ihrer temporal-spektralen Charakteristika als effektive, intuitiv verständliche Bestätigungssignale gestaltet werden und gewährleisten dann beispielsweise bei mehrschrittigen Prozeduren mit technischen Systemen eine hohe Gebrauchstauglichkeit, flüssige Arbeitsabläufe und schließlich positive Nutzererfahrungen.

Literatur

- [1] Edworthy, J., Loxley, S. und Dennis, I.: Improving auditory warning design: Relationship between warning sound parameters and perceived urgency. *Human Factors* 33 (1991), 205-231
- [2] Guillaume, A., Pellieux, L., Chastres, V. und Drake C.: Judging the Urgency of Nonvocal Auditory Warning Signals: Perceptual and Cognitive Processes. *Journal of Experimental Psychology: Applied* 9 (2003), 196-212

- [3] Hellier, E., Edworthy, J. und & Dennis, I.: Improving auditory warning design: Quantifying und Predicting the Effects of Different Warning Parameters on Perceived Urgency. *Human Factors* 35 (1993), 693-703
- [4] Haas, L. C. und Casali, J. G.: Perceived urgency of and response time to multi-tone and frequency-modulated warning signals in broadband noise. *Ergonomics* 38 (1995), 2313-2326
- [5] Cohen, J. D., MacWhinney, B., Flatt, M. und Provost, J.: PsyScope: A new graphic interactive environment for designing psychology experiments. *Behavioral Research Methods, Instruments, and Computers* 25 (1993), 257-271
- [6] Kendall, M. G. Rank correlation methods. Griffin, London, 1962
- [7] David, H. A. The method of paired comparisons. Griffin, London, 1969
- [8] Hellier, E. und Edworthy, J.: On using psychophysical techniques to achieve urgency mapping in auditory warnings. *Applied Ergonomics* 30 (1999), 167-171