

Kann die Angenehmheit kombinierter Schallereignisse auf Basis von Einzelgeräuschbewertungen erklärt werden?

Sabrina Skoda¹, Jörg Becker-Schweitzer¹

¹ Institute of Sound and Vibration Engineering, Hochschule Düsseldorf, E-Mail: sabrina.skoda@hs-duesseldorf.de

Einleitung

Nach einer Studie des Umweltbundesamtes fühlen sich 44% der Befragten in ihrem Wohnumfeld durch mehr als eine Geräuschquelle belastigt [1]. Auch außerhalb des eigenen Wohnumfelds ist der Mensch in der Regel von komplexen Geräuschszenarien umgeben, in denen sich mehrere unterschiedliche Schallquellen überlagern. Die kombinierte Wirkung von Geräuschen vorherzusagen, stellt jedoch aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren eine besondere Herausforderung in der Lärmforschung dar.

Um die Lästigkeitswirkung kombinierter Verkehrsgeräusche (Straßen-, Schienen, Fluglärm) zu beschreiben, existieren verschiedene Berechnungsmodelle, die vorwiegend auf Basis von Schalldruckpegeln der Einzelgeräusche oder daraus abgeleiteten Referenzgeräuschen eine Gesamtlästigkeit prognostizieren [2, 3]. Zur Beschreibung der akustischen Qualität einer Geräuschumgebung, die verschiedenartige Umweltgeräusche beinhaltet, sind diese Modelle jedoch nur begrenzt geeignet. Zum einen bildet der Faktor Lästigkeit nur eine Dimension von Geräuschqualität ab, da ein nicht lästiges Geräusch nicht zwangsläufig als positiv wahrgenommen wird. Zum anderen können beispielsweise Naturgeräusche wie Wasserplätschern oder Vogelzwitschern auch zu einer Verbesserung der empfundenen Geräuschqualität beitragen, obwohl sie zusätzliche Schallereignisse darstellen, die den Gesamtpegel erhöhen [4]. Dieses Aufwertungspotential wird durch die oben genannten Annoyancemodelle bisher nicht hinreichend genau abgebildet.

Mit dem Ziel menschliche Bewertungsstrategien in komplexen Geräuschszenarien empirisch fundiert zu beschreiben, wurde im Rahmen eines BMBF-Forschungsprojekts an der Hochschule Düsseldorf der Zusammenhang zwischen Angenehmheitsbewertungen einzelner und miteinander kombinierter Umweltgeräusche untersucht. Basierend auf den Ergebnissen eines Hörversuchs liegt ein Regressionsmodell vor, das die Gesamtbewertung der *Angenehmheit* zweier kombinierter stationärer Geräusche als gewichtete Summe der Einzelbewertungen und deren Interaktion erklärt [5]. Das Modell gewichtet unangenehme Geräusche im Vergleich zu angenehmen stärker, was mutmaßlich auf partielle Verdeckungseffekte zwischen den Geräuschen zurückzuführen ist, sowie die Eigenschaft des Menschen, negative Erinnerungen leichter im Gedächtnis abrufen zu können als positive Ereignisse (negativity bias) [6]. Zur Validierung dieses Angenehmheitsmodells wurde ein zweiter Hörversuch mit gleichem Testdesign, jedoch mit jeweils drei kombinierten Geräuschen, an der Hochschule Düsseldorf durchgeführt.

Hörversuch

Um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, wurden die gleichen 8 Einzelgeräusche wie im ersten Hörversuch verwendet, die aus einer Geräuschdatenbank der Hochschule Düsseldorf stammten. Dabei handelte es sich um Stereo-Aufnahmen von Umweltgeräuschen unterschiedlicher *Angenehmheit*, die üblicherweise in Wohngebieten auftreten (Rasenmäher, Kreissäge, Klimaanlage, spielende Kinder, Straßenverkehr, Windspiel, Wasserplätschern, Vogelzwitschern). Jeweils drei dieser Geräusche wurden in verschiedenen Varianten miteinander kombiniert. Dabei wurde die Lautstärke der einzelnen Geräusche nicht verändert und es wurde auch keine Verteilung der Einzelgeräusche im Stereopanorama vorgenommen. Gleichmaßen war jedoch sichergestellt, dass jedes Einzelgeräusch in den 3er-Kombinationen hörbar war.

Versuchsablauf

Der Hörversuch fand im Hörstudio der Hochschule Düsseldorf statt. Nach einer kurzen Einweisung durch den Versuchsleiter führten die Teilnehmer den Versuch selbständig über eine computerbasierte Hörversuchsplattform durch. Es waren insgesamt 28 Geräuschbeispiele mit einer Länge von jeweils 15s zu bewerten (8 Einzelgeräusche und 20 3er-Kombinationen daraus), die den Probanden jeweils einmalig in randomisierter Reihenfolge über elektrostatische Kopfhörer (STAX SR-303) dargeboten wurden. Als repräsentativer Bewertungskontext wurde eine Freizeitsituation im eigenen Garten vorgegeben. Vor diesem Hintergrund sollten die Versuchsteilnehmer die *Angenehmheit* der wahrgenommenen Geräuschumgebung bewerten. Die Bewertung erfolgte mittels Schieberegler auf einer stufenlosen, bipolaren Skala mit dem Gegensatzpaar *unangenehm - angenehm*. Der Versuch dauerte pro Teilnehmer ca. 15 Minuten. Die 33 Teilnehmer (24 männlich und 9 weiblich) im Alter von 23-58 Jahren (M : 35,9 Jahre, SD : 10,9 Jahre) waren Angestellte und Studierende der Hochschule Düsseldorf sowie externe Personen.

Ergebnisse

Abb. 1 zeigt anhand von drei Beispielen die mittleren Bewertungen der *Angenehmheit* für jeweils drei Einzelgeräusche und die entsprechende 3er-Kombination daraus (unangenehm = 0, angenehm = 100). Jedes der drei Beispiele zeigt ein unangenehmes Geräusch (2x Rasenmäher, 1x Kreissäge) und zwei Geräusche hoher bis mittlerer *Angenehmheit*. Im ersten Beispiel sind dies die Geräusche „Wasser“ und „Vogel“, im zweiten Beispiel das Windspiel und der Vogel und im dritten Beispiel die Klimaanlage und die spielenden Kinder

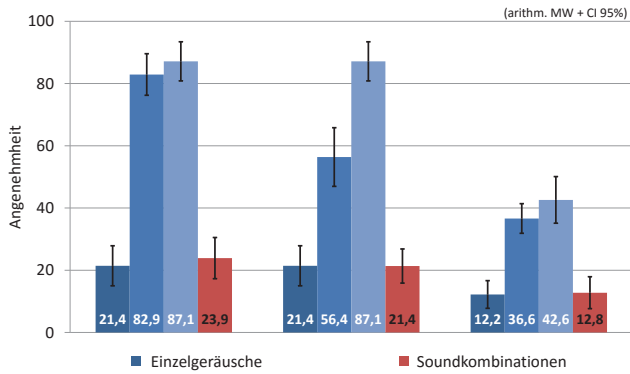


Abbildung 1: Bewertung der Angenehmheit von Einzelgeräuschen (blau) und deren Kombination (rot).

Die Bewertung der jeweiligen Geräuschkombination entspricht in allen drei Fällen der niedrigsten Einzelbewertung. Hier dominiert jeweils das unangenehme Geräusch klar die Gesamtbewertung, unabhängig von der Angenehmheit der anderen beiden Einzelgeräusche.

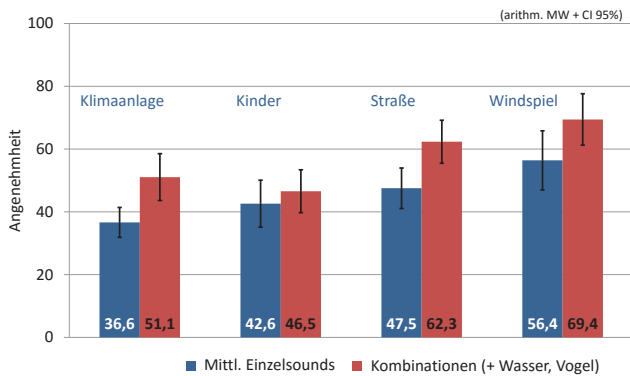


Abbildung 2: Bewertung der Angenehmheit von Einzelgeräuschen (blau) und Geräuschkombinationen (rot).

Die Kombination eines Geräusches mittlerer Angenehmheit mit zwei angenehmen Geräuschen (Wasser, Vogel) resultiert hingegen in einer Gesamtbewertung, die höher ist als das jeweilige Einzelurteil (Abb. 2). Das Geräusch der Klimaanlage wird in Kombination mit den Geräuschen Wasser und Vogel beispielsweise um 14,5 Skalenpunkte aufgewertet. Im zweiten Beispiel (spielende Kinder) zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen Einzel- und Gesamtbewertung. Im Fall des Straßenverkehrs tragen die Geräusche Wasser und Vogel wiederum zu einer signifikanten Aufwertung um fast 15 Skalenpunkte bei.

Regressionsanalyse

Die Bewertungsergebnisse wurden einer multiplen linearen Regressionsanalyse unterzogen, die das folgende Angenehmheitsmodell (1) liefert:

$$G = \beta_1 E_1 + \beta_2 E_2 + \beta_3 E_3 + \beta_4 I + K \quad (1)$$

Die Gesamtbewertung der Angenehmheit G wird als gewichtete Summe der drei Einzelurteile E und der Interaktionsvariablen I dargestellt. Zur Berechnung der Interaktionsvariablen I, die dem Produkt der drei Einzelbewertungen entspricht, wurde eine

Mittelwertnormalisierung der Einzelurteile (0 = neutrale Angenehmheit) durchgeführt. Die Einzelurteile aus dem Hörversuch wurden den Prädiktoren E₁-E₃ zufällig zugewiesen. Wie in Tabelle 1 zu sehen ist, liefert die Regressionsanalyse fünf statistisch signifikante Prädiktoren. Die unterschiedlichen β-Gewichte der Prädiktoren E₁-E₃ sind mutmaßlich auf die begrenzte Geräuschauswahl im Hörversuch zurückzuführen, da üblicherweise eine gleichmäßige Gewichtung der Einzelurteile zu erwarten ist.

Tabelle 1: Angenehmheitsmodell Prädiktoren

Modell (rückwärts)	unstd. B	SE	std. β	T	p
Konstante K	-14.700	1.826		-8.051	.000
Einzelurteil E1	.482	.081	.550	5.943	.000
Einzelurteil E2	.587	.066	.789	8.892	.000
Einzelurteil E3	.254	.058	.381	4.362	.001
Interaktion (E1xE2xE3)	.001	.000	.349	3.895	.002

Mit einem Bestimmtheitsmaß R² = 0,904 (p < 0,01, α = 0,05) weist das Angenehmheitsmodell eine sehr hohe Anpassungsgüte auf.

Modellvergleich

Im nächsten Schritt wurden die Hörversuchsergebnisse mit Berechnungen der Gesamtlästigkeit aus fünf verschiedenen Annoyancemodellen verglichen, die von Taylor [7] bzw. Morel et al. [3] näher beschrieben werden. Da in diesem Hörversuch der Faktor Lästigkeit nicht abgefragt wurde, wurde für die Modellberechnungen die Bewertungsskala invertiert, so dass ein niedriger Angenehmheitswert als hoher Lästigkeitswert betrachtet wurde. Diese vereinfachende Annahme diente der Vergleichbarkeit mit dem oben dargestellten Angenehmheitsmodell. In Tabelle 2 ist die Anpassungsgüte der fünf Modelle aufgeführt.

Tabelle 2: Modellvorhersage der Hörversuchsergebnisse

Modell	R ²	Berechnungsformel
Energy summation	0,667	$A_T = aL_T + b$
Independent effects	0,719	$A_T = a_1L_1 + a_2L_2 + \dots + a_nL_n + b$
Linear mixed*	0,724	$A_T = aL_1 + bL_2 + cL_3 + d L_{\max} - L_{\min} + e$
Energy difference*	0,747	$A_T = aL_T + b L_{\max} - L_{\min} + c$
Strongest component	0,902	$A_T = \max(A_N)$

*angepasst für 3 kombinierte Geräusche

Während eine energetische Summation der einzelnen Schalldruckpegel die geringste Varianzaufklärung liefert (R² = 0,667), erzielt auch die Kombination aus gewichteten Einzelpegeln und größter Pegeldifferenz im linear mixed model ein vergleichsweise niedriges Bestimmtheitsmaß von R² = 0,724. Das strongest component model, das die Gesamtlästigkeit A_T auf Basis der lästigsten Einzelquelle erklärt, erreicht mit einem Bestimmtheitsmaß von R² = 0,902

eine vergleichbare Anpassungsgüte wie das Angenehmheitsmodell mit $R^2 = 0,904$.

Diskussion und Fazit

Die Ergebnisse des Hörversuchs bestätigen die hohe Aussagekraft des Angenehmheitsmodells für einfache Kombinationen stationärer Geräusche unter Laborbedingungen. Das Modell, das die Gesamtbewertung von kombinierten Schallereignissen auf Basis der gewichteten Einzelurteile und einer Interaktionsvariablen beschreibt, liefert auch in der Erweiterung für drei kombinierte Umweltgeräusche eine sehr genaue Vorhersage, wie der Vergleich mit ausgewählten Annoyancemodellen zeigt. Im Gegensatz zu physikalischen Parametern, wie dem Schalldruckpegel, stellt die Bewertung von *Angenehmheit* bereits das Ergebnis einer kognitiven Verarbeitung der wahrgenommenen Umgebung dar und erscheint gut geeignet, die Wirkung kombinierter Geräusche im vorliegenden experimentellen Kontext zu beschreiben. Die Interaktionsvariable als Produkt der Einzelurteile zeigt, dass der Beitrag eines Geräusches zur Gesamtbewertung von der *Angenehmheit* der anderen Einzelgeräusche abhängig ist. Werden Geräusche mittlerer *Angenehmheit* kombiniert, ist der Interaktionseffekt gering und die Gesamtbewertung wird vorrangig durch die Einzelurteile bestimmt. Je unangenehmer ein Einzelgeräusch ist, desto stärker ist sein Einfluss auf die Gesamtbewertung, wie am resultierenden hohen negativen Interaktionswert zu erkennen ist, der das Gesamturteil für die *Angenehmheit* im Modell nach unten korrigiert. Der in diesem Hörversuch beobachtete dominante Einfluss der unangenehmen Geräusche lässt sich zum einen vermutlich auf Lautstärkeunterschiede und damit verbundene partielle Maskierungseffekte zurückführen. Diese Annahme wird durch eine hohe Korrelation der Bewertungsergebnisse mit der psychoakustischen Lautheit nach Zwicker gestützt. Zum anderen spielen auch die Identifikation der Geräuschquelle und der damit verbundene Informationsgehalt eine Rolle. So lässt sich das in einer Freizeitsituation potentiell negativ behaftete Image einer Kreissäge kaum durch angenehme Geräusche kompensieren. Die Versuchsergebnisse zeigen jedoch auch, im Einklang mit früheren Studien, dass ein Geräusch mittlerer *Angenehmheit* in Kombination mit positiv konnotierten Geräuschen wie Wasserplätschern oder Vogelzwitschern angenehmer bewertet wird. Hier wird durch die Geräusche natürlichen Ursprungs und damit verbundene positive Assoziationen mutmaßlich ein akustischer Mehrwert kreiert, der in einer höheren Gesamtbewertung resultiert und durch das Angenehmheitsmodell ebenfalls korrekt abgebildet wird.

Ausblick

Das Modell ermöglicht theoretisch auch einen „positivity bias“, also eine Gesamtbewertung, die höher ist, als jede der Einzelbewertungen. Dies wurde allerdings im Rahmen des Hörversuchs nicht beobachtet, was mutmaßlich auf das Laborsetting zurückzuführen ist. Es stellt sich demnach die Frage, ob es möglich ist, diesen Effekt in einem ökologisch valideren Versuchsssetup zu generieren. In diesem Zusammenhang ist ebenfalls zu untersuchen, inwiefern das

Angenehmheitsmodell weiterhin gültig bleibt oder zu erweitern ist, wenn auch nicht-akustische Einflussfaktoren, wie z.B. visuelle Stimuli, hinzukommen. Darüber hinaus gilt es, die Modellannahme für komplexere Geräuschszenarien, die auch bewegte Quellen oder zeitlich instationäre Geräusche enthalten, weiter zu untersuchen.

Literatur

- [1] Studie des Umweltbundesamts zur Lärmbelästigung, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkung/laermbelaestigung>
- [2] Miedema, H. et al.: Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance, *J. Acoust. Soc. Am.* 116 (2004), 949–957.
- [3] Morel, J. et al.: A Laboratory Study on Total Noise Annoyance Due To Combined Industrial Noises, *Acta Acustica* 98 (2012), 286-300.
- [4] De Coensel, B. et al.: Effects of natural sounds on the perception of road traffic noise, *J. Acoust. Soc. Am.* 129(4) (2011), Express Letters, 148-153.
- [5] Skoda, S. et al.: Contribution of single sounds to sound quality assessments of multi-source environments, *Proceed. Internoise* (2014), Melbourne.
- [6] .Rozin, P. et al.: Negativity Bias, Negativity Dominance, and Contagion”, *Personality and Social Psychology Review* 5(4) (2001), 296-320.
- [7] Taylor, S.: A comparison of models to predict annoyance reactions to noise from mixed sources, *Journal of Sound and Vibration* 81 (1982), 123-138.