

„Product Sound Design“ als eine kommunikationsakustische Aufgabe

M. Ercan Altinsoy, Lehrstuhl für Kommunikationsakustik, Technische Universität Dresden

Sound Design gewinnt in der Produktentwicklung zunehmend an Bedeutung. Schallwellen sind Träger von Information. Entsprechend hoch ist die Bedeutung von Geräuschen für die Menschen. Auf faszinierende Weise schlägt die Akustik eine Brücke zwischen Physik und Wahrnehmung. Schall wird von Schwingungen erzeugt. Schall- und Schwingungsereignisse sind also physikalisch verkoppelt. Daher beginnt die gezielte Gestaltung eines Geräusches zunächst auch mit der physikalischen Beschreibung der verursachenden Schwingungen. In diesem Beitrag wird das Product Sound Design als eine kommunikationsakustische Aufgabe betrachtet und verschiedene Aspekte mit praktischen Beispielen diskutiert. In einer Untersuchung wurde gezeigt, dass ein leiseres Fahrzeuggeräusch auch sportlich klingen kann, wenn es mit einer geeigneten Sitzschwingung kombiniert wird.

Product Sound Design as a Communication Acoustical Task

Sound design becomes more and more important for the product development. Sound waves are the information carrier. The meaning of the sounds for the people is accordingly high. In a fascinating way, the acoustics builds a bridge between physics and perception. Sounds are generated mostly by vibrations. Sound and vibration events are physically coupled. Therefore the targeted design of the sounds starts with the physical description and design of vibrations. In this contribution, the product sound design is considered as communication acoustics task and various aspects are discussed using practical examples. In an investigation, it was shown that a quieter vehicle sound can also sound very sporty, if it is combined with a suitable seat vibration.

1. Einleitung

Wir erleben einen Paradigmenwechsel in der Vorgehensweise beim Product Sound Design. Neben der Aktivitäten wie Schalldämmen und Schalldämpfen, gewinnt die gezielte Informationsgestaltung immer mehr an Bedeutung. Schall ist ein Informationsträger genauso wie optische Signale [1]. Wir können im Alltag verschiedene Informationen (z.B. Objektmaterial, Objektgröße, Geschwindigkeit, Interaktionskontext usw.) durch die Schallsignale erfahren. Wenn die übertragenen Informationen für uns nicht relevant sind, uns bei den anderen Aktivitäten stören, oder sich dauerhaft wiederholen, nehmen wir solche Schallsignale als Lärm wahr und sie sind für uns lästig. Solche unerwünschte Schallsignale sollen vermindert werden um unsere Lebensqualität zu verbessern. Die Entwicklungs- und Forschungsabteilungen verschiedener Industriezweige verwenden daher unterschiedliche Maßnahmen wie Dämmung, Dämpfung, aktive Minderung, usw. um solche Signale leise zu machen. Zum Beispiel müssen wir nicht dauerhaft das Geräusch eines Kühlschranks hören, um zu wissen ob er funktioniert oder nicht [2]. Wenn der Kühlschrank nicht funktioniert, dann soll er uns mit einem „Warnton“ informieren. Ähnliche Beispiele existieren bei verschiedenen Produktgruppen. Verminderung der unerwünschten Schallwellen oder Troubleshooting werden auch in der Zukunft ein wichtiger Teil des Sound Designs. Allerdings bieten Schallwellen für den Produktdesigner exzellente Möglichkeiten. Mensch-Produkt Interaktion bzw. Kommunikation basiert auf dem Informationsaustausch zwischen Nutzer und Produkt. Wenn erforderliche Informationen in richtiger Zeit geliefert werden, wird die gesamte Interaktion unterstützt und die Zufriedenheit des Nutzers und entsprechend die wahrgenommene Produktqualität erhöht. Die Information kann durch Schall, Vibration, optisches oder chemisches Signal übertragen werden. Die Auswahl der geeignetsten

Modalität oder Modalitäten für die Informationsübertragung ist eine der wichtigsten Aufgaben des Produktdesigners. Außerdem ist die Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der Kommunikationstheorie notwendig für die Strukturierung der Sound-Design-Lehre. In den folgenden Abschnitten werden diese Themen diskutiert.

2. Welche Modalität oder Modalitäten sind die geeignetsten?

Aus der Perspektive des Produkt Designs ist es nicht sinnvoll immer den Sound als Informationsträger zu nutzen. In einigen Fällen können visuelle, taktile oder olfaktorische Modalitäten dafür besser geeignet sein. Wenn man die Informationsaufnahme-Rate des Menschen durch verschiedene Sinnesorgane betrachtet (in der Tabelle 1), merkt man sehr schnell, dass die Augen vergleichsweise zu anderen Sinnesorgane eine immense Menge Informationen pro Sekunde aufnehmen. Deswegen war die visuelle Modalität beim Produktdesign im letzten Jahrhundert die dominierende Modalität. Allerdings hat das Gehirn sehr eingeschränkte Verarbeitungskapazitäten und es kann nur eine sehr geringe Menge an Informationen, nur ca. 10-100 bit/s von den gesamtgelieferten Informationen, weiterarbeiten. Aber das Gehirn hat eine hervorragende Funktion: „Aufmerksamkeitssteuerung / Informationsselektion“. Die auditive oder taktile Modalitäten gewinnen immer mehr an Bedeutung, weil sie in unterschiedlichen Kontexten (z.B. Fahrassistenzsysteme) besser und schneller Aufmerksamkeit erwecken können. Besonders ist die zeitliche Präzision des auditiven Systems mit 2 ms vergleichsweise zu anderen Modalitäten sehr hoch (Tabelle 2). Daher können wir die Qualität eines Antriebsstrangs auditiv sehr schnell in ein paar Sekunden beurteilen. Eine visuelle Beurteilung ist sehr schwer und fast nicht möglich. Die auditive Modalität bietet ein großes Potenzial für zeitlich kritische Aufgaben und Informationen, die feine Zeitstrukturen besitzen. Ein entscheidender Faktor für das Eignungspotenzial einzelner Sinneskanäle, ist der Kontext. In verschiedenen Kontexten kann eine oder andere Sinnesmodalität mit anderen Aufgaben stark belastet sein. In dem Fall sind die weiteren Sinnesmodalitäten für die Informationslieferung besser geeignet. In verschiedenen Situationen können auditive Informationen nicht nur von Produktnutzern sondern auch von Personen, die sich in der Umgebung befinden, hörbar sein (z.B. Tastengeräusche von mobilen Geräten) und Lästigkeit verursachen. In solchen Fällen kann die haptische Modalität interessanter werden, weil das haptische Feedback oft ein persönliches Feedback ist.

Tabelle 1: Datenraten für Informationsaufnahme und -weiterleitung der menschlichen Sinnesorgane [3]

Sinnesorgane	Datenraten für Informationsaufnahme und -weiterleitung
Auge	$10^6 - 10^9$ bit/s
Ohr	10^4 bit/s
Finger	10^2 bit/s

Tabelle 2: Zeitliche Präzision der menschlichen Sinnesorgane

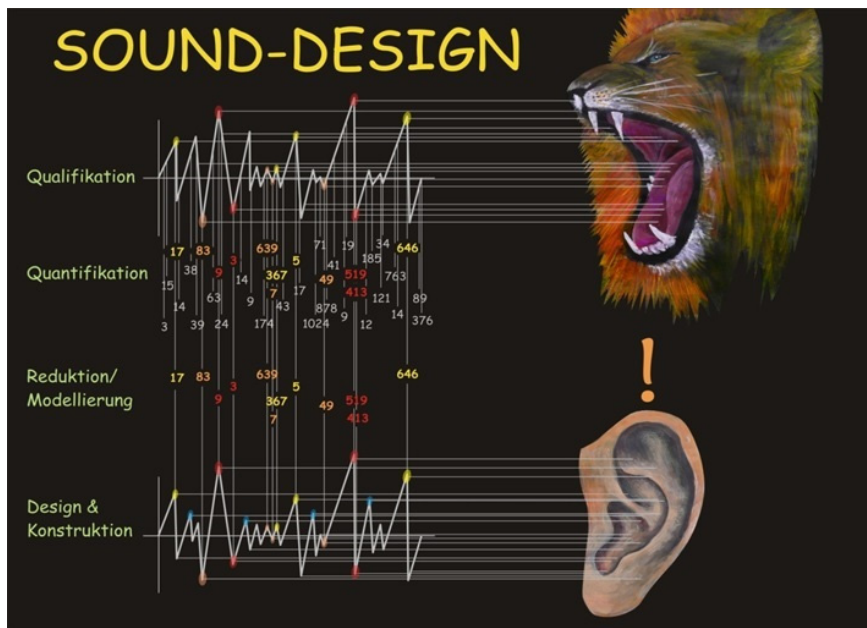
Sinnesorgane	Zeitliche Präzision
Auge	25 ms
Ohr	2 ms
Finger	5 ms

Eine wichtige Design-Frage ist, ob die gleiche Information über verschiedene Sinneskanäle geliefert werden soll. In einigen Fällen ist es tatsächlich sinnvoll die gleiche Information über verschiedene Kanäle zu liefern [4]. Nutzerinteressen werden zufrieden gestellt, wenn das entworfene Produkt als

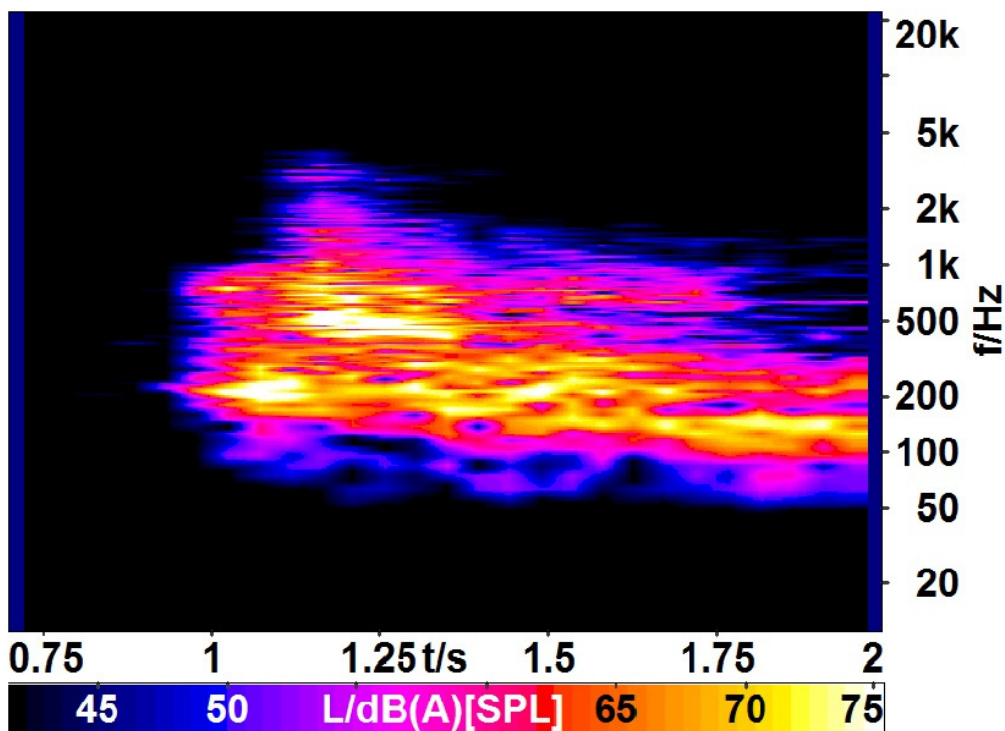
eine harmonische Identität wahrgenommen wird. Dies ist der Fall, wenn die wahrgenommene Form des Produkts und die Produktfunktionen kohärent sind. Außer der Form-Funktion-Beziehung basiert diese Kohärenz auch auf verschiedene Sinneskanäle. Deswegen beginnt das Design öfter zuerst unimodal, es soll aber schon in einer früheren Phase multimodal betrachtet werden. Werden dem menschlichen Gehirn multisensorische Ereignistypen angeboten, die von einer Ereignisquelle stammen, dann findet ein vereinigter Wahrnehmungsvorgang statt, in dessen Verlauf Verarbeitungsvorgänge ablaufen. Dabei kann der multisensorische Wahrnehmungsgegenstand immer auch als eine „Konstruktion“ des Gehirns verstanden werden, die keineswegs willkürlich ist, sondern auf einer gewichteten Kombination von multisensorischen Signalen beruht. Während des Verlaufs der multimodalen Bildung von Wahrgenommenem findet stets eine Interaktion zwischen auditiv, visuell und taktil motivierten Ereignissen statt. So kann z. B. die Kombination dreier oder zweier Modalitäten in einem multimodalen Wahrnehmungsgegenstand resultieren, der entweder ein schwaches, ein starkes oder ein gänzlich qualitativ neues Perzept hervorruft.

3. Kommunikation, Design und Sprache von Geräuschen

Wenn ein Nutzer ein Produkt nutzt, herrscht zwischen beiden eine Interaktion bzw. Kommunikation. Zum Beispiel beim Fahren in einem Auto, wenn der Fahrer auf das Gaspedal drückt, beschleunigt das Auto und bekommt der Fahrer auditives, taktiles (Ganz-Körper-Schwingungen) und visuelles Feedback. Damit kann sie/er die Geschwindigkeitsänderung und bzw. Reaktion des Autos schätzen. Wenn man das Sound Design als kommunikationsakustische Aufgabe betrachtet, soll man schon eine Vorstellung über den Zeichenvorrat (Bedeutungsvorrat) des Nutzers haben. Weil nur so, kann ein erfolgreicher Informationsaustausch stattfinden. Man kann theoretisch Nutzer-Produkt-Kommunikation mit dem Sender-Empfänger-Modell beschreiben. Der Designer nutzt ein oder mehrere Sinneskanäle um eine Nachricht zu übermitteln. Diese Nachricht wird mit Hilfe eines Codes (z.B. Sprache von Geräuschen) verschlüsselt. Die Erfolgsaussichten eines Designers hängen davon ab, ob er die Kodierungsregeln beherrscht oder nicht. Diese Kodierungsregeln können auf die Evolution oder die Erfahrung basieren. Zum Beispiel rufen das Löwengebrüll oder das Knurren eines Leoparden/Jaguars bei uns Angst hervor. Gleichzeitig versteckt sich in dem Geräusch als Information „große Macht“. Wenn ein Sounddesigner „hohe Leistung“ als Information liefern möchte, kann die Signaleigenschaften des Löwengebrülls ein wichtiges Mittel werden. Die Leistungsinformation steckt im Löwengebrüll-Signal drinnen und einige Signaleigenschaften wie der zeitliche Verlauf, der Frequenzinhalt und –zusammenhänge und die Pegeländerung spielen eine wichtige Rolle (Abbildung 1). Wenn man die Zusammenhänge (bzw. Kode) verstanden hat, kann man die Signaleigenschaften der mechanischen Schallquellen von dem Produkt so gestalten, dass das Geräusch die gleiche Leistungsinformation behält, aber nicht eins zu eins wie Löwenbrüll klingt. Deswegen ist die wesentliche Arbeit die Abstraktion der wesentlichen Signaleigenschaften, die für die Leistung relevant sind. Zuerst können die Signalinhalte durch geeignete Signalverarbeitung (z.B. Filterung, zeitliche Änderung des Signals) stückweise aus dem Löwengebrüll-Signal rausgenommen werden. Dann kann bei einem Hörversuch der Leistungseindruck des Geräusches evaluiert werden. Damit werden die Signalanteile, die für den Leistungseindruck nicht relevant sind, bestimmt. Natürlich sollte man in diesem Fall die Aggressivität des Geräusches möglichst reduzieren. Aber die Aggressivität und die Leistung hängen im bestimmten Maße miteinander zusammen. Daher kann man die Aggressivität nicht ganz entfernen, wenn man die Leistungsinformation behalten möchte.



(a)



(b)

Abbildung 1: a) Schematische Darstellung der Abstraktion der wesentlichen Signaleigenschaften, die für die Leistung relevant sind (U. Jekosch) **b)** STFT-Spektrogramm eines Löwengebrülls. Die zeitlichen Veränderungen (Pegelerhöhung und Frequenzänderung) im Zeitbereich 1 – 1.5 Sekunde spielen eine entscheidende Rolle bei der Leistungswahrnehmung.

4. Audiotaktiler Design bezüglich der Sportlichkeit eines Fahrzeugs

Schall wird im Alltag gewöhnlich von Körperschwingungen erzeugt. Viele dieser Schwingungen werden von uns sowohl auditiv als auch taktil wahrgenommen [4]. Deswegen gibt es einen starken Zusammenhang zwischen dem Product Sound- und Schwingungsdesign. In einer früheren Studie

haben wir die Sportlichkeit des Fahrzeuginnenraumgeräusches im Betriebszustand Teillast/Vollast Beschleunigung untersucht [5]. Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass die zeitlichen Veränderungen (Pegelerhöhung und Frequenzänderung) der Motorordnungen eine entscheidende Rolle bei der auditiven Sportlichkeitswahrnehmung spielen. Man assoziiert neben anderen Parameter, den hohe Schalldruckpegel mit der wahrgenommenen Sportlichkeit des Fahrzeuggeräusches. Allerdings verursacht ein hoher Schalldruckpegel ab einer bestimmten Dauer, dass der Fahrer sich müde und ausgeschöpft fühlt. Deswegen ist es sinnvoll den Pegel zu reduzieren. Ein Ziel dieser Studie war die Untersuchung, ob eine gleiche Sportlichkeitsbewertung mit leiseren Fahrzeuginnenraumgeräuschen verwirklicht werden kann, wenn man eine entsprechende neue Ganzkörperschwingung (Sitzschwingungen) gestaltet.

Um die Zusammenhänge zwischen dem akustisch/vibratorischen Fahrzeugverhalten eines Sportfahrzeugs und der audio-taktilen Wahrnehmung des Fahrers zu erforschen, wurden erste multimodale Probandenversuche durchgeführt. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, die verschiedenen multimodalen und unimodalen Szenen nach ihrer wahrgenommenen Sportlichkeit zu bewerten. Die Benutzeroberfläche wurde mit Matlab-GUI implementiert. Bei der Befragung nach der Ausprägung der Sportlichkeit wurde eine quasikontinuierliche Rohmann-Skala (100-Punkte, verbale Markierungen: nicht, wenig, mittel ziemlich, sehr) benutzt. Acht normalhörende Versuchspersonen (sieben Männer und eine Frau) nahmen am Experiment teil. Sie waren zwischen 20 und 56 Jahren alt (Mittelwert: 35 Jahre). Alle Versuchspersonen fahren täglich Auto. Für dieses Experiment wurde ein Fahrzeug, dessen Geräusch mittelmäßig sportlich beurteilt wurde, ausgewählt. Akustisch-vibratorisch-optische Stimuli dieses Fahrzeugs wurden im Multimodalen Messlabor (MMM) der TU Dresden wiedergegeben. In diesem Messraum sind ein hochwertiges Wellenfeldsynthese(WFS)-System, ein HD-Beamer, eine hydraulische Bewegungsplattform (6 Freiheitsgrade) und ein Shaker im Einsatz. Im Experiment wurde der vibratorische Stimulus variiert. Folgende Variationen wurden gewählt: keine Vibrationen vorhanden, Vibrationen basierend auf den Aufnahmen, 40 Hz Sinusschwingung mit einer Pegelerhöhung in Abhängigkeit von der Drehzahl (+Straßenanregung), 0.5te Motorordnung mit einer Pegelerhöhung in Abhängigkeit von der Drehzahl (+Straßenanregung), 80 Hz Sinusschwingung mit einer Pegelerhöhung in Abhängigkeit von der Drehzahl (+Straßenanregung), amplitudenmodulierte 100 Hz Sinusschwingung (Modulationsfrequenz 40 Hz) mit einer Pegelerhöhung in Abhängigkeit von der Drehzahl (+Straßenanregung), amplitudenmodulierte 120 Hz Sinusschwingung (Modulationsfrequenz 80 Hz) mit einer Pegelerhöhung in Abhängigkeit von der Drehzahl (+Straßenanregung). Die Ergebnisse des Experiments (multimodale Darbietung) sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Versuchspersonen bewerteten die akustisch-optische Darbietung ohne Vibrationen als "wenig sportlich". Die Darbietung der tatsächlich aufgenommenen Vibrationen steigerte das Sportlichkeitsgefühl. Mit gezielt gestalteten Vibrationen konnte die Sportlichkeitswahrnehmung des Fahrzeugs bis zum Skalenpunkt „ziemlich“ erhöht werden.

In einem zweiten Experiment wurde ein Fahrzeug, dessen Geräusch sehr sportlich beurteilt wurde, ausgewählt. Dieses Geräusch besitzt tatsächlich einen sehr hohen Schalldruckpegel (Siehe Spektrum in Abbildung 3). Im Experiment wurden beide Stimuliarten (Schall und Schwingung) variiert (Tabelle 3). Der Schalldruckpegel des Geräusches wurde auf 6 dB reduziert und mit verschiedenen Sitzschwingungen kombiniert. Aus dem ersten Experiment wurde eine Sitzschwingung ausgewählt, die sehr sportlich beurteilt wurde. Zusätzlich wurde das Nicken (beim Schalten) verstärkt. Beim plötzlichen Beschleunigen oder Schalten entstehen Sprünge in der Übertragung des Drehmoments [6]. Diese Sprünge rufen ein kurzzeitiges Nicken des Fahrzeugs hervor. Die Nickbewegung ist deutlich wahrnehmbar und eine tieffrequente Anregung. Viele Sportfahrzeugliebhaber wünschen solche impulsartige Anregungen. Deswegen führt das Nicken zu einer deutlichen Erhöhung der wahrgenommenen Sportlichkeit. In dem Experiment wurden diese Stimulivarianten mit den Stimuli

aus dem ersten Experiment gemischt und randomisiert. Die Versuchspersonen hatten wieder die gleiche Aufgabe wie im letzten Experiment.

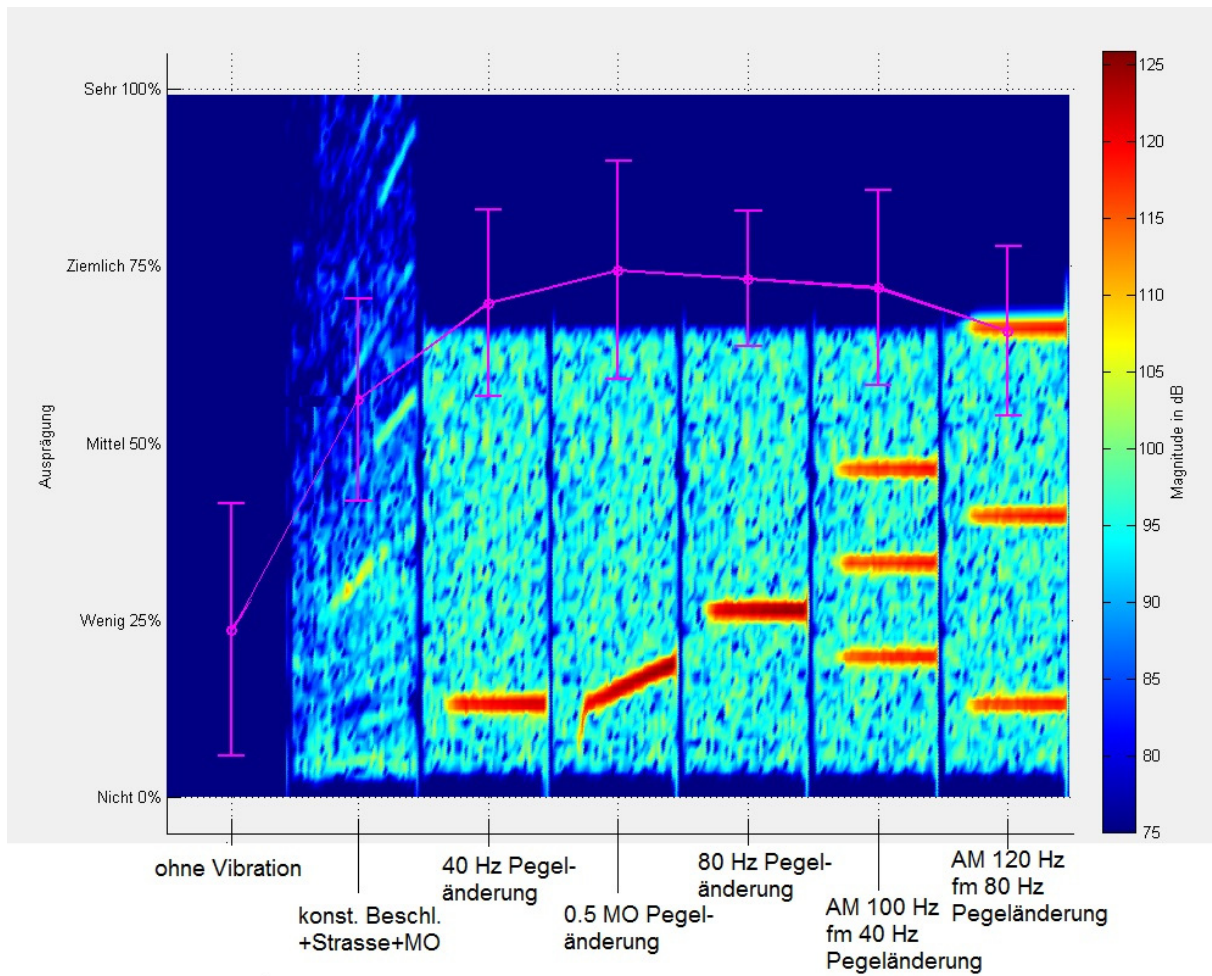


Abbildung 2: Die Sportlichkeitsbeurteilungen von multimodalen Stimuli (akustisch-vibratorisch-optisch) als Variation vom vibratorischen Stimulus.

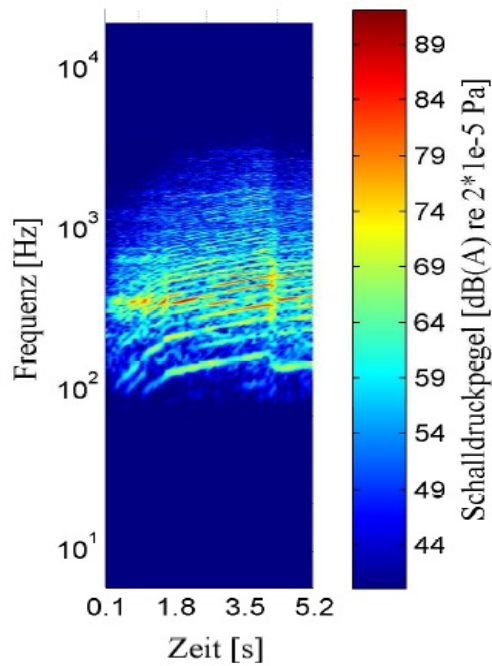


Abbildung 3: Spektrogramm des Fahrzeuginnenraumgeräusches.

Tabelle 3: Multimodale Stimuli-Variationen

Variante	Akustisch	Vibratorisch (Sitzschwingungen)
1	Original Schalldruckpegel	Original
2	6 dB leiser als Original	Original
3	6 dB leiser als Original	Amplitudenmodulierte 100 Hz Sinusschwingung (Modulationsfrequenz 40 Hz) mit einer Pegelerhöhung in Abhängigkeit von der Drehzahl (+Straßenanregung)
4	6 dB leiser als Original	Genauso wie Variante 2 + Starkes Nicken

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass eine Kombination aus einem leiseren Fahrzeuggeräusch mit einer geeigneten Sitzschwingung die gleiche Sportlichkeitsbewertung haben kann wie eine Kombination aus einem lauterem Fahrzeuggeräusch mit originalerer Sitzschwingung (Abbildung 4).

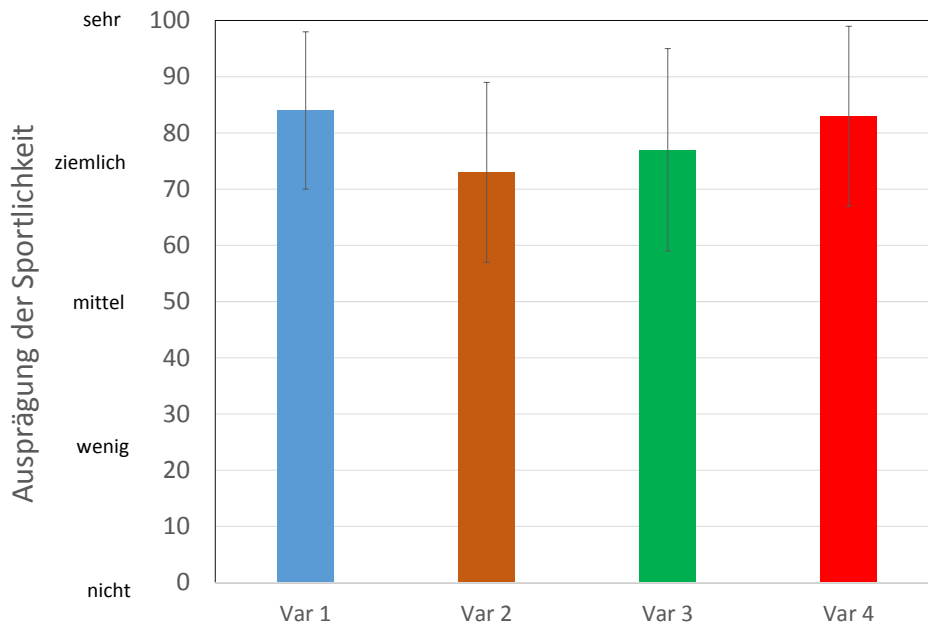


Abbildung 4: Sportlichkeitsbeurteilungen von Stimuli-Varianten.

5. Zusammenfassung

Das Sound Design von Produktgeräuschen erhält sowohl im Rahmen der Komfortoptimierung als auch bei der Charaktergestaltung von Produkten einen immer größeren Stellenwert im Entwicklungsprozess neuer Produkte. Geräusche tragen Information über das Produkt, die Situation, die Umgebung und die Welt. Akustische Signale werden benutzt, um die Interaktion zwischen dem Produkt und den Nutzer zu optimieren. Die zukünftige Herausforderung des Product Sound Designs wird die Beantwortung der beispielhaften Fragen wie: was sind die relativen Beiträge von unterschiedlichen Sinnesmodalitäten auf ein multimodales Perzept? oder wie klingt das Elektroauto der Zukunft? sein.

6. Danksagung

Der Autor möchte sich besonders bei Prof. Jekosch und Prof. Blauert bedanken, die ihn mit ihren Erfahrungen immer tatkräftig zur Seite standen und bei der Erstellung dieses Manuskripts sehr unterstützt haben.

7. Literatur

- [1] *Jekosch, U.*: Assigning Meaning to Sounds - Semiotics in the Context of Product Sound Design. in: J. Blauert (ed.): *Communication Acoustics*, S. 193–219, Berlin–Heidelberg–New York, NY: Springer, 2005.
- [2] *Altinsoy, M.E.*: Untersuchungen zur Entwicklung eines europäischen Sound-Labels für Haushaltsgeräte. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, Vol. 8, No. 5, pp. 32-40, 2013.
- [3] *Jones, L.*: *Human Factors and Haptic Interfaces*. IMA Workshop on Haptics, Virtual Reality, and HCI, 2001.
- [4] *Altinsoy, M.E.*: *Auditory-Tactile interaction in Virtual Environments*. Shaker Verlag, Aachen, 2006.

[5] *Altinsoy, M.E.*: Einfluss der Ganzkörperschwingungen auf die Sportlichkeit des Fahrzeuginnenraumgeräusches. in DAGA 2012 - 38th German Annual Conference on Acoustics, Darmstadt, 2012.

[6] *Schecker, D.*: Korrelation des akustisch/vibratorischen Fahrzeugverhaltens und der audio-taktilen Fahrerwahrnehmung bei Sportfahrzeugen. Diplomarbeit. TU Dresden, 2012.