

ZUSAMMENFASSUNG

Geräusche im Fahrzeuginnenraum sind ein wichtiger Faktor der KundInnenzufriedenheit und haben einen entscheidenden Einfluss auf das „Produkt“ Automobil sowie den Qualitätseindruck. Die subjektive Wahrnehmung eines Produktes und dessen Geräusche lassen sich nicht einzig mithilfe technischer Parameter bestimmen; vielmehr ist es für die Produktentwicklung wichtig, technische Spezifikationen mit den Ansprüchen von KundInnen zu verknüpfen. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, sich mit dieser Herausforderung im Kontext der Automobilbranche auseinanderzusetzen.

Mithilfe von vier aufeinander aufbauenden Untersuchungen wurde versucht, die Wichtigkeit von Geräuschen im Fahrzeug aus KundInnensicht, ihren Stellenwert für die Gesamtfahrzeugqualität sowie die Anforderungen der KundInnen an diese Geräusche zu erheben. Auch sollte geklärt werden, welche Geräuschmerkmale die Hochwertigkeit beeinflussen und welche Rolle differentielle Aspekte wie Geschlecht, Alter oder Nationalität spielen. Zwei Geräusche, das Klimagebläsegeräusch sowie das Blinkergeräusch, für die Verbesserungsbedarf erkannt wurde, wurden im Rahmen eines mehrdimensionalen Ansatzes genauer betrachtet. Dabei wurden subjektive Bewertungen, akustische Parameter der Geräusche und psychophysiologische Reaktionen der UntersuchungsteilnehmerInnen miteinander in Verbindung gebracht. Die Ergebnisse zeigen, dass Geräuschkomfort eine wichtige Rolle für die wahrgenommene Fahrzeugqualität spielt und aus KundInnensicht ein hochwertiger Klang und eine gute Passung zur jeweiligen Geräuschquelle wichtig sind. Allgemein zeichnen sich hochwertige Geräusche im untersuchten KundInnenbereich dadurch aus, dass sie eher leise, weich und zurückhaltend, satt, etwas dunkel und wenig rau und scharf klingen. Für Klimagebläse- und Blinkergeräusche lassen sich Zusammenhänge zwischen subjektiven Bewertungen und akustischen Parametern aufzeigen und Handlungsempfehlungen ableiten. Hinsichtlich der unterschiedlichen Blinkergeräusche konnte unter Einbeziehung der subjektiven Bewertungen und der psychophysiologischen Reaktionen eine Geräuschgruppe identifiziert werden, deren Implementierung aufgrund des Auslösens von (positiven) Emotionen und der Erzeugung von wenig mentaler Beanspruchung empfohlen werden kann. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Bewertungs- und Gestaltungskriterien können wesentlich zur Soundoptimierung des Produktes Automobil beitragen. Die differenzierte Methodik erfordert einen gewissen Aufwand, der jedoch durch eine höhere Produktqualität und den damit verbundenen Mehrwert gerechtfertigt wird.

SUMMARY

Vehicle sounds are important factors of customer satisfaction and have a decisive influence on the “product” automobile and its quality impression. The subjective perception of a product and its sounds cannot be determined solely by technical parameters. Rather, it is important for product development to combine technical details with customers’ requirements. The aim of the thesis is to deal with this challenge in the context of the automotive industry.

Through the aid of four successive studies, an attempt was made to learn more about the importance of vehicle sounds from a customers’ point of view and their importance on the overall vehicle quality, including the requirements that customers associate with these sounds. Also, it should be clarified which sound characteristics influence the high quality of these sounds. In addition, the role of differential aspects such as gender, age or nationality was of interest. Two sounds, the air conditioning sound and the turn indicator sound, which were detected for improvements, were considered as part of a detailed multi-dimensional approach. Here, subjective assessments, acoustic parameters of the sounds and psychophysiological responses of the study participants were related to each other. The results indicate that sound quality plays an important role on the perceived vehicle quality and from a customers’ point of view, a high-quality sound and a good fit of the sound to its source are important. In general, high-quality sounds are characterized in the studied area by the fact that they are rather quiet, soft and reserved, rich, a bit dark and not too rough and sharp. For air conditioning sounds and turn indicator sounds, correlations between subjective assessments and acoustic parameters can be shown and recommendations for action can be derived. For the different turn indicator sounds, including the subjective assessments and the psychophysiological responses of the participants, one sound group could be identified for which an implementation can be recommended due to the triggering of (positive) emotions and nominal mental workload. The evaluation and design criteria developed within this thesis, can contribute considerably to sound optimization of the product automobile. The differentiated methodology requires a certain effort, which is justified by a higher product quality and associated value.

1. THEORETISCHER HINTERGRUND

1.1 Einleitung

Gerade in der heutigen Zeit werden sich Produkte aus Sicht von KundInnen immer ähnlicher und zugleich auch austauschbarer. Vor diesem Hintergrund wird es immer wichtiger, ein Produkt einzigartig zu gestalten, indem man mit ihm die Kunden begeistert und deren Emotionen anspricht (Lee, Amir & Ariely, 2009; Pawle & Cooper, 2006). Auch sind „Automobile (...) wie kaum ein anderes Wirtschaftsgut sowohl durch rationale als auch durch emotionale Aspekte gekennzeichnet.“ (Zeller, 2009, S. 1) und eine Unterscheidung zum Wettbewerb wird stark durch sogenannte „weiche“ Faktoren, wie dem „Mögen“ einer Marke mitgeprägt. Vor allem wenn objektive Kriterien und konkrete Vorteile für die Wahl eines bestimmten Produktes bei der Kaufentscheidung aufgrund qualitativer Ähnlichkeit von Produkten in den Hintergrund rücken, werden emotionale Aspekte und subjektive Bewertungen für KundInnen zu einem wichtigen Entscheidungskriterium zwischen Produkten unterschiedlicher Hersteller (Havlena & Holbrook, 1986). Welches Produkt letztendlich gekauft wird, wird zunehmend durch emotionale Aspekte geprägt und so zur „Geschmackssache“ (Zeller, 2009).

Es zeigt sich immer stärker, dass eine Marke und damit verbunden das Produkt zum sinnlichen Erlebnis werden muss, um als besonders und einzigartig wahrgenommen zu werden und zukünftig bestehen zu können (Hirschman & Holbrook, 1982; Lindstrom, 2005; Schifferstein & Spence, 2008). Dies setzt die Einbeziehung der unterschiedlichen menschlichen Sinne in die Gestaltung und Entwicklung von Produkten voraus. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit einem Bereich dieser sensorischen Produktgestaltung, der in der Automobilbranche als Unterscheidungsmerkmal zwischen verschiedenen Marken beziehungsweise Produkten unterschiedlicher Hersteller gesehen werden kann: dem Produktsound. Dieser nimmt im Fahrzeug neben anderen Wertanmutungsaspekten wie beispielsweise verwendete Materialien oder dem Design, eine besondere Rolle ein (vgl. Fastl, 2005; Nor, Fouladi, Nahvi & Ariffin, 2008; Otto & Wakefield, 1993; Rücker, 2003; Schifferstein, 2006).

Schon früh konnten Forschungsarbeiten zeigen, dass sich erfolgreiche Produkte nicht nur aufgrund ihrer Qualität oder technischen Ausführungen, sondern vor allem aufgrund der Einbeziehung der Identifikation und dem Verständnis von KundInnenbedürfnissen und Anforderungen, die KundInnen an das Produkt stellen, am Markt etablieren und halten konnten (vgl. Brown & Eisenhardt, 1995). Diese Einbeziehung von KundInnen in den Produktentwicklungsprozess geht auch einher mit der Erkenntnis, dass sich die subjektive Wahrnehmung eines Produktes und dessen Geräusche nicht einzig mithilfe von objektiven Leistungsangaben und technischen Parametern bestimmen lassen (Genuit, Schulte-Fortkamp & Fiebig, 2006). Trotzdem ist es für die Produktentwicklung wichtig, Ansprüche an ein Produkt, die sich aufgrund der Wünsche von KundInnen und ihren

Emotionen ergeben, mit technischen Spezifikationen zu verknüpfen (Jennings, Fry, Dunne & Williams, 2002; Resch & Mast, 2006).

Abbildung 1 zeigt die von Zeller (2009) aufgestellte Hierarchie der „Unmittelbarkeit des Erlebens wesentlicher Fahrzeugeigenschaften“ (ebd., S. 2), die Vibroakustik und Sound gleich hinter Formgebung und Design in die direkt durch KundInnen erlebbaren Eigenschaften eines Fahrzeuges einordnet und deren Wichtigkeit betont.

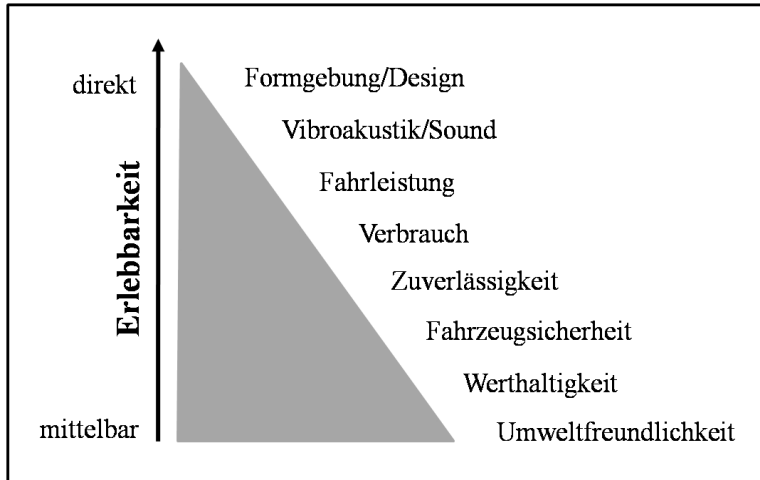


Abbildung 1: Unmittelbarkeit des Erlebens wesentlicher Fahrzeugeigenschaften (Zeller, 2009, S. 2)

KundInnen vertrauen instinktiv darauf, dass ein hochwertiges Produkt auch hochwertig klingt (Miśkiewicz & Letoweski, 1999; Schulte-Fortkamp, Genuit & Fiebig, 2007). Auch kann die Geräuschqualität eines Produktes die von KundInnen wahrgenommene Produktqualität beeinflussen (Genuit, 2008). Dies erklärt, weshalb Fahrzeuggeräusche auch eine wichtige Rolle bezüglich der KundInnenzufriedenheit einnehmen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Hochwertigkeit von Geräuschen im Fahrzeug. Ziel der Arbeit ist es, Handlungsempfehlungen für die Gestaltung von Geräuschen im Kontext der Automobilbranche ableiten zu können. Dabei interessiert vor allem, wie Geräusche im Fahrzeug gestaltet sein müssen um von KundInnen als hochwertig und angenehm wahrgenommen zu werden. Auch sollen mögliche kundInnenrelevante Unterschiede für verschiedene im Fahrzeug hörbare Geräusche aufgezeigt werden. Um diese Fragen zu beantworten sollen mithilfe eines mehrdimensionalen Ansatzes subjektive Empfindungen und Bewertungen mit objektiven physikalischen und akustischen Parametern von Geräuschen in Verbindung gebracht und zusätzlich psychophysiologische Reaktionen der UntersuchungsteilnehmerInnen während des Anhörens von Geräuschen miteinbezogen werden. Eine differenziertere Betrachtung der Forschungsziele und Vorgangsweisen findet sich unter Abschnitt 2.

Im nachfolgenden theoretischen Teil soll ausgehend von der Definition von Geräuschen im automobilen Kontext hin zu störenden Geräuschen und deren Beseitigung auf die Entwicklung hochwertiger Fahrzeuggeräusche und den momentanen Stand der Forschung in diesem Bereich eingegangen werden. Des Weiteren interessieren Zusammenhänge zwischen Geräuschqualität und KundInnenzufriedenheit und die Betrachtung der Frage, welche Faktoren und Eigenschaften subjektiv hochwertig empfundenen Fahrzeuggeräuschen zugrundeliegen. Um dem Mehrebenenansatz gerecht zu werden, auf dem die vorliegende Arbeit basiert, sollen ebenfalls Zusammenhänge zwischen Geräuschqualität und psychophysiologischen Parametern sowie zwischen Geräuschqualität und akustischen und psychoakustischen Parametern näher betrachtet werden.

1.2 Definition von Geräuschen im automobilen Kontext

Im automobilen Kontext spielen neben dem häufig erwähnten und untersuchten Motorengeräusch auch andere Geräuschquellen, die auf KundInnen während der Fahrt oder im Stand einwirken, eine Rolle. Dabei ist zwischen Betätigungs- und Funktionsgeräuschen zu unterscheiden (vgl. Beitz, Wagner & Enigk, 2010). Als Betätigungsgeräusche werden Geräusche verstanden, die durch eine aktive Handlung des/der FahrerIn zustande kommen und ihm/ihr direkte Rückmeldung über die Ausführung einer Aktion geben (Buss & Weber, 2010). Als Beispiel kann das Auslösen des elektrischen Fensterhebers genannt werden. Nachdem der Schalter gedrückt wurde, hört man ein Klicken, das bestätigt, dass die Funktion ausgelöst wurde. Das Fenster setzt sich in Bewegung und wenn es vollständig hinuntergefahren ist, bestätigt ein Geräusch das Ende der Aktion. Dieses Feedback zeigt dem/der FahrerIn an, dass das Fenster vollständig geöffnet ist. Die Gewöhnung an diese Geräusche ermöglicht es, einzig mithilfe der auditiven Rückmeldung zu wissen, dass die gewünschte Aktion tatsächlich ausgeführt wurde. Eine zusätzliche visuelle Überprüfung ist nicht notwendig (Beitz, Wagner & Enigk, 2010).

Betätigungsgeräusche können in verschiedene Gruppen eingeteilt werden: Geräusche von Verstellsystemen (z. B. Fensterheber, Sitzverstellung, Zentralverriegelung, Außenspiegel, Schiebedach, Sonnenrollos, Kopfstütze, Cabriooverdeck), Türen, Klappen und Ablagen (z. B. Türen, Heckdeckel, Motorhaube, Tankdeckel, Handschuhkasten, Mittelkonsolenfach, weitere Ablagen und Fächer, Abdeckung des Schiebedaches), Lüftung und Gebläse, Schaltern und Bedienelementen (z. B. Zentrale Bedieneinheit, Push-Push-Schalter, Schalter Verstellsysteme, Lichtdrehsteller, Lenkstockhebel, Zündschloss, Feststellbremse, Gurtschloss, Gurtaufroller, Gurthöhenverstellung, Spiegelabblendung) und von akustischen Signalen (z. B. Blinker, Parktronic, Distronic, Gurtwarner).

Demgegenüber stehen Funktionsgeräusche, die dadurch charakterisiert sind, dass sie nicht durch eine aktive Handlung des/der FahrerIn ausgelöst werden. Wodurch ein gehörtes Funktionsgeräusch auslöst wird, bleibt dem/der FahrerIn meist verborgen, weshalb bei diesen Geräuschen besonders auf eine leise und hochwertige Gestaltung geachtet werden muss, um sie nicht zu Störgeräuschen werden zu lassen. Quellen für Funktionsgeräusche stellen beispielsweise Luftkompressoren, Pumpen oder

Verstellungssysteme der Scheinwerfer dar (vgl. Beitz, Wagner & Enigk, 2010; Pletschen, 2010).

1.3 Definition störender Geräusche im automobilen Kontext

Der Begriff Störgeräusch bezieht sich im automobilen Kontext hauptsächlich auf Geräusche bzw. Nebengeräusche, die durch ein Produkt selbst oder seine Verwendung entstehen. Nach einer Definition von Steinberg (2010) wird ein Geräusch im automobilen Kontext dann als Störgeräusch bezeichnet, wenn es mindestens eine der in Tabelle 1 dargestellten Voraussetzungen erfüllt.

Tabelle 1

Definition Störgeräusch im automobilen Kontext nach Steinberg (2010, S. 185)

- Ein Geräusch (Funktionsgeräusch) kann unangenehm oder störend sein, selbst wenn ein Fahrzeug-Insasse eben jenes Geräusch aufgrund seines Handelns erwartet.
- Die Geräuschqualität ist schlechter als erwartet.
- Ein Geräusch tritt auf, ohne dass der Benutzer das Geräuscheignis durch sein Handeln erwarten kann (z. B. Anschlagen von Innenraumverkleidungen).
- Das Geräusch ist kein Informationsträger im Sinne der Benutzerführung (z. B. Warngeräusch bei mangelnder Motorschmierung).

Steinberg (2010) formuliert außerdem, dass „der Grad der Störung (gering oder hoch) [...] nicht relevant“ (ebd., S. 185) ist, um ein Geräusch zum Störgeräusch werden zu lassen, wobei dieses Kriterium in Tabelle 1 nicht übernommen wurde, weil eine konkrete Operationalisierung nicht ableitbar ist. Des Weiteren sind Störgeräusche nach Steinberg (2010) Geräusche „(...) mit negativer Geräuschqualität, d.h. das Schallereignis führt zu einem Hörereignis, welches als unangenehm, lästig, störend, negative Assoziationen auslösend, oder als nicht zum Produkt passend empfunden wird“ (ebd., S. 185).

In der Definition von Pfäfflin, Gerhard, Ehinger und Herrmann (2010) sind Geräusche im automobilen Kontext aufgrund der in Tabelle 2 dargestellten Aspekte als störend einzuordnen.

Tabelle 2

Definition Störgeräusch im automobilen Kontext nach Pfäfflin et al. (2010, S. 429)

- Reduzierter Komfort für Insassen
- Störung der Kommunikation
- Minderung Konzentration
- Ablenkung
- Reduzierung der Fahrsicherheit durch Ermüdung
- Belästigung der Umwelt durch Verkehrsgeräusche

Als weiterer wichtiger Aspekt ist die Kontrollierbarkeit eines Geräusches zu nennen. Steinberg (2010) geht davon aus, dass „wer Geräuschen in keiner Weise ausweichen kann, und sich ihnen ausgeliefert fühlt (...), empfindet diese i. d. R. störend“ (ebd., S. 184). Auch spielt, wie bereits in der Definition von Steinberg (2010) ersichtlich, die Information, die ein Geräusch dem/der HörerIn vermittelt eine entscheidende Rolle bei der Einordnung von Geräuschen. Geräusche können jedoch nicht nur Informationsträger (Funktion, Funktionalität, Signalcharakter, Signalfunktion, Rückmeldung z. B. des Betriebszustandes des Fahrzeugs, Steuerung von Entscheidungen wie z. B. beim Schalten, Gefahr, (Verarbeitungs-)Qualität, Hochwertigkeit, Zuverlässigkeit, Solidität,...) und dabei besonders wichtig für die FahrerIn-Fahrzeug-Interaktion sein, sie können auch ein gewisses (positives) Marken-, Hersteller- oder Produktimage ausdrücken, der Identifizierung dienen (z. B. Corporate Sound), ein durch KundInnen erlebbares Positionierungskriterium im Wettbewerbsfeld darstellen, Emotionen transportieren und wecken, ein Lebensgefühl verkörpern, den Fahrspaß unterstützen und die wahrgenommene Produktqualität beeinflussen (Alt & Jochum, 2003; Fastl, 2005; Freeman & Pickering, 2009; Genuit, 2004, 2008; Mahale, Kalsule, Muthukumar & Raju, 2005; Mühlstedt, Unger & Spanner-Ulmer, 2006; Pawle & Cooper, 2006; Pfäfflin et al., 2010; Pletschen, 2010; Rücker, 2003; Spanner-Ulmer & Mühlstedt, 2006).

Die subjektive Bewertung eines Geräusches als störendes Geräusch ist zusätzlich vermutlich auch von der jeweiligen Stimmung der Person, die das Geräusch hört, abhängig.

Das von Terhardt (1984) erstellte psychophysikalische Konzept des Zustandekommens der Lärmwirkung zeigt Charakteristika auf, die einen Schall zu Lärm werden lassen. In diesem Konzept (siehe Abbildung 2) nehmen Missklang als negative Ausprägung der Dimensionen Wohlklang, Lautstärke, vor allem wenn sie zu groß ist, und Informationsüberladenheit eines Geräusches eine bedeutende Rolle ein, da alle drei Komponenten den Eindruck der Lärmigkeit verstärken oder verursachen können. Lärmigkeit wird von Terhardt (1984) als „(...) Ausmaß(es), in welchem ein Schall als Lärm qualifiziert wird“ definiert (ebd., S. 406). Auch der Lärmempfindlichkeit einer Person wird in diesem Konzept Rechnung getragen.

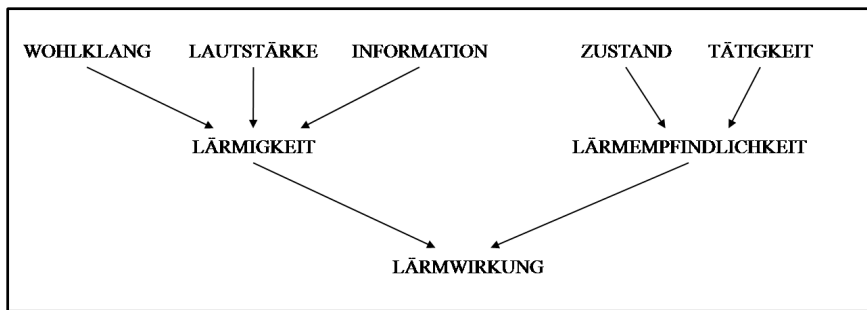


Abbildung 2: Psychophysikalisches Konzept des Zustandekommens der Lärmwirkung (Terhardt, 1984, S. 407)

Gerade im automobilen Kontext muss stark zwischen Störgeräuschen, die bestenfalls nicht zu hören sind und Betätigungs- und Funktionsgeräuschen unterschieden werden (siehe 1.2). Funktionsgeräusche wie z. B. der satte und dabei vielleicht auch etwas lautere Klang des Motors, sind Geräusche, die durchaus erwünscht sind (vgl. Steinberg, 2010; Zeller, 2009). Damit ein Funktionsgeräusch jedoch nicht zum Störgeräusch wird, können nachfolgende Gestaltungsregeln für die Auslegung von Funktionsgeräuschen von Sprenger (2008) einen wichtigen Hinweis liefern (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3

Gestaltungsregeln für die Auslegung von Funktionsgeräuschen nach Sprenger (2008, S. 20)

- Prägnante Rückmeldung
- Assoziation von Qualität
- Geräusch passend zur Eigenschaft der Komponente (Die akustische Rückmeldung muss zur Eigenschaft der Komponente passen.)
- Klare Zuordnung zur Funktion (Funktionsgeräusche, die ohne Zutun des Fahrers auftreten, sollen nicht hörbar sein oder durch einen Kontext für den Fahrer klar zuordenbar sein.)
- Einheitliche Gestaltung (Funktionsgeräusche sollen aufeinander abgestimmt sein. Gleiche Funktionen sollen gleiche Geräusche erzeugen.)

Ähnliches kann auch für den Bereich der sogenannten Betätigungsgeräusche festgestellt werden (vgl. Pletschen, 2010; Zeller, 2009). Zur Gruppe der Betätigungsgeräusche werden, wie bereits unter 1.2 erwähnt, beispielsweise Geräusche elektrischer Verstellsysteme, wie jene des Schiebedaches, der Spiegelverstellung, der Zentralverriegelung, der Fensterheber oder der Sitzverstellung oder auch Schaltergeräusche gezählt. Auch diese Geräusche sind durchaus erwünscht und geben dem/der KundIn eine wichtige Rückmeldung, durch die auf die ordnungsgemäße Funktionsausführung

geschlossen werden kann, weshalb sie nach Pletschen (2010) „(...) ausnahmslos hochwertig und passend klingen“ müssen und „(...) sich die Funktion in dem entsprechenden Geräusch wieder finden (...)“ soll (ebd., S. 104). Auch bezüglich dieser Geräuschgruppe kann ein unpassendes Geräusch den Qualitätseindruck mindern und im Extremfall sogar dazu führen, dass es als störendes Geräusch wahrgenommen wird.

1.4 Von der reinen Beseitigung von Störgeräuschen hin zur Entwicklung hochwertiger Fahrzeuggeräusche

In der Automobilbranche hat die Beseitigung störender Geräusche, die durch das Produkt selbst oder dessen Verwendung entstehen, bereits eine lange Tradition. Meist geht es darum, diese Geräusche möglichst leise zu halten (Miśkiewicz & Letowieski, 1999). Völlige Geräuschlosigkeit ist diesbezüglich jedoch nicht anzustreben, da absolute Stille als bedrohlich wahrgenommen wird (Steinberg, 2010), ein „(...) absolut leises Fahrzeug ein Vehikel ohne Seele darstellen würde“ (Zeller, 2009, S. 3) und die Lautheit eines Geräusches alleine „(...) kein geeignetes Maß für die Unangenehmheit bzw. Lästigkeit (...)“ zu sein scheint, „(...) soweit es um ein ästhetisches Urteil geht.“ (Völk, 1981, S. 65). „Darüberhinaus ist eine geringe Lautstärke nicht gleichbedeutend mit akustischem „Wohlbefinden“.“ (Maschke & Jakob, 2010, S. 600). Indem man versuchte Fahrzeuge insgesamt leiser zu machen, entstand ein neues Problem: Geräusche, die früher durch Motor-, Wind- oder Rollgeräusche maskiert wurden, traten plötzlich in den Vordergrund und wurden von den KundInnen als störende Geräusche wahrgenommen. Gleichzeitig forderten auch die KundInnen immer mehr akustischen Komfort und angenehme Geräusche (Genuit, 2004, 2008). Cerrato (2009) sowie Scheibner und Zeitler (2010) stellten fest, dass sich ein hochwertiger Geräuscheindruck nicht alleine mithilfe der Abwesenheit lästiger oder störender Geräuschanteile bilden lässt, dies jedoch als notwendige Voraussetzung für empfundene Hochwertigkeit zu betrachten ist. Auch lässt sich ein angenehmes Geräusch, gerade in einem mittleren Level, wie es auch in einem Fahrzeug zu hören ist, nicht einfach dadurch erzeugen, indem man es leiser gestaltet bzw. den Schallpegel minimiert (Steinberg, 2010; Van Egmond, 2008; Zeitler & Hellbrück, 2000). Die gesetzliche Situation ist momentan jene, dass es für den Pegel des Außengeräusches gesetzlich vorgeschriebene Normen gibt, diese jedoch für das Innenraumgeräusch nicht existieren, weshalb Automobilhersteller in diesem Bereich mehr Freiheiten haben (Büchling, 2001; Pletschen, 2010).

Im Umgang mit einem Fahrzeug, sind KundInnen sowohl während der Fahrt als auch im Stand mit vielen unterschiedlichen Geräuschen konfrontiert (vgl. Lee, 2008). Diese sollen natürlich möglichst gut zum Produkt passen (Maschke & Jakob, 2010). „Sound-Design besteht darin, die einzelnen klangerzeugenden Komponenten so aufeinander abzustimmen, dass sich ein angenehmes Klangbild ergibt“ (Büchling, 2001, S. 46) sowie die bewusste Betonung von spezifischen Geräuschen, die einen positiven Einfluss auf das Erleben eines Fahrzeuges haben, herbeizuführen (Pletschen, 2010). Schließlich ergibt „das Zusammenspiel vieler Komponenten im und am Fahrzeug (...) letztendlich den eigentlichen Sound des Fahrzeuges“ (Pfäfflin et al., 2010, S. 441). Diese Überlegungen

spiegeln sich auch in den aktuellen Entwicklungen in der Automobilindustrie wider. So zeigt sich, dass Störgeräuschminimierung („noise control“) zwar weiterhin wichtig bleibt, zunehmend jedoch Geräuschqualität als wichtiger Bestandteil der Fahrzeugentwicklung und des Fahrzeugdesigns angesehen wird (Kim, Lee, Park, Lee & Jung, 2007; Lee, 2008; Zeller, 2009). Im Zuge dieser Neuausrichtung wird die Entwicklung qualitativ hochwertiger Fahrzeuggeräusche immer mehr in den Mittelpunkt gerückt (Kim et al., 2007; Mahale et al., 2005; Watkins, 2005) und ist in vielen Unternehmen bereits ein fester Bestandteil der Markenstrategie geworden (Miśkiewicz & Letoweski, 1999; Nor et al., 2008; Watkins, 2005). Zunehmend rückt auch die Idee der Erlangung einer auditiven Markenführung in den Vordergrund, die nicht nur eine Unterscheidung zu Wettbewerbern, sondern vielmehr eine weitere Möglichkeit, die emotionale Identität einer Marke zu stärken, darstellt (Bronner, 2007; Kilian, 2007; Krugmann & Langeslag, 2007; Ulrich, 2007; Zeller, 2009).

Haverkamp (2010) fasst die Konsequenzen aus den Entwicklungen, die sich im Bereich der Fahrzeugakustik ergeben, wie folgt zusammen: „Im Hinblick auf die Integration des Fahrers in das komplexe Mensch-Maschine-System gilt es, Information tragende Signale klanglich zu optimieren und eine präzise Rückmeldung der gewünschten Funktion einzelner Aggregate an den Fahrer sicherzustellen („Operational Noise“); Geräusche ohne jeden Informationsgehalt müssen dagegen minimiert, verdeckt oder ganz unterdrückt werden.“ (ebd., S. 154).

So wird Geräuschqualität seit einiger Zeit nicht mehr nur als rein akustische, sondern vielmehr auch als psychologische Größe betrachtet (Genuit & Blauert, 1992; Genuit & Poggenburg, 1996; Jennings et al., 2002; Lyon, 2003), was eine interdisziplinäre Zusammenarbeit immer wichtiger macht (Van Egmond, 2008).

Nach Genuit (2002a) kann Geräuschqualität als „(...) Erfüllungsgrad der Gesamtheit aller Einzelanforderungen an ein Hörereignis“ (ebd., S. 144) definiert werden. Dabei sind physikalische (Schallfeld), psychoakustische (Hörwahrnehmung) und psychologische (Hörbewertung) Einflussgrößen mit einzubeziehen. Um ein möglichst ansprechendes Produkt zu kreieren interessiert es vor allem, welche Geräusche und Geräuschcharakteristika sowohl im positiven als auch im negativen Sinne einen Effekt auf die Wahrnehmung von KundInnen haben und wie sich diese mithilfe objektiver physikalischer bzw. akustischer Größen beschreiben lassen (Schmidt & Wirth, 2002; Zhang, 1999).

Genuit (2002a) geht noch einen Schritt weiter, indem er davon ausgeht, dass Geräuschwahrnehmung und -beurteilung auf den Dimensionen „physikalischer Aspekt“, „psychoakustischer Aspekt“, „Design Aspekt“ und „kognitiver Aspekt“ basiert. Kognitive Einflussfaktoren auf die Geräuschqualität können nach Bodden (1997) und Bodden, Heinrichs und Blutner (2000) in drei Merkmalsgruppen eingeteilt werden, die in Tabelle 4 ersichtlich werden.

Tabelle 4

Merkmalsgruppen kognitiver Einflussfaktoren auf die Geräuschqualität (Bodden, 1997; Bodden, Heinrichs & Blutner, 2000)

Merkmalsgruppe	Definition
• Schallbezogene Merkmale	Spezifische Vorstellungen von der Geräuschquelle und vom Image der Geräuschquelle
• Situationsbezogene Merkmale	Aktivitätssituation, Interaktion mit der Geräuschquelle
• Personenbezogene Merkmale	Erwartungshaltung, Motivation, Einstellung, Geschmack, Aversion

In der Forschung zur Geräuschqualität geht es also vor allem auch darum, die Mechanismen zu verstehen, die der Präferenz oder Ablehnung von unterschiedlichen Geräuschen zugrundeliegen (Choisel & Wickelmaier, 2006). Dies geht auch mit der Meinung von Västfjäll, Gulbol, Kleiner und Gärling (2002) einher, die die Einbeziehung von Emotionen in die Produktsoundentwicklung folgendermaßen verstehen: „If the aim of product sound quality is to optimize the sound for the user, by minimizing negative responses and maximizing positive response to the sound, affect has to be acknowledged as an integral part of user evaluation and reaction.“ (ebd., S. 514). Außerdem verstehen sie die Optimierung des Produktsounds dahingehend, dass dieser zu positiven Emotionen bei KundInnen führt, als Ziel der Forschung zur Geräuschqualität.

1.5 Geräuschqualität und KundInnenzufriedenheit

Der Begriff Geräuschqualität ist bis heute nicht einheitlich definiert. Wie bereits im Kapitel 1.4 erwähnt, versteht Genuit (2002a) Geräuschqualität als „(...) den Erfüllungsgrad der Gesamtheit aller Einzelanforderungen an ein Hörereignis.“ (ebd., S. 144). Lyon (2003) definiert Geräuschqualität („Sound Quality“) als „(...) a perceptual reaction to the sound of a product that reflects the listener’s reaction of how acceptable the sound of a product is.“ (ebd., S. 18). Auch geht er davon aus, dass Geräuschqualität „(...) is the response of people, not a meter. It is specific to the product.“ (Lyon, 2003, S. 18). Geräuschqualität lässt sich nach Guski (1997, zitiert nach Genuit, 2010) anhand dreier Kriterien bestimmen: Eignung („Suitability“), Angenehmheit und Identifizierbarkeit.

Negativ bewertet wird nach Genuit (2002a) die Geräuschqualität eines Produktes dann, wenn das Schallereignis zu einem unangenehmen, störenden, lästigen, nicht zum Produkt passenden Hörereignis führt und/oder negative Assoziationen bei KundInnen auslöst. Im Gegensatz dazu kommt es zu einer positiven Bewertung, „wenn das Schallereignis nicht mehr als Hörereignis wahrgenommen wird oder zumindest nicht stört, ein angenehmes Klangbild aufweist oder positive Assoziationen bezüglich des Produktes erzeugt.“ (ebd., S. 145).

Einigkeit besteht darüber, dass Geräuschqualität keine absolute Größe darstellt, produktgruppenspezifisch sein kann, nicht einfach auf andere Produktgruppen übertragbar ist und nur im Zusammenhang mit den jeweiligen Rahmenbedingungen, die für die entsprechende Produktgruppe gelten, definierbar ist (Genuit, 2010).

Sottek, Krebber und Stanley (2005) gehen davon aus, dass der Sound eines Produktes einen signifikanten Einfluss auf die Marktposition eines Automobilherstellers hat, der nicht nur den Charakter eines Produktes hervorheben, sondern auch das KundInnenverhalten beeinflussen kann. Auch ist heute Geräuschqualität als wichtiger Teil der Fahrzeugqualität zu betrachten (Genuit, 2004; vgl. auch Kapitel 1.3 und 1.4).

Beschäftigt man sich mit KundInnen und ihrer Wahrnehmung von Produkten, kommt man um den Begriff der KundInnenzufriedenheit nicht umhin. Gerade in der heutigen Zeit, in der der Konkurrenzdruck zwischen unterschiedlichen Herstellern immer größer wird, betrachtet man KundInnenzufriedenheit als einen wichtigen Erfolgsfaktor eines Unternehmens. Zufriedene KundInnen verhalten sich loyal gegenüber einem Unternehmen oder einer Marke, die Kaufrate erhöht sich und man profitiert von der positiven Mundpropaganda (Gedatus & Biermann, 2003). Das komplexe psychologische Phänomen der KundInnenzufriedenheit wird in der Literatur häufig als Ergebnis des kognitiven Abgleichs von Produktperformance und Erwartungsstandards betrachtet. Dieser Abgleich kann zu drei möglichen Ergebnissen führen: Die Erwartungen der KundInnen werden unterschritten, erreicht oder übertroffen. Sobald die Erwartungen an ein Produkt unterschritten werden, erfolgt Unzufriedenheit auf KundInnenseite (Oliver, 1980, 1993; Oliver & Bearden, 1985; Trommsdorff, 1998). Der Soll-Ist-Vergleich von Erwartungen an das Produkt bzw. die Produktperformance (Soll) und der tatsächlichen Produktperformance bzw. der wahrgenommenen Produkteigenschaften (Ist), durch den sich das Zufriedenheitsurteil bildet, findet sich ebenfalls in den unterschiedlichen Theorien der Zufriedenheitsdynamik wieder (vgl. Adams, 1965; Homans, 1961; Vroom, 1964). KundInnenzufriedenheit kann nach Gedatus und Biermann (2003) auch als „Qualitätswahrnehmung aus Kundensicht“ bezeichnet werden. Bei der Messung von KundInnenzufriedenheit geht es nun darum, die sogenannte „Stimme des Kunden“ in die Entwicklung von Produkten hineinzunehmen (Woodruff, 1997). Nach Zeithaml (1988) kann der wahrgenommene Wert eines Produktes als „(...) the customer's overall assessment of the utility of a product based on perceptions of what is received and what is given.“ (ebd., S. 14) verstanden werden.

Diese Sichtweisen werden ebenfalls von Miśkiewicz und Letoweski (1999) sowie Schulte-Fortkamp, Genuit und Fiebig (2007) vertreten, die in ihren Arbeiten die wichtige Rolle von Fahrzeuggeräuschen für die KundInnenzufriedenheit betonen. KundInnen vertrauen demnach darauf, dass ein hochwertiges Produkt auch hochwertig klingt. Das Wahrnehmen störender Geräusche kann bei den KundInnen zu einer Minderung der wahrgenommenen Leistung und der Qualität des Fahrzeuges führen (Mahale et al., 2005). Gerade im Segment der Premium-Fahrzeuge „(...) kann ein negativer Qualitätseindruck eher dazu führen, dass der Kunde wegen kleiner Detailmängel das Fahrzeug als Ganzes ablehnt“ (Pfäfflin et al., 2010, S. 444). Fahrzeuggeräusche können während der Fahrt, anders als beispielsweise Sicherheit, Verlässlichkeit oder auch der Wiederverkaufswert

eines Fahrzeuges quasi „direkt“ von den KundInnen wahrgenommen werden, weshalb diese nach Zeitler und Zeller (2006) auch einen direkten Einfluss auf das Fahrerlebnis haben. Sasaki und Nakashima (2007) gehen sogar noch einen Schritt weiter: Aus ihrer Sicht stellt ein „comfortable sound“ eine notwendige Bedingung für Zufriedenheit auf Seiten der KundInnen dar. Auch andere Forschungsgruppen gehen davon aus, dass Fahrzeuggeräusche, egal ob sie nun von KundInnen bewusst oder unbewusst wahrgenommen werden, die Einstellung von KundInnen zu einem Fahrzeug und dessen Akzeptanz beeinflussen (Mavuri, Watkins, Wang, Hill & Weymouth, 2008; Schulte-Fortkamp, Genuit & Fiebig, 2006).

1.6 Faktoren und Eigenschaften hochwertig empfundener Fahrzeuggeräusche

In den vorangegangenen Abschnitten wurde dargestellt, welche Fahrzeuggeräusche im automobilen Kontext grundsätzlich unterschieden werden müssen und wie diese gegenüber Störgeräuschen abzugrenzen sind. Es zeigte sich, dass Geräuschqualität einen wichtigen Beitrag zur KundInnenzufriedenheit für das Produkt Automobil leisten kann. Die Betrachtung der gegenwärtigen Bemühungen, nicht einzig Störgeräusche zu minimieren, sondern hochwertige und zum Produkt passende Geräusche zu entwickeln, zeigt deutlich, dass nicht einzig technische Spezifikationen, sondern die Einbeziehung des Faktors Mensch eine entscheidende Rolle spielen. An dieser Stelle der vorliegenden Arbeit stellt sich nun die Frage, welche Faktoren und Eigenschaften hochwertig empfundenen Fahrzeuggeräuschen zugrunde liegen und wie diese charakterisierbar sind.

Sucht man in den Arbeiten verschiedenster Forschungsgruppen nach Eigenschaften, die ein hochwertiges Fahrzeuggeräusch ausmachen, stößt man schnell auf das Problem, dass diese nicht einfach für alle im automobilen Kontext auf einen/eine KundIn einwirkenden Geräusche anhand einer einzelnen Wahrnehmungs- oder Bewertungsdimension darstellbar sind. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Geräusche und Geräuschquellen in einem Fahrzeug werden meist nur einzelne Komponenten bzw. einzelne Geräuschquellen näher betrachtet. Nachfolgend soll deshalb versucht werden, geräuschübergreifende Geräuschqualitäten, Wahrnehmungsdimensionen und Faktoren aufzuzeigen, die einen entscheidenden Einfluss auf die subjektiv empfundene Hochwertigkeit von Fahrzeuggeräuschen haben können.

In Untersuchungen zu Türschließgeräuschen konnten die Forschungsgruppen um Kuwano (2006) und Parizet (2008) zeigen, dass unterschiedliche Faktoren eine Rolle bezüglich der Beurteilung von Türschließgeräuschen spielen. Parizet, Guyader und Nosulenko (2008) konnten mithilfe von Analysen der (verbalen) Aussagen der UntersuchungsteilnehmerInnen während eines Paarvergleiches (Akustikkabine, $N = 11$, 6 Geräusche) unterschiedliche Beschreibungen für die Qualität von Türgeräuschen identifizieren. Die am häufigsten verwendeten verbalen Beschreibungen stellten dabei „sharp“ (scharf), „pleasant“ (angenehm), „loud“ (laut), „accurate“/“the sound is clear and precise“ (präzise), „high-quality car“/“it sounds like a high-quality car“ (klingt nach hochwertigem Fahrzeug) dar. Kuwano, Fastl, Namba, Nakamura und Uchida (2006) identifizierten in einer Laboruntersuchung (Akustikkabine, $N = 40$), auf der Basis der

Bewertungen von 11 Türschließgeräuschen mithilfe von Semantischen Differentialen, insgesamt drei Faktoren als wichtig für die wahrgenommene Qualität von Türschließgeräuschen. Diese drei Faktoren bezeichneten sie als „pleasant factor“ (angenehm), „metallic factor“ (metallisch) und „powerful/hard factor“ (kraftvoll/hart). Angenehmes Geräuschempfinden kann nach Kuwano et al. (2006) außerdem als eng zusammenhängend mit den Geräuschqualitäten leise, dunkel und schwer betrachtet werden. Auch in Untersuchungen mit anderen, nicht nur fahrzeugspezifischen Geräuschen konnte die Wichtigkeit jener drei Faktoren für den Qualitätseindruck eines Geräusches gezeigt werden (Hansen, Weber, Matsuri, Kuwano & Namba, 2004; Kubo, Mellert, Weber & Meschke, 2004; Kuwano, Namba, Hato, Matui, Miura & Imai, 1993; Namba, 1996). Als Ergebnis zweier Untersuchungen mit 12 und 16 Akustikexperten als UntersuchungsteilnehmerInnen, berichten Zeitler und Zeller (2006) die vier Wahrnehmungsdimensionen „comfort/loudness“ (Fahrkomfort/Lautheit), „sportiness“ (Sportlichkeit), „harshness“ (Härte, Rauheit) und „timbre“ (Klangfarbe). Diese vier Wahrnehmungsdimensionen sind das Ergebnis von Faktorenanalysen, basierend auf den Bewertungen (Semantische Differentiale) der Fahrgeräusche innerhalb verschiedener Fahrzeuge während der Fahrt auf einer Teststrecke (Konstantfahrt mit 100 km/h sowie Beschleunigung von 100 auf 140 km/h). Zeller (2009) geht davon aus, dass sich die Qualität eines komplexen Geräusches, wie es aus seiner Sicht auch der Fahrzeugsound darstellt, nur mithilfe von mindestens vier unterschiedlichen (orthogonalen) Wahrnehmungsdimensionen darstellen lässt. Diese bezeichnet er als „Lautheit“, „Dynamik“, „Härte“ und „Timbre“.

Versucht man die unterschiedlichen Forschungsergebnisse zusammenzuführen, zeigt sich, dass für den Qualitätseindruck eines Geräusches einerseits ein Komfort- oder Angenehmheitsfaktor, die empfundene Lautstärke des Geräusches, die Klangfarbe sowie ein Faktor, der sich mit Härte, Rauigkeit oder Kraft eines Geräusches beschreiben lässt, eine Rolle zu spielen scheinen. Für Motorengeräusche kann dies durch die empfundene Sportlichkeit und Dynamik des gehörten Geräusches ergänzt werden.

1.6.1 Differentielle Unterschiede

Aufgrund zunehmender Globalisierung befinden sich auch die Märkte, in denen Produkte angeboten und verkauft werden, immer mehr im Wandel. So wird es auch aus Sicht der Geräuscentwicklung zunehmend wichtiger, unterschiedliche Märkte und ihre spezifischen Anforderungen, die sich aufgrund nationaler oder kultureller Unterschiede ergeben können, genauer zu analysieren und auf diese einzugehen (Alt & Jochum, 2003; Sottek, Krebber & Stanley, 2005).

Die Ergebnisse von Untersuchungen von Sottek et al. (2005, Stichprobengrößen nicht angegeben) zeigen, dass der Faktor „comfort“ in europäischen Ländern gleich verwendet wird. Bezüglich anderer Faktoren ließen sich jedoch keine Übereinstimmungen finden. Kuwano et al. untersuchten bereits 1993 Unterschiede in der Wahrnehmung störender Fahrzeuginnengeräusche während der Fahrt, die sich auf Kulturunterschiede zurückführen lassen. Es zeigte sich, dass sich diese zwischen AmerikanerInnen ($n = 18$) und EuropäerInnen ($n = 18$) durchaus finden lassen (Gesamtstichprobe der Untersuchung:

$N = 57$, andere Nationalitäten wurden aus diesen Auswertungen aufgrund der zu geringen Gruppengröße von Kuwano et al. ausgeschlossen). So beurteilten AmerikanerInnen die ihnen präsentierten Fahrzeuginnengeräusche als lärmender als EuropäerInnen. Bezüglich der Sound-Präferenzen von deutschen und japanischen UntersuchungsteilnehmerInnen konnten Kuwano et al. (2006, $N = 40$) in einer weiteren Untersuchung gute Übereinstimmungen finden. Die kulturvergleichende Beurteilung von Warnsignalen (Kuwano, Namba, Fastl & Schick, 1997; $N = 16$) ergab, dass Deutsche und Japaner unterschiedliche Assoziationen zu Warngeräuschen bilden und aus diesem Grund dasselbe Geräusch von der einen kulturellen Gruppe als angenehm und nach Sicherheit klingend beurteilt wird, während es von der anderen Gruppe als unangenehm und nach Gefahr klingend erlebt wird.

Die bereits zuvor erwähnte Untersuchung von Kuwano et al. (1993; $N = 57$) konnte neben kulturellen Unterschieden auch Geschlechts- und Altersunterschiede aufzeigen: Frauen beurteilten die präsentierten Fahrzeuginnengeräusche während der Fahrt als lauter als Männer dieselben Geräusche beurteilten (bei 60 dB bis 74 dB). Des Weiteren beurteilten ältere UntersuchungsteilnehmerInnen die dargebotenen Geräusche als lauter als jüngere UntersuchungsteilnehmerInnen (bei 60 bis 75 dB). Bei der Bewertung unterschiedlicher Lärmquellen (pink noise, Verkehrslärm und Schüsse; $N = 150$) in unterschiedlichen Lautstärken (Sound pressure level je Geräuschquelle variiert mit: $L_{\text{eq}} = 62, 68, 74$ und 80 dB(A)) gaben Frauen, die sich als geräusch- und lärmempfindlich einstufen, an, sich signifikant schlechter zu fühlen als geräuschempfindliche Männer. Dieser Effekt dreht sich für die Gruppe jener Personen, die sich selbst als geräuschempfindlich einstufen, um: Geräuschempfindliche Männer gaben an, sich signifikant schlechter zu fühlen als geräuschempfindliche Frauen (Griefahn & di Nisi, 1992). Thomas und Jones (1981; $N = 122$) zeigen in einer Fragebogenuntersuchung, dass Frauen allgemein angeben, sich stärker von Lärm und Geräuschen belastigt zu fühlen als Männer. Auch ältere Personen zeigten diesbezüglich stärkere Ausprägungen als Jüngere, wobei dies bei männlichen Untersuchungsteilnehmern stärker zu finden war als bei weiblichen Untersuchungsteilnehmerinnen.

1.7 Geräuschqualität und psychophysiologische Parameter

Eine eingehendere Beschäftigung mit den Zusammenhängen zwischen psychophysiologischen Parametern und Geräuschqualität macht schnell klar, dass hierbei zwischen unterschiedlichen Geräuschqualitäten unterschieden werden muss. Deshalb soll in diesem Abschnitt einerseits auf Reaktionen des Organismus auf Lärm und negativ besetzte und bewertete Geräuschqualitäten eingegangen und andererseits aufgezeigt werden, dass psychophysiologische Aktivierung bzw. Erregung eine Möglichkeit darstellt, Präferenzen für unterschiedliche Geräusche besser zu erklären. Abschließend sollen Beispiele zeigen, wie heute bereits psychophysiologische Parameter bei der Gestaltung von Produkten, die verschiedene sensorische Bereiche ansprechen, erfolgreich eingesetzt werden.

1.7.1 Lärm und negativ bewertete Geräuschqualitäten

Ein breites Feld an Ergebnissen zu den Auswirkungen von Geräuschen lässt sich im Bereich der Lärmforschung und der Umweltpsychologie finden. Wie bereits die Definition von „Lärm“ als hörbares Geräusch, welches entweder die Stille oder etwas anderes, was man hören möchte, stört oder eine Belästigung darstellt (vgl. DIN 1320), vermuten lässt, beschäftigt man sich in diesem Forschungsfeld hauptsächlich mit negativen Auswirkungen auf den Organismus (Job, 1996). Nach Kryter (1985) kann Lärm als „(...) an audible acoustic energy that adversely affects the physiological or psychological well-being of people.“ (ebd., S.1) definiert werden. Diese Definition steht seiner Ansicht nach auch im Einklang mit der häufig verwendeten Definition von Lärm als „unerwünschtes Geräusch“. Auch betont Kryter (1985), dass es nicht möglich ist, Lärm rein anhand der physikalischen Aspekte eines Geräusches zu definieren, da es sehr von der Situation abhängt, ob ein Geräusch beispielsweise erwünscht ist und wichtige Informationen vermittelt oder eben unerwünscht ist und somit als Lärm wahrgenommen wird. Neben der Rolle, die die Bewertung des Geräusches für dessen Einordnung als störendes Geräusch oder Lärm spielt, wird der Begriff Lärm auch für Geräusche verwendet, die eine gesundheitsschädigende Wirkung auf den Organismus haben (z.B. temporärer oder permanenter Hörverlust). Dies spiegelt sich auch in der von Babisch (2011) selbst als „weitergehende“ Definition von Lärm bezeichneten Definition wieder, in der Lärm „(...) jegliche Schallwirkung umfasst, die belästigt, stört oder gesundheitliche Schäden hervorruft.“ (ebd., S. 28). Lärm beeinflusst den Organismus zu jeder Zeit, egal ob in der Arbeit, zu Hause, in der Freizeit oder während des Schlafes, er ist quasi omnipräsent. Es ist nicht möglich Lärm auszublenden, da Hören einen permanenten Prozess darstellt, währenddessen das Gehirn akustische Informationen aufnimmt, filtert und interpretiert, um darauf reagieren zu können (Babisch, 2005, Genuit & Fiebig, 2005; Overath et al., 2007).

Neben schädlichen Auswirkungen, die Lärm auf das auditive System haben kann, die nicht im Rahmen der vorliegenden Arbeit besprochen werden sollen, hat Lärm auch Auswirkungen auf weitere nicht-auditive Systeme des Organismus (extra-aurale Wirkungen, vgl. Kryter, 1985). Nach dem Interdisziplinären Arbeitskreis für Lärmwirkungsfragen beim Umweltbundesamt in Berlin (1990) soll bei Betrachtung der extra-auralen Wirkung von Lärm zwischen akuten und überdauernden Wirkungen unterschieden werden. Akute Wirkungen sind dabei als „(...) zeitlich eng mit der Geräuscheinwirkung verknüpft“ (ebd., S. 2) definiert und überdauernde Wirkungen „(...) bestehen in langfristig bleibenden Veränderungen von Einstellungen, Verhaltensweisen, Körperfunktionen usw.“ (ebd., S. 2). Überdauernde Wirkungen bleiben auch dann bestehen, wenn das Geräusch nicht mehr auf den Organismus einwirkt (siehe auch 1.7.1.1: Nach- oder Folgeeffekte, „aftereffects“, Glass & Singer, 1972).

Wirkt Lärm auf den Organismus ein, kann dies zu einer Fülle von Aktivierungen und Reaktionen führen. Vor allem plötzlich auftretender oder keiner Geräuschquelle zuordenbarer Lärm führt zu einem Schreckreflex („startle reflex“, „startle-alerting-arousal response“), der den Organismus in Alarmbereitschaft versetzt und ihm ermöglicht, auf mögliche Gefahren zu reagieren. Kombiniert mit einer Orientierungsreaktion (OR), wie sie Sokolov im Jahr 1963 (zitiert nach Schandry, 1998) in seinem Buch „Perception and the Conditioned Reflex“ beschreibt, wird man versuchen, den Kopf in Richtung der

Lärmquelle zu drehen und damit auch die Aufmerksamkeit auf die mögliche Lärmquelle richten. Die Herzfrequenz nimmt ab, die Hautleitfähigkeit wird erhöht, es kommt zur Vasokonstriktion (Verengung) der peripheren Blutgefäße, der Vasodilation (Erweiterung) der Kopfgefäße sowie zu Alpha-Blockaden des EEGs und der Ausbildung von P300-Komponenten im evozierten Potential. Als charakteristisch werden für die Orientierungsreaktion eine niedrige Auslöseschwelle sowie eine breite Generalisierung des Erregungsprozesses beschrieben. Abzugrenzen ist die Orientierungsreaktion von der Defensiv-Reaktion (DR) oder auch Verteidigungsreaktion, die nach Sokolov (1975, zitiert nach Schandry, 1998) „(...) durch intensive sensorische Reize oder durch Reize mit noxischen bzw. aversiven Qualitäten (...)“ (ebd., S. 61) ausgelöst wird und im Gegensatz zur Orientierungsreaktion nur geringe oder gar keine Habituation zeigt. Die Defensiv-Reaktion bereitet den Organismus darauf vor, sich entweder zu wehren bzw. gegen den Reiz anzukämpfen („fight“) oder dem Reiz durch Flucht zu entgehen („flight“). Mit der Defensiv-Reaktion gehen psychophysiologische Reaktionen wie der Anstieg der Herzfrequenz und der Hautleitfähigkeit, eine Erhöhung des Blutdruckes und die Vasokonstriktion der Kopfgefäße einher.

Kurzfristig auftretender Lärm oder störende Geräusche führen des Weiteren zu negativen subjektiven Reaktionen wie Ärger, sich belästigt fühlen, Unzufriedenheit und dem Gefühl von Unruhe (Job, 1988, zitiert nach Job, 1996).

Ising et al. (2001, zitiert nach Ising, Babisch, Guski, Kruppa & Maschke, 2002) leiten aufbauend auf frühere Überlegungen (siehe Ising, Rebentisch, Babisch, Curio, Sharp und Baumgärtner, 1990) von den Ergebnissen verschiedener Untersuchungen ($N = 12 - 82$) zu unterschiedlichen Lärmarten wie beispielsweise Tieffluglärm, Straßenlärm oder Lärm bei der Arbeit folgende drei unterschiedliche psychophysiologische Stressreaktionen, die bei wachen Personen die Lärm ausgesetzt sind, beobachtbar sind, ab:

1. Wenn Personen gewohntem oder bekanntem Lärm mit einer Lautstärke von mehr als 90 dB(A) ausgesetzt sind, führt dies an den Synapsen des Sympathikus bzw. des sympathischen Nervensystems in erster Linie zu einer Ausschüttung von Noradrenalin, das auch teilweise in den Blutkreislauf gelangt.
2. Unbekannte Geräusche, vor allem wenn sie mit etwas verknüpft sind, das sie als Bedrohung oder Gefahr kennzeichnet, lösen als erste Reaktion die zuvor bereits beschriebene Orientierungsreaktion aus. Wird das Geräusch subjektiv mit etwas, das mit Furcht oder Angst verknüpft ist, assoziiert, führt die sympathische Aktivierung zu einem Reaktionsmuster, das direkt darauf ausgerichtet ist, die Quelle der Bedrohung zu beseitigen, zur sogenannten Kampf-Flucht-Reaktion („fight-flight reaction“). In diesem Fall stellt Adrenalin, ausgeschüttet aus dem Nebennierenmark, das primäre Hormon dar.
3. Dem Auftreten von Geräuschen mit extrem hoher Intensität und dabei vor allem dem Auftreten unerwarteter Geräusche mit schnellem Pegelanstieg und Maximalpegel über 120 dB(A), folgt eine Reaktion, wie sie in Niederlagesituationen zu beobachten ist, die sogenannte Niederlagereaktion („defeat reaction“). Diese Niederlagereaktion ist das Resultat der subjektiv erlebten mangelnden Kontrolle über diese Stressreaktionen. In diesem Fall ist das primäre Hormon Cortisol, welches von der Nebennierenrinde freigesetzt wird.

Abbildung 3 fasst diese drei psychophysiologischen Stressreaktionen bzw. die unterschiedlichen Reaktionsmöglichkeiten des Organismus auf Lärm zusammen.

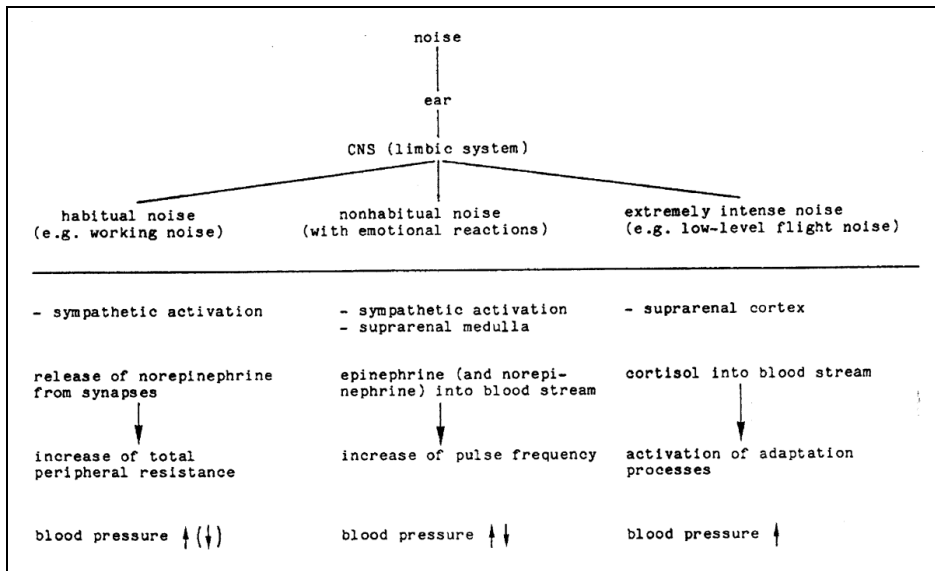


Abbildung 3: Unterschiedliche Reaktionsmöglichkeiten des Organismus auf Lärm (Ising et al., 1990, S. 421)

Wie in Abbildung 3 ersichtlich, führt Reaktion 1 (gewohnter oder bekannter Lärm), deren primäres Hormon Noradrenalin ist, nach Ising et al. (1990) insgesamt zu einer Erhöhung der Aktivität und Leistungsfähigkeit des Organismus (periphere Vasokonstriktion bzw. Erhöhung des Gefäßwiderstandes, Änderung des Schlagvolumens des Herzens, des Blutdruckes). Reaktion 2, die bei unbekannten Geräuschen, die möglicherweise Gefahr signalisieren, ausgelöst wird, führt zu einer zielgerichteten Aktivierung des Sympathischen Systems in Richtung einer Kampf-Flucht-Reaktion. Die Ausschüttung von Adrenalin als primäres Hormon dieser Reaktion führt zu einem Anstieg der Herzfrequenz und des Schlagvolumens, die periphere Vasokonstriktion tendiert dazu, sich zu verringern und der Blutdruck fällt oder steigt leicht an. Kommt es, wie zuvor beschrieben, zur Konfrontation mit Geräuschen mit extrem hoher Intensität (Reaktion 3) und wird dabei subjektiv mangelnde Kontrolle erlebt, ist eine momentane intensive sympathische Aktivierung und die damit verbundene Freisetzung von Katecholaminen (Noradrenalin, Adrenalin) nicht ausreichend. Auch die Bereitstellung von Glukose ist nicht erforderlich. Stattdessen wird verstärkt Cortisol von der Nebennierenrinde freigesetzt. Cortisol benötigt zwar mehr Zeit um wirksam zu werden, verbessert aber die Effektivität der Aktivierungsprozesse. Die Erhöhung der Corticoid-Konzentration beeinflusst z.B. die Energiebereitstellung (Anregung zur Zuckerbildung), wirkt sich positiv auf das Herz aus und verbessert die Wirkung der Katecholamine auf die peripheren Blutgefäße. Zusammengefasst kommt es zur Aktivierung von Anpassungsprozessen. Möglicherweise beruht das Prinzip der dritten Reaktion auf dieser größeren Zeitkonstante, die bei der

Wirkung von Cortisol gegenüber den Katecholaminen Adrenalin und Noradrenalin gegeben ist (Ising et al., 1990).

Nicht-spezifische Reaktionen auf Lärmbelastung, wie sie bei einer Orientierungsreaktion oder Defensiv-Reaktion auftreten, treten nach Åhrlin und Öhrström (1978) nur für eine geringe Zeitdauer auf und verschwinden innerhalb weniger Minuten, wenn die Lärmbelastung beendet wird. Wie in Abbildung 4 ersichtlich, unterscheiden Åhrlin und Öhrström (1978) bei nicht-spezifischen Reaktionen auf Lärmbelastung zwischen jenen zuvor erwähnten kurzfristigen Reaktionen des Organismus („temporary responses“) und andauernden Reaktionen („persisting responses“), die sich in ihrem Modell auf länger andauernde Lärmbelastung beziehen.

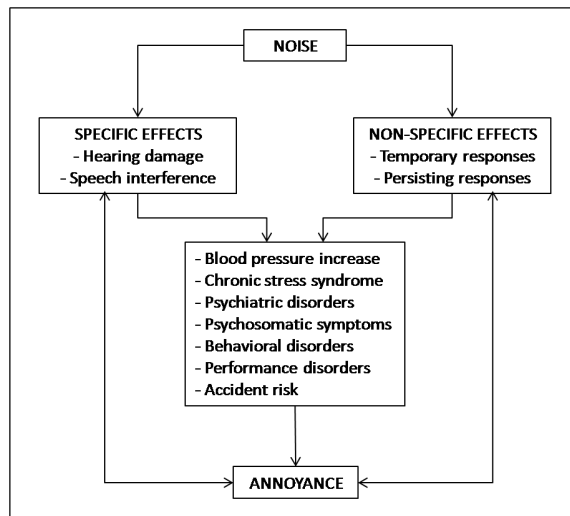


Abbildung 4: Unterscheidung spezifischer und nicht-spezifischer Effekte von Lärmbelastung (Åhrlin & Öhrström, 1978, S. 79)

Länger andauernde Lärmeinwirkung verursacht nicht nur Organschäden im Bereich des Gehörapparates von Tieren und Menschen [International Organization for Standardisation (ISO), 1990: Schäden durch kurzfristige Lärmbelastung wenn Geräusch(e) > 120 dB(A) oder > 125 dB(A) und durch längerfristige Lärmbelastung bei > 85 dB(A)], sondern kann auch, wie bereits zuvor beschrieben, unterschiedliche psychophysiologische Reaktionen hervorrufen, die (unspezifischen) Stress-Effekten und -Reaktionen sehr ähnlich sind, wobei Lärm und Geräusche dabei als Stressor fungieren und das sympathische System aktivieren (Babisch, 2002, 2005; Griefahn & di Nisi, 1992; Ising et al. 1990; Wright et al., 2007a; Wright et al., 2007b). Kryter (1985) geht auf Basis seines umfangreichen Reviews über die Ergebnisse unterschiedlichster Experimente davon aus, dass Lärm nicht per se als Stressor zu definieren ist, sondern ein indirekter Effekt auf den Organismus vorliegt, den er folgendermaßen beschreibt: „Many sounds (or noises) can indirectly (nonreflexively) cause autonomic system reactions that are deemed physiologically stressful.“ (ebd., S. 506). Als Beispiele nennt er Geräusche, die Emotionen

wie Angst, Ärger oder Frustration hervorrufen, sei dies durch ihr plötzliches oder unerwartetes Auftreten oder durch etwas, das mit dem Geräusch bzw. seiner Bedeutung verknüpft ist, also die Information, die das Geräusch transportiert oder Geräusche, die dem/der ZuhörerIn lästig sind und dadurch z.B. zu Schlafproblemen führen, die Erholung stören oder Geräusche, die man hören möchte, verdecken. Er betont in diesem Zusammenhang, dass „(...) autonomic-system responses that are probably stressful occur only after conscious or unconscious cognitive processes are completed. That is to say, sound or noises are not inherently aversive or a cause of physiological stress expect to the ear.“ (Kryter, 1985, S. 506). Der Standpunkt von Kryter (1985) wird auch von Hellbrück und Ellermeier (2004) geteilt, die Lärm als subjektive Größe verstehen. Diese Überlegungen sind auch Teil der von Kryter (1985) als „nichtreflexbezogene kognitive Theorie“ beschriebenen Theorie, die so weit geht, auch die Schreckreaktion oder die Verteidigungsreaktion auf ein unerwartetes Geräusch als nicht angeboren, sondern als das Ergebnis eines gelernten psychologischen Aspektes des Stimulus zu sehen, wobei Unerwartetheit oder das plötzliche Auftreten des Geräusches als „mit Gefahr gleichzusetzen“ gelernt wurde. Trotzdem gibt Kryter (1985) zu bedenken, dass es biologisch betrachtet natürlich sinnvoll ist, dass Geräusche, die aufgrund ihrer Intensität oder ihres Geräuschspektrums potentiell schädigend für den Gehörapparat sind, Reflex-Reaktionen im Organismus auslösen um diesen zu schützen. Er hält es für möglich, dass sie unter bestimmten Umständen gemeinsam mit jenen zuvor beschriebenen kognitiv emotional bedingten Stressreaktionen auftreten.

Verschiedene Arbeiten unterschiedlicher Forschungsgruppen (einige werden nachfolgend als Beispiele genauer beschrieben) zeigen in der Zusammenfassung der Ergebnisse, dass andauernde und länger auf den menschlichen Organismus einwirkende Lärmbelastung neben Auswirkungen auf das Gehör (bis hin zu Hörverlust), zu Ärger, einem Gefühl der Belästigung, Unruhe, Schlafproblemen (unruhiger Schlaf, Wiedereinschlafstörungen nach nächtlichem Erwachen, Schlaflosigkeit), Minderung der kognitiven Leistungsfähigkeit, der Wachsamkeit bzw. der Aufmerksamkeit, des Reaktionsvermögens, der Fahrleistung, Erhöhung der Risikobereitschaft, erhöhtem Unfallrisiko, Beeinflussung des autonomen Nervensystems, Stress-Syndromen wie beispielsweise einem Anstieg des Katecholamin-Levels (Adrenalin, Noradrenalin), vermehrtem Ausscheiden des Stresshormons Cortisol und Störung der Stresshormon-Regulation, Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie beispielsweise Anstieg des Blutdruckes bis hin zu chronischem Bluthochdruck (Hypertonie), einem Anstieg des Cholesterinspiegels, Magenproblemen, Kopfschmerzen, einer Prävalenz von Asthma bei Kindern bis hin zu Verhaltensauffälligkeiten und psychischen und psychiatrischen Störungen wie beispielsweise Angstzuständen (z.B. Angst vor möglichen Abstürzen von Flugzeugen, während diese das eigene Haus überfliegen), Depression oder auch Neurosen führen kann (Åhrlin & Öhrström, 1978: Review über 53 Arbeiten; Clark & Stansfeld, 2007: Review über 56 Arbeiten; Cohen, Glass & Phillips, 1979: Review über 78 Arbeiten; Dalton & Behm, 2007: Review über 77 Arbeiten; Dalton, Behm & Kibele, 2007; Goines & Hagler, 2007: Review über 47 Arbeiten; Ising & Ising, 2001; Ising & Kruppa, 2001: Review über 39 Arbeiten; Job, 1996: Review über 113 Arbeiten; Kryter, 1985; Maschke, Breinl, Grimm

& Ising, 1992; Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung (ÖAL), 2011; WHO, 2000). Kryter (1985) gibt jedoch hinsichtlich der Studienergebnisse bezüglich des Auftretens von psychiatrischen Störungen aufgrund andauernder oder länger einwirkender Lärmbelastung zu bedenken, dass diese auch durch epidemiologische Variablen konfundiert sein könnten. Diese könnten beispielsweise dahingehend eine Rolle spielen, dass Personen mit höherem Einkommen und/oder höherem Bildungsstand, die möglicherweise allgemein besser auf ihre Gesundheit achten und mit ihrem Leben zufriedener sind, eher in leiseren Zonen leben als Personen, auf die das nicht zutrifft. Für andere Auswirkungen der Lärmbelastung auf den menschlichen Organismus sieht er dieses Problem der Konfundierung aufgrund der hohen Übereinstimmung der Studienergebnisse unterschiedlicher Forschungsgruppen nicht.

Beispielhaft sollen nachfolgend einige Untersuchungen genauer dargestellt werden. Der Einfluss von Nachtfluglärm auf die Katecholaminausscheidung (Adrenalin und Noradrenalin) kann mithilfe der Ergebnisse einer Untersuchung im Schlaflabor (Maschke, Breinl, Grimm & Ising, 1992, $N = 8$) dargestellt werden. Die UntersuchungsteilnehmerInnen schliefen innerhalb von zwei Wochen 10 Tage im Schlaflabor. Die ersten fünf Nächte dienten als Kontrollnächte (Ruhe), in der zweiten Hälfte der Untersuchung wurden die UntersuchungsteilnehmerInnen fünf Nächte lang mit Fluglärm unterschiedlicher Überflugpegeln (Innenraumpegel von 55 – 75 dB(A)) und einer variierenden Anzahl der Überflüge (16 – 64 Überflüge pro Nacht) beschallt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass im Mittel die Adrenalinausscheidungsmenge im Morgenurin in den Nächten mit Fluglärm fast doppelt so hoch war als in den Nächten ohne Fluglärm. Für Noradrenalin zeigte sich tendenziell ein leichter Anstieg in den Nächten mit Fluglärm. Der Einfluss der unterschiedlichen Überflugpegel auf die Ausschüttung von Adrenalin und Noradrenalin wird von den Autoren als signifikant beschrieben. Leider geben sie in ihrem Artikel keine genaueren Angaben zu den Unterschieden an, sie beschreiben aber, dass eine erhöhte Adrenalinausschüttung ab einem Innenraumpegel von 55 dB(A) nachweisbar war, was sie als „(...) Ausdruck einer gesteigerten sympathiko-adrenergen Stimulation während der Schlafphasen (...)“ (Maschke et al., 1992, S. 121) interpretieren. Die Hypothese der Autoren, dass hinsichtlich der Anzahl der Überflüge ein Unterschied für die Ausschüttung von Adrenalin und Noradrenalin besteht, kann „(...) aufgrund der Interkorrelation der Parameter >>Überflugpegel<< und >>Anzahl der Flüge<< (...) nicht bestätigt werden.“ (Maschke et al., 1992, S. 121).

Ising et al. (1990) konnten in einer Untersuchung zur Auswirkung von Fluglärm bei Tiefflug (military low-altitude flight – MLAF) bei erwachsenen Männern ($N = 12$) einen signifikanten Anstieg des Blutdruckes (systolische und diastolische Komponente) innerhalb der ersten fünf Minuten nach einem simulierten Überflug im Tiefflug („post-noise period“) mit einer Lautstärke ($L_{\max}$) von 125 dB(A) feststellen. Dieser Zusammenhang ließ sich in einer epidemiologischen Untersuchung von Babisch et al. (1990; $N = 255$) aus demselben Jahr für Verkehrslärm und die Kombination von Verkehrslärm und Lärm in der Arbeit und psychophysiologischen Parametern, die als Risikofaktoren für einen Herzinfarkt betrachtet werden, nicht eindeutig (Verkehrslärm) oder überhaupt nicht (Verkehrslärm und Lärm in der Arbeit) aufzeigen. Unterschiede

zeigten sich jedoch in den Blutwerten der untersuchten Männer: Männer, zwischen 45 und 59 Jahren, die in Gebieten mit dem größten Verkehrslärm lebten, zeigten im Mittel signifikant höhere Blutfettwerte (Cholesterin), stärkere Viskosität (Zähigkeit) des Blutplasmas sowie einen höheren Blutzuckerspiegel als andere Untersuchungsteilnehmer. Für die Kombination aus Verkehrslärm und Lärm in der Arbeit konnten nur signifikant höhere Werte bezüglich der Blutfette jener Männer gefunden werden, die in beiden Lebensbereichen dem meisten Lärm ausgesetzt waren.

Eine experimentelle Untersuchung verschiedener Verkehrslärmarten (Fahrbahnbeläge: Beton, Asphalt-Beton und Split-Mastix-Asphalt; min. 50 bis max. 70 dB, Akustikkabine, $N = 51$), der subjektiven Einschätzung ihrer Angenehmheit und deren Auswirkung auf psychophysiologische Parameter ergab, dass die Herzfrequenz während aller Geräuscharbietungen höher war als während der Ruhephasen (neutrale Phasen ohne Geräuscharbietung; Raggam et al., 2007). Eine Erhöhung der Herzfrequenz während der Geräuscharbietung kann auf eine allgemeine psychophysiologische Aktivierung aufgrund der Geräuscharbietung zurückzuführen sein. Raggam et al. (2007) interpretierten dieses Ergebnis als mögliche Stressreaktion der UntersuchungsteilnehmerInnen. Weitere Ergebnisse dieser Untersuchung finden sich unter 1.7.2.

Erhobene Daten von insgesamt 433 Kindern, die in Gebieten mit einer vorgeschriebenen minimalen Flughöhe von 75 Metern oder 150 Metern leben, zeigen höhere Werte in der systolischen Komponente des Blutdruckes für Mädchen und niedrigere Herzfrequenzwerte für Jungen für jene Kinder, die in Gegenden wohnen, in denen die Belastung durch Tieffluglärm höher ist (minimale Flughöhe von 75m) gegenüber Kindern, die in Wohngegenden mit einer minimalen Flughöhe von 150 Metern aufwachsen (Ising et al., 1990). Frühere Ergebnisse von Curio und Ising (1986, zitiert nach Ising et al., 1990) deuten darauf hin, dass Mädchen insgesamt stärker von militärischem Tieffluglärm beeinträchtigt werden als Jungen.

Lärm oder störende Geräusche müssen, um Auswirkungen auf den Menschen zu haben, nicht unbedingt laut sein, auch moderate Geräusche wie z. B. das einer Klimaanlage mit einem Schalldruckpegel von 40–60 dB oder Geräusche mit niedrigem Pegel können bei längerer Einwirkung nicht nur lästig und nervend sein, sondern durchaus zu Erkrankungen führen (Babisch, 2002, 2005; Ising & Kruppa, 2001; Ramirez, Alvarado & Santisteban, 2004; Schönpflug, 1981).

1.7.1.1 Lärm und Kontrollierbarkeit

Aufbauend auf die Ergebnisse unterschiedlicher Forschungsgruppen, die in ihren Experimenten mit Tieren und Menschen Elektroschocks als aversive Reize bzw. Stressoren einsetzten, fassen Glass und Singer (1972) zusammen, dass „(...) an aversive event appears to be less painful if an organism can terminate or avoid it than if he has no control over it.“ (ebd., S. 61). Um dies auch für die Auswirkungen der Kontrollierbarkeit von Lärm bzw. Geräuschen auf den Menschen zu untersuchen, führten Glass und Singer (1972) eine Vielzahl an Laboruntersuchungen durch. Nachfolgend sollen einige dieser Untersuchungen und ihre Ergebnisse kurz dargestellt werden.

Die Ergebnisse von Glass und Singer (1972) zeigen, dass zwischen Auswirkungen, die direkt während der Geräuscharbietung sichtbar werden und Auswirkungen, die sich in der Phase danach, in der kein Lärm bzw. keine Geräusche auftreten, den sogenannten Nacheffekten oder Folgeeffekten („aftereffects“, „postnoise behavior“) unterschieden werden muss. Als Geräusche bzw. Lärm werden in ihren Laboruntersuchungen sogenannte „noise bursts“, also impulshaltige Geräusche, verwendet. Diese sind als breitbandiges Rauschen, bestehend aus unterschiedlichen Geräuschen, die überlagert wurden, operationalisiert (zwei spanisch sprechende Personen, eine armenisch sprechende Person, Geräusche eines Mimeographen bzw. einer Vervielfältigungsmaschine, eines Tischrechners und einer Schreibmaschine; 108 dB(A), 150 – 7000 Hz). Wurden andere Geräuschintensitäten oder andere Geräusche verwendet, ist dies nachfolgend für die betreffende Untersuchung vermerkt.

Hinsichtlich psychophysiologischer Reaktionen der UntersuchungsteilnehmerInnen während der Phase der Geräuscharbietung (operationalisiert durch GSR, Galvanic skin response und Messung der Vasokonstriktion bzw. Verengung der peripheren Blutgefäße am Finger) konnten Glass und Singer (1972) die postulierten Auswirkungen der Kontrollierbarkeit von Lärm laut eigenen Aussagen nicht zweifelsfrei belegen, da diese in den von ihnen durchgeführten Untersuchungen nicht immer statistisch signifikant wurden. Es zeigte sich aber, dass die beobachteten psychophysiologischen Reaktionen der UntersuchungsteilnehmerInnen in den meisten ihrer Untersuchungen ($N = 28 - 48$) unter den Bedingungen der wahrgenommenen Kontrollierbarkeit der Störgeräusche bzw. des Lärms geringer waren als unter der Bedingung, dass diese Geräusche nicht kontrollierbar waren bzw. unvorhersehbar auftraten. Kontrollierbarkeit wurde dabei in drei Untersuchungen (Original: $N = 48$, Replikation 1: $N = 28$, Replikation 2: $N = 40$) mittels des periodischen oder nicht-periodischen Auftretens der „noise bursts“, in einer Untersuchung ($N = 42$) als Zusammenhang zwischen Auftreten eines Lichtsignals und dem nachfolgenden Geräusch und in zwei Untersuchungen (Original: $N = 18$, Replikation: $N = 28$) als Möglichkeit während der Geräuscharbietung einen Button zu drücken und dadurch den Lärm bzw. das wiederholte Auftreten des Geräusches zu beenden, operationalisiert. Die beobachtbaren Effekte auf die psychophysiologischen Reaktionen der UntersuchungsteilnehmerInnen gehen in dieselbe Richtung wie die Ergebnisse früherer Untersuchungen in denen Stromschläge als Stimuli bzw. Stressoren eingesetzt wurden (vgl. Glass & Singer, 1972).

Neben der Messung der psychophysiologischen Reaktionen der UntersuchungsteilnehmerInnen wurden von Glass und Singer (1972) verschiedene Leistungsmaße für die Erfüllung einfacher und komplexer kognitiver Aufgaben sowie Aufgaben, die Rückschlüsse auf die Frustrationstoleranz der UntersuchungsteilnehmerInnen zulassen, eingesetzt. Die Ergebnisse während der Geräuscharbietung sprechen dafür, dass die erlebte Kontrollierbarkeit von Lärm oder störenden Geräuschen hinsichtlich der Leistung bei der Durchführung von komplexen Aufgaben bzw. bei starker kognitiver Beanspruchung eine besondere Bedeutung einnimmt. So zeigte sich beispielsweise in einer Laboruntersuchung mit 23 UntersuchungsteilnehmerInnen, dass unkontrollierbarer und/oder unvorhersehbarer Lärm („noise bursts“ – weißes Rauschen, 80 dB(A)) negative

Auswirkungen auf die Leistung der UntersuchungsteilnehmerInnen hinsichtlich komplexer kognitiver Aufgaben (Merken und Wiederholen von Zahlen als Nebenaufgabe) hatte. Bei der Durchführung einfacher Aufgaben und damit verbundener schwächerer kognitiver Beanspruchung zeigte sich dieser Effekt in dieser und anderen Untersuchungen der beiden Autoren nicht. Die bisher dargestellten Ergebnisse, die sich auf die Auswirkungen „während der Geräuscharbeitung“ beziehen, sprechen nach Glass und Singer (1972) auch dafür, dass Lärm durchaus als Stressor zu sehen ist, der Auswirkungen auf das Verhalten bzw. die Leistung hat. Dabei wird von ihnen die Wichtigkeit der kognitiven Komponente betont, die den Effekt von Lärm auf das Verhalten beeinflusst.

Die wahrgenommene Kontrollierbarkeit hat aber, wie bereits zuvor erwähnt, nicht nur direkte Auswirkungen auf die Situation in der der Lärm auftritt, sondern zeigt sich auch in der Phase danach, in der kein Lärm mehr auftritt („aftereffects“, „postnoise behavior“, gemessen zwischen 10 und 40 Minuten nach der Präsentation des letzten Geräusches). So zeigten sich in drei bereits zuvor, hinsichtlich ihrer psychophysiologischen Ergebnisse während der eigentlichen Geräuscharbeitung beschriebenen Laboruntersuchungen (Original, Replikation 1, Replikation 2) größere Beeinträchtigungen (Frustrationstoleranz – lösbare und unlösbare Puzzles, Leistungstest - Korrekturlesen eines Textes) der UntersuchungsteilnehmerInnen ($N = 48, 28, 40$) in der Phase nach der Geräuscharbeitung, wenn das Auftreten der Geräusche (Original: 23 „noise bursts“, Impulsgeräusche, 108 oder 56 dB(A); Replikation 1: 24 „noise bursts“, 108 dB(A); Replikation 2: 25 „noise bursts“, 108 dB(A)) nicht vorhersehbar bzw. unberechenbar war als wenn dieses vorhersehbar bzw. berechenbar war. Sowohl im Test zur Frustrationstoleranz als auch im Leistungstest zeigte sich ein signifikanter Einfluss der Nicht-Kontrollierbarkeit bzw. Unvorhersehbarkeit auf die UntersuchungsteilnehmerInnen in einer geringeren Frustrationstoleranz und schlechteren Leistungen als unter den Bedingungen mit vorhersehbaren periodisch auftretenden Geräuschen und der Kontrollbedingung ohne Geräusche. Ähnliche Ergebnisse konnten auch in Untersuchungen, in denen Kontrollierbarkeit durch die Korrelation des Auftretens des Geräusches mit einem Lichtsignal ($N = 42$) und mithilfe der Möglichkeit, die dargebotenen Geräusche durch das Drücken eines Buttons zu beenden, operationalisiert wurden (Original: $N = 18$, Replikation: $N = 28$), aufgezeigt werden.

Zusammenfassend kann für Nacheffekte („aftereffects“) von Lärm bzw. Geräuschen gesagt werden, dass diese, anders als dies bei direkten Effekten (während der Geräuscharbeitung) auf die Leistung der UntersuchungsteilnehmerInnen der Fall war, auch bereits bei relativ einfach zu lösenden Aufgaben sichtbar werden. Auch führt nicht kontrollierbarer Lärm bzw. führen unvorhersehbare Geräusche zu ungünstigeren Effekten im Verhalten der UntersuchungsteilnehmerInnen als dies der Fall war, wenn sie vorhersehbarem Lärm oder Geräuschen ausgesetzt waren. Nach Glass und Singer (1972) spielt der psychologische Faktor der Kontrollierbarkeit für das Auftreten von Nachwirkungen oder Folgeerscheinungen des Lärms („aftereffects“) eine entscheidende Rolle. Das Gefühl den Lärm kontrollieren zu können, vermindert das persönliche Gefühl der Hilflosigkeit und hat dadurch Einfluss auf das Ausmaß der Stressreaktion des Individuums. Dies zeigt sich sowohl dann, wenn Kontrolle tatsächlich möglich ist, als auch, wenn die Möglichkeit der Kontrollierbarkeit „nur“ wahrgenommen wird.

Psychophysiologische Messungen während der Phase nach der Geräuscharbietung waren nicht Teil der Untersuchungsdesigns der Untersuchungen von Glass und Singer (1972), weshalb dazu keine Ergebnisse dargestellt werden können.

In der Originaluntersuchung zum periodisch vs. nicht-periodischen Auftreten der „noise-bursts“ wurde des Weiteren die Geräuschintensität mit einbezogen (108 oder 56 dB(A)). Allgemein stellten Glass und Singer (1972) einen stärkeren Einfluss der Kontrollierbarkeit des Auftretens der Geräusche auf die Leistung der UntersuchungsteilnehmerInnen fest als dieser durch die Intensität der Geräusche hervorgerufen wurde. Einzig die subjektive Bewertung der Belästigung durch die Geräusche („annoyance level“) korrelierte in dieser Untersuchung stärker mit der Geräuschintensität als mit ihrer Kontrollierbarkeit, was aber nach Glass und Singer (1972) wahrscheinlich dadurch beeinflusst sein könnte, dass die UntersuchungsteilnehmerInnen wussten, dass es in der Untersuchung um den Einfluss von Lärm oder Geräuschen auf die Leistung ging. In der Originaluntersuchung, in der Kontrollierbarkeit durch die Möglichkeit des Drückens des Buttons operationalisiert war, wurden die „noise bursts“ von UntersuchungsteilnehmerInnen der Gruppe mit wahrgenommener Kontrolle als signifikant weniger lästig bewertet als von jenen UntersuchungsteilnehmerInnen der Versuchsgruppe „keine wahrgenommene Kontrolle“.

1.7.1.2 Einfluss individueller Geräuschempfindlichkeit

In der Emotionsforschung ist man sich seit langem darüber einig, dass emotionale Reaktionen mithilfe von Stimuli, die die verschiedenen Sinnesmodalitäten ansprechen, hervorgerufen werden können (Bradley & Lang, 2000; Gomez & Danuser, 2004). Auch in der Lärmforschung ist man sich durchaus bewusst, dass Lärm bzw. Geräusche ähnliche psychophysiologische Reaktionen hervorrufen, wie dies die Emotionsforschung berichtet. Griefahn und di Nisi (1992) erklären sich diesen Zusammenhang folgendermaßen: „Therefore, if a person feels annoyed by a noise, an indirect response, mediated by emotions, grafts upon the reactions directly evoked by the noise.“ (ebd., S. 111). Viele Forscher gehen davon aus, dass individuelle Unterschiede in der Reaktion auf Geräusche und Lärm vorhanden sind (Job, 1996). Dies unterstützt auch die Hypothese, dass ein Zusammenhang zwischen der individuellen Geräuschempfindlichkeit einer Person mit der Ausprägung ihrer Reaktion auf Geräusche bzw. Lärm besteht. So bewerteten UntersuchungsteilnehmerInnen, die sich selbst als geräusch- und lärmempfindlich einstufen, in einer Untersuchung von Griefahn und di Nisi (1992) ihr Wohlbefinden während der Darbietung von insgesamt 16 Lärmquellen (pink noise, Verkehrslärm und Schüsse, jeweils mit einem Schalldruckpegel von 62, 68, 74 und 80 dB(A); $N = 150$), unabhängig vom Geräushtyp und vom Schalldruckpegel, als signifikant schlechter als UntersuchungsteilnehmerInnen, die sich als geräuschunempfindlich einstufen. Dies zeigte sich auch in den objektiven psychophysiologischen Reaktionen dieser beiden Gruppen: Sowohl die Werte der Herzfrequenz als auch die der peripheren Hautdurchblutung, gemessen an der Fingerspitze (Fingerpulsamplitude), waren über alle Geräuschkategorien hinweg für geräuschsensitive UntersuchungsteilnehmerInnen signifikant höher als für geräuschunempfindliche UntersuchungsteilnehmerInnen. Betrachtet man die vier

Geräuschgruppen, die sich aufgrund der unterschiedlichen Schalldruckpegel ergeben, getrennt voneinander, zeigt sich dieser Effekt jedoch für die Herzfrequenz einzig für Geräusche mit einer Lautstärke von 74 und 80 dB(A) und für die Fingerpulsamplitude einzig für Geräusche mit 80 dB(A). Die beiden Autoren interpretieren die Ergebnisse aufgrund der geringen Unterschiede in den psychophysiologischen Reaktionen geräuschempfindlicher und geräuschunempfindlicher Personen dahingehend, dass „(...) a general personal sensitivity is not a valid predictor for the extent of noise-induced acute or chronic alterations“ aber „(...) it cannot be ruled out that the risk for the sensitive people might rise beyond 74 dB(A).“ (Griefahn & di Nisi, 1992, S. 122). Ramirez, Alvarado und Santisteban (2004) konnten in einer Untersuchung mit 234 Jugendlichen im Alter von 15 bis 19 Jahren einen Zusammenhang zwischen dem Zustand („state“) und der Eigenschaft („trait“) „Ärger“ („anger“) und der individuellen Geräusch- oder Lärmempfindlichkeit dahingehend zeigen, dass eine höhere Geräuschempfindlichkeit mit einer höheren Ausprägung des Ärgers („state“ und „trait“) einherging. Dieser Zusammenhang war für ältere Jugendliche (17 – 19 Jahre alt) stärker als für jüngere Jugendliche zwischen 14 und 16 Jahren. Ramirez, Alvarado und Santisteban (2004) erklären sich diesen Umstand durch den möglichen höheren Reifegrad der älteren Jugendlichen. Sie geben zu bedenken, dass die älteren Jugendlichen wahrscheinlich schon eher wissen, was Lärm bedeutet und ihnen die Notwendigkeit der Vermeidung von Lärm bewusster ist. Für Mädchen zeigte sich dieser Zusammenhang in allen von den Autoren gemessenen Ärger-Dimensionen, für Jungen jedoch nur mit der Eigenschaft („trait“) „Ärger“ („anger“). Die Autoren geben als Erklärungsmöglichkeit für dieses Ergebnis evolutionäre Zusammenhänge an: Durch die Aufgabe der Frau auf ihre Kinder zu achten und ihre Nachkommen vor Schaden zu schützen, war es erforderlich, dass sie besonders sensibel auf Geräusche achtet, da diese mit möglichen Gefahren verbunden waren. Ramirez, Alvarado und Santisteban (2004) spekulieren, dass aufgrund dieser biologisch sinnvollen Gründe, Frauen auch auf Geräusche, die nicht mit Gefahr verbunden sind, stärker reagieren als Männer, da sie ihre biologisch bedingte Sensibilität quasi nicht „ausschalten können“, was sich im Ergebnis mit den gemessenen Ärger-Dimensionen widerspiegelt.

Job (1999) geht in seinem Review zu 65 Arbeiten, die sich mit Geräuschen, Lärm und Lärmempfindlichkeit auseinandersetzen, davon aus, dass Geräusch- oder Lärmempfindlichkeit („noise sensitivity“) abhängig von unterschiedlichen Faktoren wie der Stärke der generellen psychophysiologischen Reaktion eines Individuums, dem Hörvermögen, der allgemeinen Einstellung einer Person gegenüber Geräuschen und Lärm (unabhängig von der Lärmquelle), dem Grad der Überzeugung, dass Lärm eine schädliche Auswirkung hat, der individuellen Anfälligkeit auf andere Stressoren negativ zu reagieren sowie der Verfügbarkeit von Coping-Strategien und sozialer Unterstützung ist. Auf Unterschiede aufgrund des Geschlechts oder des Alters wurde bereits im Rahmen des vorangegangenen Kapitels eingegangen (siehe 1.6.1). Des Weiteren schlussfolgert Job (1999) aufgrund der von ihm zusammengefassten Arbeiten, dass mindestens zwei Faktoren der Geräusch- oder Lärmempfindlichkeit existieren: ein Sensitivitäts-Faktor 1, der sich auf lautere und weiter entfernte Geräusche bezieht und ein Sensitivitäts-Faktor 2, der sich auf leisere Geräusche bezieht. Wie der Zusammenhang zwischen diesen beiden Faktoren und einer allgemeinen Lärmempfindlichkeit sowie deren Auswirkung auf Reaktionen auf

Geräusche und Lärm sowie auf gesundheitliche Risiken genau aussehen könnte, bedarf nach Job (1999) noch weiterer Forschung.

Die von Ising und Kruppa (2001) gewählte schematische Darstellung extra-auraler Lärmwirkung (siehe Abbildung 5) fasst die bereits beschriebenen Auswirkungen von Geräuschen und Lärm (Schallparameter) zusammen und bezieht persönliche Parameter und zusätzliche Stressfaktoren sowie die Bewertung von Geräuschen mit ein.

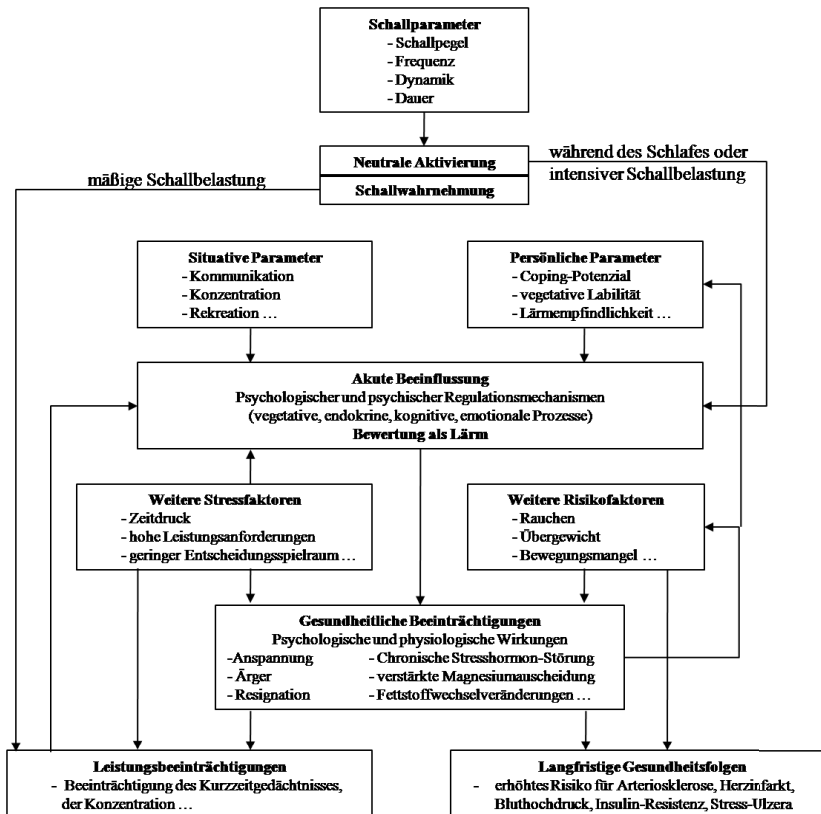


Abbildung 5: Schematische Darstellung extra-auraler Lärmwirkung (Ising & Kruppa, 2001, S. 187)

Die von Ising und Kruppa (2001) dargestellten persönlichen Parameter beinhalten neben Coping-Potenzial und vegetativer Labilität auch die Lärmempfindlichkeit einer Person. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, beeinflussen persönliche Parameter den Grad der akuten Beeinflussung des Organismus (psychologische und physiologische Reaktionsmechanismen: vegetative, endokrine, kognitive, emotionale Prozesse) sowie die Bewertung des Schallparameters bzw. Geräusches als Lärm. In der Darstellung von Ising und Kruppa (2001) wird auch ein direkter Pfad von „akuter Beeinflussung des Organismus und der Bewertung des Schallereignisses als Lärm“ auf gesundheitliche Beeinträchtigungen sichtbar. Diese gesundheitlichen Beeinträchtigungen wirken ihrerseits

wiederum auf sogenannte weitere Risikofaktoren und persönliche Parameter und somit auch auf die Lärmempfindlichkeit.

1.7.2 Affektive Bewertung von Geräuschen und psychophysiologische Parameter

Unter „Gefühl“ versteht Schmidt-Atzert (1993) den „Erlebniszustand eines Individuums“, wobei „das Erleben (...) nur dem Individuum selbst zugänglich“ ist und „ein Gefühl (...) also immer etwas Subjektives“ darstellt (ebd., S. 2). Aus diesem Grund betont er, dass Gefühle und somit die subjektiven Empfindungen eines Individuums nur mithilfe der eigenen Angaben des Individuums, das die Gefühle erlebt, erfasst werden können. Gefühle werden in der Emotionsforschung als hypothetische Konstrukte betrachtet. Häufig kommt es zu einer Gleichsetzung der Begriffe „Gefühl“ und „emotionales Erleben“. Das hypothetische Konstrukt der „Emotion“ ist weiter gefasst und schließt den Begriff „Gefühl“ mit ein (Schmidt-Atzert, 1993). Debus (1977, zitiert nach Schmidt-Atzert, 1993) setzt Emotionen mit der Gesamtheit der Reaktionen in Verbindung, die mit einem Gefühl auftreten. Psychophysiologische Reaktionen und Veränderungen eines Organismus sind also im engen Zusammenhang mit Emotionen und Gefühlen zu betrachten (siehe auch Lang, 1978; Lang, Bradley & Cuthbert, 1998: Review über 84 Arbeiten).

Häufig werden in der Emotionsforschung affektiv besetzte Bilder als Stimuli eingesetzt um Gefühle und Emotionen auszulösen. Die Bewertung affektiv besetzter Bilder lässt sich anhand der beiden subjektiven Dimensionen „pleasure“ (Gefallen, Wohlgefallen) und „arousal“ (Erregung) gut darstellen. Bradley und Lang (2000) konnten in einer ersten Untersuchung ($N = 116$), in der insgesamt 60 verschiedene Geräusche beurteilt wurden, zeigen, dass der Bewertungsrahmen („affective space“), der sich anhand der beiden Dimensionen für affektiv besetzte Bilder aufspannen lässt, auch für Geräusche anwendbar ist. Es zeigte sich ein ähnlicher Zusammenhang zwischen den beiden Dimensionen „pleasure“ und „arousal“ für Geräusche, wie für Bilder: UntersuchungsteilnehmerInnen tendieren dazu Geräusche, die sie als sehr angenehm oder sehr unangenehm bewerten („pleasure“), gleichzeitig hoch in der Erregungsdimension („arousal“) einzuordnen. In der Dimension „pleasure“ eher neutral bewertete Geräusche, werden gleichzeitig bezüglich ihres „arousals“ als niedriger erregend eingestuft. Korrelationen zeigen, dass der Zusammenhang zwischen den beiden Bewertungsdimensionen „pleasure“ und „arousal“ für unangenehmere Geräusche („unpleasant“) signifikant größer ist ($r = -.88$) als für angenehm bewertete Geräusche ($r = .32$).

Auf diese Ergebnisse aufbauend konzipierten Bradley und Lang (2000) eine zweite Untersuchung ($N = 67$), die Zusammenhänge zwischen der individuellen Einordnung eines Geräusches auf den beiden Dimensionen „pleasure“ und „arousal“ und psychophysiologischen Reaktionen der UntersuchungsteilnehmerInnen aufzeigen sollte. Als Untersuchungsmaterial dienten dieselben 60 Geräusche wie in der ersten Untersuchung. Diese Geräusche wurden aufgrund ihrer Bewertungen in der ersten Untersuchung in drei Kategorien geteilt: „pleasant“ (20 Geräusche), „unpleasant“ (20 Geräusche) und „neutral“ (20 Geräusche).