

Der (Nicht-)Klang von Elektrofahrzeugen.

BACHELORARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Arts (B.A.)

im

Bachelorstudium Musikologie

Eingereicht von:

Philipp Prückl

Angefertigt am:

Institut für Musikwissenschaft

Karl-Franzens Universität Graz

Betreuer:

Ao. Univ.-Prof. Priv.-Doz. Dr. Werner Jauk

Wien, Mai 2012

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus anderen Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Des Weiteren versichere ich, dass ich diese Arbeit weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Wien, am 01.05.2012

Philipp Prückl

Abstract

Daily life is full of sounds and noises. Sound provides information about its source and has a certain meaning. This paper deals with the so-called „silent cars“, electric vehicles which have virtually no sound. On the one hand a lower sound level of future cars is a benefit, on the other hand some problems - like the lack of security for blind persons - may arise. This paper describes the process of finding an adequate sound for electric vehicles. The first part explains the nature of sound, its origin, propagation and perception. Sound and its meaning and how we are able to decipher this meaning is explained in the second part. The last part deals with the design of sound of electric cars.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Schall & Schallwahrnehmung	2
3. Klang und seine Bedeutung	6
3.1. Ökologie von Gibson	6
3.2. Bedeutungshaltiger Schall	7
3.3. Bedeutung von Klang	8
4. Der Klang von Elektrofahrzeugen	10
4.1. Der Klang eines Autos	11
4.2. Fehlender Klang beim Elektrofahrzeug	13
4.2.1. Sicherheit	13
4.2.2. Interaktion, Emotion & Identität	15
4.3. Konkrete Vorschläge für Klänge	16
4.4. Der Prozess der Klangfindung beim Elektrofahrzeug	19
5. Schlussfolgerung und Diskussion	25
6. Literaturverzeichnis	27

1. Einleitung

Klänge und Geräusche¹ umgeben uns im Alltag ständig. Manche sind unvermeidbares Nebenprodukt einer Bewegung oder einer Verhaltensweise (man denke an Verkehrslärm, quietschende Türen oder eine Bohrmaschine, deren Lärm in eine Wohnungen dringt), andere Klänge werden absichtlich und bewusst erzeugt: etwa Musik, Sprache oder die akustischen Signale an Fußgängerampeln, um blinden Menschen ein gefahrloses Überqueren der Straße zu ermöglichen. Allen Klängen ist gemein, dass sie Information für den Empfänger beinhalten. Schall informiert uns über die Position und Art der Schallquelle (vgl. Jauk 2009a) und trägt eine Bedeutung in sich.

Werden Klänge und Geräusche bewusst geformt und zu einem gewissen Zweck eingesetzt, spricht man von „*Sound design*“ oder „*Akustik-Design*“. Im Film ist die Gestaltung von Klang zur emotionalen Verstärkung schon lange im Einsatz, aber auch in anderen industriellen Bereichen wird vermehrt mit klanglicher Gestaltung gearbeitet, um Produkte attraktiver zu machen. Die Fahrzeugindustrie arbeitet sehr stark mit der künstlichen Gestaltung von Klängen, um Fahrzeugen die passende klangliche „Hülle“ zu verpassen. Ein sportliches Image kann über das Motorengeräusch transportiert werden, der satte Klang einer zufallenden Autotür vermittelt Sicherheit. Neben der emotionalen Wirkung hat Klang bei Autos auch einen praktischen Nutzen: Das Motorengeräusch informiert Fußgänger über das Herannahen eines Autos, der Fahrer erlangt durch akustische Informationen im Innenraum Aufschluss über die Fahrgeschwindigkeit und den Zustand des Fahrzeugs.

Bei Elektrofahrzeugen² allerdings steht die Industrie vor dem Problem, dass mit dem Verbrennungsmotor die charakteristische Klangquelle eines Fahrzeugs wegfällt und ein solcher Klang nun erst künstlich kreiert werden muss.

¹ *Klang* bezeichnet im Folgenden immer ein Schallsignal mit harmonischen Teiltönen, das im normalen Sprachgebrauch als „Ton“ bezeichnet wird. Im Gegensatz dazu bezeichnet ein *Geräusch* eine Hörempfindung, die aus nichtperiodischen Schwingungen besteht.

² *Elektrofahrzeuge* sind alle Fahrzeuge, deren Antrieb teilweise oder ausschließlich mithilfe eines Elektromotors erfolgt. *Hybridfahrzeuge* sind ein Spezialfall der Elektrofahrzeuge, die bei niedrigem Ladestand des Elektromotors von einem Verbrennungsmotor angetrieben werden. Aufgrund des niedrigeren Geräuschpegels wird auch von „*Silent Cars*“ gesprochen.

Ausgehend von einem theoretischen Teil ist es Ziel dieser Arbeit, herauszufinden, welche Klänge für Elektrofahrzeuge möglich sind und nach welchen Kriterien deren Auswahl stattfindet. In weiterer Folge ist der grundsätzlich theoretische Zugang auch in der Lage, das kulturelle Phänomen Musik und ihren funktionalen Aspekt zu erklären.

2. Schall & Schallwahrnehmung

Im folgenden Kapitel wird das grundlegende Wesen von Schall sowie seine Entstehung, Ausbreitung und Wahrnehmung erläutert. Dies ist für ein weiteres Verständnis notwendig.

„Schall ist das Artefakt der Schwingung eines schwingungsfähigen Materials.“ (Jauk 2009a)

„Schall kann definiert werden als momentane und örtliche Änderung des Druckes und damit der Dichte der Materie.“ (Brüderlin 2003, S. 19).

Schall benötigt zur Ausbreitung ein Medium, das bekannteste ist Luft. Ändert sich nun durch Druckeinwirkung der Abstand der Moleküle in der Luft, schwingen einzelne Teilchen hin und her und „geben diese Bewegung an die benachbarten Teilchen weiter“ (Brüderlin 2003, S. 21), wodurch es zu einer Ausbreitung des Schalls kommt. Im freien Feld, ohne Begrenzungen, die zu Reflexionen führen können, breitet sich der Schall kugelförmig, d.h. in alle Richtungen gleich aus (vgl. Brüderlin 2003, S. 21). Die Schallgeschwindigkeit, in Abhängigkeit des Mediums und dessen Temperatur, beträgt in der Luft 344 m/s bei 20°C (vgl. Hellbrück & Ellermeier 2004, S. 62). Für den Menschen hörbar sind Schwingungen im Bereich von 20 bis 20.000 Hertz.

Die einfachste Schwingung, die eine solche Druckschwankung anregen kann, ist die Sinusschwingung, in ihrer hörbaren Form auch *Sinuston* oder *reiner Ton* genannt. Sie ist periodisch, d.h. ihre Wellenform bleibt über die Zeit unverändert gleich und wiederholt sich in regelmäßigen Abständen (vgl. Hellbrück & Ellermeier 2004, S. 54).

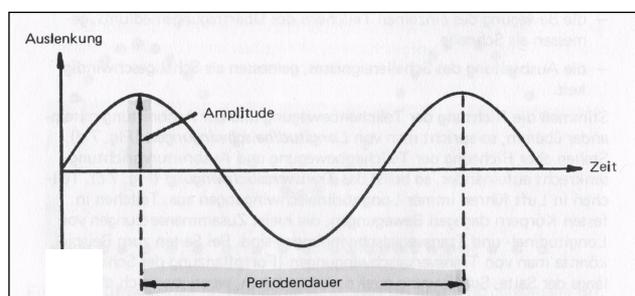


Abb. 1: Sinusschwingung.

In der Natur kommen Sinustöne nicht vor, sie sind nur mittels technischer Hilfsmittel herzustellen: „Vor dem Aufkommen von Stimmgabeln und Oszillatoren war es [...] zweifelhaft, ob Hörorgane jemals mit einer einzigen Frequenz konfrontiert wurden, bzw. reine Töne hörten.“ (Gibson 1982a, S. 119ff.). Wir empfinden diese Töne als unnatürlich und „dünn“ (Hellbrück & Ellermeier 2004, S. 54). Spricht man von Tönen in der Natur oder der Musik, sind damit immer Sinustöne mit sogenannten Obertönen gemeint, das sind weitere Sinustöne, die in einer ganzzahligen vielfachen Frequenz der Grundschwingung mitschwingen. Auf die Grundfrequenz haben diese Obertöne keine Auswirkungen, sie sind allerdings für die Klangfarbe eines Tones oder Instruments ausschlaggebend (vgl. Hellbrück & Ellermeier 2004, S. 55).

Sinustöne und Klänge weisen periodische Schwingungen auf, während Geräusche keine Periodik zeigen. Hellbrück & Ellermeier treffen hier die Unterscheidung zwischen belebter Natur (Tiere, Musik), die vorwiegend periodischen Schall erzeugt und unbelebter Natur (Wind, Wasser, Regen, Donner, Maschinen), in der meist aperiodischer Schall anzutreffen ist (vgl. 2004, S. 55).

Die Schallwahrnehmung läuft hauptsächlich im Gehör ab³. Das menschliche Gehör umfasst beide Ohren und die zugehörigen Muskeln und dient neben dem Identifizieren der „Richtung eines Schallereignisses [...] sowie der Natur des betreffenden Schalles“ auch der „Erfassung von Eigengeräuschen, insbesondere der eigenen lautlichen Äußerungen.“ (Gibson 1982a, S. 104f.). Das einzelne Ohr ist ein „untergeordnetes Organ, das dafür da ist, Vibrationen der Luft weiterzuleiten und in Nervenerregung umzusetzen“ (Gibson 1982a, S. 104f.)

Aus der Physiologie ergibt sich ein dreiteiliger Aufbau des Ohres, der hier in vereinfachter Weise dargestellt wird: das Außenohr und die Ohrmuschel fangen den Schall auf und leiten ihn an das Trommelfell weiter;

³ Schwingungen können auch mit anderen Körperteilen wahrgenommen werden, etwa mit den Zähnen. Vgl. auch tiefe Frequenzen, wo der „Bass gespürt wird“.

Im Mittelohr „setzt [...] der Hammer am Trommelfell an und überträgt dessen Bewegungen über den Amboß auf den Steigbügel [...].“ (Brüderlin 2003, S. 84f.). Durch dieses Hebelsystem werden „eintreffende Schwingungen mit großer Amplitude und kleinem Druck in solche mit kleiner Amplitude und großem Druck“ (Brüderlin 2003, S. 85) umgewandelt;

Im Innenohr befindet sich die sogenannte Schnecke. Sie ist ein sich spiralförmig verjüngender Gang, der mit Flüssigkeit gefüllt ist. Druckwellen, die über das ovale Fenster in die Schneckenflüssigkeit übertragen werden, „pflanzen sich [...] in der Schnecke bis zum Helikotrema fort und kehren von dort im unteren Teil des Schneckenkanales zum runden Fenster zurück.“ (Brüderlin 2003, S. 86). Die Basilarmembran in der Mitte der Schnecke beginnt abhängig von der Frequenz zu schwingen, was wiederum von den Haarzellen des Corti'schen Organs registriert und als bestimmter Tonhöhereindruck an das Gehirn weitergeleitet wird. Über die Lautstärke gibt die Menge der erregten Haarzellen Aufschluss, da diese „nur ganz oder gar nicht erregt werden können.“ (Brüderlin 2003, S. 87). Während Brüderlin die Aufgabe in der „Umwandlung von Schall in Hirnfunktionen“ (2003, S. 84) sieht, beginnt für Gibson die Auswertung der Information im Schall bereits im Ohr:

Sinne, die selbst tätig sind, vermitteln nicht einfach nur Signale oder Nachrichten, die in den Nervenfasern zum Gehirn aufsteigen; im Gegenteil, sie sind so etwas wie Fangarme oder Vorfühler. [...] Die Wahrnehmungssysteme [...] muss man als Einrichtungen verstehen, die ständig selbst auf der Suche nach Information über die Umgebung sind [...] (1982a, S. 22f.).

Da aufgrund der Anordnung links und rechts am Kopf „unsere beiden Ohren [...] von derselben Schallquelle verschiedene Schalleindrücke aufnehmen“ (Brüderlin 2003, S. 88), sind wir in der Lage, die ungefähre Richtung und Entfernung einer Schallquelle zu bestimmen.

Das von der Schallquelle abgewandte Ohr nimmt den Schall später wahr als das ihm zugewandte, woraus sich eine Zeitdifferenz ergibt, die vom Ohr mit sehr großer Genauigkeit zur Richtungsordnung verwendet wird. Gibson beschreibt hier folgendes Experiment: „Identische Klicks, die den beiden Ohren

um nur wenige Tausendstel Sekunden zeitlich verschoben geboten werden, erwecken den Eindruck, entweder rechts oder links im Kopfe zu liegen, je nachdem, welcher Klick in welcher Hörmuschel früher erklingt.“ (1982a, S. 117). Außerdem bilde die Form des Kopfes „besonders für mittlere und hohe Frequenzen einen Schallschatten, so dass für das der Schallquelle abgewandte Ohr die höheren Frequenzen gedämpft erscheinen.“ (Brüderlin 2003, S. 88). Es ergibt sich eine Intensitätsdifferenz. Für Gibson stellen die Zeit- und Intensitätsdifferenz nicht jeweils zwei verschiedene Empfindungen dar, wenn beide Ohren gemeinsam als ein Wahrnehmungssystem betrachtet werden, sondern viel mehr „einen einzigen relationalen Reiz für dieses Gesamtsystem“ (1982a, S. 112). Auch die beiden Variablen Zeit- und Intensitätsdifferenz könne man als eine „einzige Größe, nämlich als Betrag der Reizasymmetrie oder eines Reizungleichgewichts [...]“ (1982a, S.112f.) betrachten.

„Außerdem war bisher noch kein Beobachter fähig, innerhalb einer statisch-experimentellen Schallsituation irgendeinen Empfindungsunterschied zwischen den beiden Ohren festzustellen. Binaurale Differenzen werden als solche nicht wahrgenommen. Was wahrgenommen wird, ist einfach nur die Richtung, aus der der Schall kommt.“ (1982b, S. 115).

Schall liefert auch Information über den Raum: „Kurze Verzögerungen (early reflections) und hochfrequente Klanganteile vermitteln kleine Räume und Nähe der Schallquelle, hohe Verzögerungen und dumpfer Klang vermitteln große Räume und große Entfernung der Schallquelle.“ (Jauk 2009a).

Für die Entfernungsortung sind vor allem die Lautstärke und das Verhältnis an direkten und reflektierten Schall ausschlaggebend. Für die Höhenortung einer Schallquelle, die nicht so gut wie die Richtungsortung funktioniert, wird laut Brüderlin wieder der Schatteneffekt des Kopfes und der Ohrmuscheln verwendet, so dass eine Betonung verschiedener Frequenzbereiche zu verschiedenen Richtungsinterpretationen führt. Eine Betonung des Bereichs um 8 kHz etwa führe zum Eindruck, dass die Klangquelle oben ist, eine Betonung um 1000 Hz wirkt, als ob die Klangquelle hinter dem Kopf ist (vgl. 2003, S. 89).

Auf die Orientierungsbewegungen des Kopfes, die für Gibson ebenfalls entscheidend zur Lokalisationen einer Schallquelle dienen (vgl. 1982a, S. 115, nach Wallach 1940), wird hier nicht weiter eingegangen.

3. Klang und seine Bedeutung

Dieser Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Bedeutung von Klang und wie wir in der Lage sind, diese Bedeutung zu entschlüsseln.

3.1. Ökologie von Gibson

Da in diesem Text immer wieder auf das Wahrnehmungsmodell des amerikanischen Psychologen James J. Gibson verwiesen wird, erscheint eine (wenn auch verkürzte) Einführung in sein Konzept sinnvoll. Es handelt sich dabei um einen Zugang zur Wahrnehmung auf der Ebene der Umwelt (*ökologisch*) in Abgrenzung zum verbreiteten Zugang auf der Ebene der Physik (vgl. 1982b, S. 2). Gibson versteht die Sinne nicht als Eingänge für Empfindungen, sondern als Systeme für die Wahrnehmung, die „auch ohne Hilfe von Denkprozessen Informationen über Objekte der äußeren Welt erlangen können“ (1982a, S. 18). Dem geläufigen Modell der Wahrnehmung stellt Gibson ein völlig neues Konzept gegenüber: „Die alte Idee, dass Empfindungen am Sinneseingang erst durch geistige Verarbeitung in Wahrnehmungen verwandelt werden, wird strikt zurückgewiesen.“ (1982b, S. 2).

Die fünf Wahrnehmungssysteme seien keine passiven Sinneswerkzeuge, vielmehr spricht er von ihnen als „Aufmerker für alles, was in [...] wechselnden Reizsituationen konstant bleibt.“ (1982a, S. 20): Bewegt sich ein Lebewesen, ändern sich die einfallenden Reizcharakteristika wie Schall- oder Lichtintensität in kurzer Zeit in teilweise extremer Weise. Die Frage ist nun, wie trotz dieser ständig sich ändernden Eindrücke ein Beobachter zu einer stabilen und konstanten Wahrnehmung kommt. Laut Gibson gibt es offensichtlich „Parameter einer höheren Ordnung [...], wie z.B. Intensitätsverhältnisse und Reizproportionen, die sich nicht ändern. [...] In ihnen liegt offenbar die

wesentliche Information über die jeweils bleibenden Eigenheiten eines Lebensraumes beschlossen.“ (1982a, S. 20). Er nennt diese Parameter Invariante und die Wahrnehmungssysteme Aufmerker, die solche Invarianten explorieren.

In der Extraktionstheorie der Information (vgl. 1982b, S. 268f.) spricht er vom Wahrnehmen als ein „Registrieren ganz bestimmter Dimensionen von Invarianz im Reizfluss [...]“ und nicht bloß der Verarbeitung sensorischer Sinneseingänge.

3.2. Bedeutungshaltiger Schall

Sinustöne, die wie erwähnt nur mittels technischer Mittel zu erzeugen sind und in der Natur nicht vorkommen, verfügen über eine festgelegte Frequenz, eine festgelegte Amplitude und eine festgelegte Dauer. Solch ein Ton aber hat keinerlei Bedeutung, er ist eine „sinnleere Empfindung“ (Gibson 1982a, S. 118). Sogenannter bedeutungshaltiger oder sinnvoller Schall jedoch ist ungleich komplizierter aufgebaut:

„[...] Die Dauer kann variieren, je nach der Art der Abruptheit des Startes oder der Beendigung einer Schalldarbietung; oder in der Art der Wiederholungsfolgen, z.B. regelmäßig, rhythmisch oder nach anderen subtilen Strukturen von Zeitfolgen. Die Tonhöhe variiert in der Klangfarbe oder Tonqualität, in der Verwandtschaft zu Vokallauten, zu Geräuschen bzw. verschiedensten spezifischen Geräuschqualitäten - und alles dies mag sich außerdem noch in der Zeit ändern. Auch die Lautstärke kann in komplexer Weise zu- oder abnehmen, dazu in verschiedenen Geschwindigkeiten oder Beschleunigungen, ja sogar in verschiedenen Arten der Änderung solcher Lautstärkeänderungen.“ (Gibson 1982a, S. 118).

Trotzdem verarbeitet das Gehör solche Schallgebilde außerordentlich schnell und eindeutig. Gibson erwähnt als Beispiel für diese Schallgebilde etwa sprachliche Laute. Diese Gebilde seien als Schallspektren zu betrachten, in denen sich Frequenzen überlagern und miteinander in bestimmten Verhältnissen in Beziehung stehen. Ähnlich wie bei einem Akkord könne man

nun dieses Spektrum transponieren, ohne dass sich die Information, die in dem Gebilde liegt, ändert:

„Man kann die Tonart verändern, und trotzdem klingt der Akkord gleich. In ähnlicher Weise bleiben die Vokalqualitäten erhalten, gleichgültig, ob ‚dieselben‘ Vokale von einer Männer oder Frauenstimme ausgesprochen werden. Die Information, die ein solches Schallspektrum liefert, liegt somit in den Frequenzverhältnissen, nicht in den Frequenzen selbst.“ (1982a, S. 119).

Das Gehör muss nun nicht jede Frequenz einzeln analysieren, sondern kann Zeit sparen, indem es die Frequenzverhältnisse nutzt, um Schallgebilde zu unterscheiden oder wiederzuerkennen.

3.3. Bedeutung von Klang

„Indem ein gehörter Klang immer auf seine Klangquelle und diese auf die dahinterliegende Kraft verweist, enthält Klang eine elementare symbolische Qualität, auf der jede weitere kulturelle Logik aufbaut.“
(Jauk 2009, S. 232, zitiert nach Sheperd 1992).

Bewusste funktionale Gestaltung von Klängen erfordert Wissen darüber, wie überhaupt Klänge eine Bedeutung erlangen konnten. In der Natur und der Menschheitsgeschichte war Klang zuerst eine Begleiterscheinung einer Handlung oder eines Zustandes. Charles Darwin (1872) spricht von „Affektvokalisationen als Nebenprodukte funktionaler Verhaltensweisen bei der Anpassung an Umweltereignisse [...]“ (Scherer 1982, S. 15). Als Beispiele solcher Affektvokalisationen nennt er „das tiefe Einatmen bei Überraschung (um sich auf eine längere Anstrengung vorzubereiten) oder das Ausstoßen von Luft aus Mund und Nase bei Verachtung oder Abscheu (um unangenehme Gegenstände oder Gerüche loszuwerden).“ (1982, S. 15).

Knepler (1977, nach Tembrock 1971, S. 153f.) führt das Beispiel des Spechts an, der bei der Nahrungssuche gegen den Baum hämmert und so Geräusche erzeugt, die „weitestgehend durch die Funktion der Nahrungssuche und die

damit verknüpften Umweltbedingungen bestimmt“ (S. 75) sind. Beim Bauen einer Bruthöhle ergeben sich durch die Umweltbedingungen wieder dieselben Geräusche, allerdings „enthält sein Hämmern gleichzeitig ‚für einen Fortpflanzungspartner latente Information‘.“ (S. 76). Beobachtungen haben gezeigt, dass der Specht bei der Absteckung seines Reviers gegenüber Artgenossen wiederum seinen Schnabel verwendet, allerdings unterschiedlich zum herkömmlichen Gebrauch: er hämmert nicht auf einen beliebigen Baum ein, sondern sucht sich ein besonders „resonanzfähiges Medium“ (S. 76), das die Geräusche gut verstärkt. Außerdem hämmert er viel regelmäßiger und schneller als bei der Nahrungssuche oder beim Höhlenbau. Die Geräusche, die vorher unweigerlich als Nebenprodukt entstanden, werden jetzt vom Specht als Bedeutungsträger verwendet: „Er hat [...] gelernt, aus einem Anzeichen ein Zeichen zu machen.“ (S. 76). Umberto Eco (1977) spricht von einem physischen Sachverhalt, der dadurch zum Zeichen wird, dass er für jemanden - den Interpreten - für etwas anderes - das Bezeichnete - steht (vgl. S. 28f.).

Klänge bieten Lebewesen eine Möglichkeit, sich anderen gegenüber mitzuteilen: „Informationsaustausch über innere Zustände ist eine Lebensbedingung für alle Lebewesen.“ (1977, S. 75).

Der keuchende Atem eines Lebewesens kann als Anzeichen seiner inneren Vorgänge verstanden werden (vgl. 1977, S. 75) und übt eine Wirkung auf Artgenossen aus (als Zeichen): „Hohe Erregtheit geht mit hoher Lautstärke und hochfrequenten sowie obertonreichen Klängen einher - diese wirken wiederum erregend.“ (Jauk 2009a). Klang ist also ein Artefakt der emotionalen Erregtheit eines Individuums und gleichzeitig in der Lage, andere in der selben Art und Weise zu erregen. Hier sei noch der Begriff der akustischen Einstimmung von Knepler erwähnt, als „das Hervorbringen (Produzieren) akustischer Gebilde, die auf die Einstimmung anderer Lebewesen gerichtet sind [...]“ (1977, S. 71).

Ein weiteres Beispiel, wie die Anpassung an die Umwelt die Klanggestaltung beeinflusst, stellen Alarm- und Warnklänge dar: Um eine Übertragung über weite Distanzen zu gewährleisten, sollten etwa „Alarmrufe laut, relativ lang anhaltend und hoch sein“ (Scherer 1982, S. 16, nach Darwin 1872, S. 92). Hier entsteht offensichtlich aus einer Notwendigkeit (ein Alarmruf muss unbedingt für möglichst viele Artgenossen gut hörbar sein) ein Prototyp für alle Klänge, die

die Information „Achtung, Gefahr!“ transportieren sollen. Wie im Kapitel 2 „Schall & Schallwahrnehmung“ erwähnt, ist es bei hohen Frequenzen aufgrund der Wellenlängen wesentlich einfacher, die Richtung der Schallquelle zu beurteilen als bei tiefen Frequenzen. Dieser Umstand erklärt wahrscheinlich, warum Alarm- und Warnklänge meist aus hochfrequenten Tönen bestehen.

Eine weitere Kohärenz zwischen Frequenz und innerem Zustand stellten Rowell & Hinde (1962) fest: Sie fertigten Sonagramme von Lauten, die Rhesus-Affen in Auseinandersetzungen zwischen Artgenossen ausstießen, an. Dabei überwogen bei ranghohen angriffsbereiten Tieren die tiefen Frequenzen um 1 kHz⁴, beim defensiven Tier zeigte sich ein breites Frequenzspektrum mit der Tendenz zu Wiederholung. Beim unterlegenen Tier überwogen die hohen Frequenzen um 4 kHz, bei völliger Unterlegenheit und Erschöpfung war das Frequenzspektrum extrem eng und lag zwischen 5 und 6 kHz (vgl. Scherer 1982, S. 40).

4. Der Klang von Elektrofahrzeugen

Dieser Teil der Arbeit beschäftigt sich mit dem Klang - „Sound“ - von Elektrofahrzeugen, hier soll auch die praktische Umsetzung der bis jetzt erläuterten theoretischen Erkenntnisse gezeigt werden. Kapitel 4.1 beschreibt die Klänge, die bei einem Fahrzeug auftreten und vergleicht die Unterschiede dieser zwischen Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Das Kapitel 4.2. behandelt die Auswirkungen, die der leisere Geräuschpegel der Elektrofahrzeuge auf die Sicherheit von Fahrer und andere Verkehrsteilnehmer hat. Des Weiteren werden Veränderungen des Fahrers in der Interaktion mit dem Fahrzeug und im emotionalen Empfinden untersucht. Konkrete Vorschläge von Forschern für Außen- und Innenklänge, die bei einigen Modellen schon zur Verwendung kommen, werden im Kapitel 4.3 vorgestellt. An drei Studien (2001, 2008 & 2009) wird im Kapitel 4.4 exemplarisch dargestellt, wie eine mögliche klangliche Gestaltung eines Elektrofahrzeugs ablaufen könnte.

⁴ 1 kHz = 1000 Hz.

4.1. Der Klang eines Autos

Auf den ersten Blick unterscheidet sich ein elektrisch betriebenes Fahrzeug kaum von einem herkömmlichen mit Verbrennungsmotor. Die typisch aerodynamische Karosserie, die 4 Räder, der Innenraum, kurz: das gesamte Fahrzeug bleibt dasselbe, nur die Antriebsart ändert sich, der Verbrennungsmotor wird durch einen elektrischen ersetzt. Wie bereits erwähnt ändert sich am Aussehen des Fahrzeugs dadurch nicht das geringste, am Klang allerdings sehr wohl.

Das Geräusch des laufenden Verbrennungsmotors, „[...] comprised of airborne noises such as intake noise, exhaust noise, and combustion noise, and the solid propagation noise from engine mounting“⁵ (Siwiak & James 2009, S. 1, zitiert nach Terazawa & Kozawa 2000), hat am charakteristischen Klang eines Fahrzeugs den größten Anteil, da die Lautstärke die (meisten) anderen akustischen Komponenten übertönt. Dies gilt zumindest beim Start-Vorgang und niedrigen Geschwindigkeiten bis ca. 50 km/h (vgl. Bodden & Belschner 2011, S. 70), wie sie im Orts- und Stadtbereich, den Plätzen, an denen Fußgänger und Fahrzeuge besonders intensiv aufeinander treffen, ohnehin selten überschritten werden.

Zu den Komponenten, aus denen sich das akustische Klangbild eines Fahrzeugs zusammensetzt, gehören neben dem Motor noch die Abrollgeräusche der Reifen und Windgeräusche, die aber erst bei höheren Geschwindigkeiten entscheidend zum Klangbild beitragen - und hier auch nicht in dieser charakteristischen Weise wie der Verbrennungsmotor, der einen Sportwagen nur mit Hilfe seines Klangs von einem Familienwagen unterscheiden kann.

Wird aber nun der Verbrennungsmotor durch einen elektrischen Antrieb ersetzt, geht damit gleichzeitig das klangbestimmende Element des Fahrzeugs verloren. Die Literatur spricht hier sogar vom „acoustical heart [...] that has been taken out of the vehicle.“ (Bodden & Belschner 2011, S. 69). Eine seit rund 100 Jahren gewachsene Verbindung zwischen Quelle und Klang, zwischen Auto

⁵ Übersetzung: Das Geräusch des laufenden Verbrennungsmotors „setzt sich zusammen aus dem Ansaug-, dem Auspuff-, dem Verbrennungsgeräusch und dem der Motoraufhängung.“

und Motorgeräusch wird dadurch aufgelöst (vgl. Bodden & Belschner 2011, S. 69). Wie bereits erwähnt, kam Klang in der Natur zuerst nur als Begleiterscheinung einer Handlung oder eines Zustandes vor. Der typische Klang eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor ist eigentlich nur das Artefakt der Vorgänge im Motor. Im Laufe der Zeit wurde dieses Geräusch allerdings vom Nebenprodukt zum Bedeutungsträger (nämlich für ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor) und zum Charakteristikum eines Autos schlechthin.

Eine Vergleich der akustischen Komponenten bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und Elektrofahrzeugen findet sich in folgender Tabelle:

	Verbrennungsmotor	elektrischer Antrieb
Leerlauf	Motorgeräusch	Stille
Start-Vorgang	typisches Startgeräusch von Zündung und Motor	Stille
Fahrgeräusche außen <i>(abhängig von der Geschwindigkeit)</i>	Reifengeräusche, Windgeräusche, Motorgeräusch	leiser, Reifen- und Windgeräusche gleich, Motorgeräusch fehlt
Fahrgeräusche im Innenraum <i>(abhängig von der Geschwindigkeit)</i>	Reifengeräusche, Windgeräusche, Motorgeräusche	leiser, Reifen- und Windgeräusche werden durch fehlendes Motorgeräusch verstärkt wahrgenommen
weitere Geräusche außen	ev. Hupe	ev. Hupe
weitere Geräusche im Innenraum	Radio, Blinker, akustische Warnhinweise und Signale	Radio, Blinker, akustische Warnhinweise und Signale

Abb. 2. Klangliche Unterschiede zwischen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und solchen mit elektrischen Antrieb (nach Bodden & Belschner 2011, S. 69f).

4.2. Fehlender Klang beim Elektrofahrzeug

„[...] quiet is good; silence may not be.“
(Siwiak & James 2009, S. 2, zitiert nach Don Norman 2008)

Dieses Kapitel behandelt die negativen Auswirkungen, die der niedrigere Geräuschpegel („*fehlender Klang*“) der Elektrofahrzeuge auf die Umwelt hat.

4.2.1. Sicherheit

Was den (Fahrzeug-)lärmgeplagten Großstadtbewohner Hoffnung schöpfen lässt, führt bei Blindenverbänden aus aller Welt zu einem Aufschrei: der fast fehlende Eigenklang der Elektrofahrzeuge. Während beim Beschleunigen und beim Fahren mit höheren Geschwindigkeiten ein Geräuschpegel vergleichbar mit dem eines Autos mit Verbrennungsmotor entsteht (vgl. Wogalter et al. 2001, S. 1685), sind die Elektrofahrzeuge bei niedrigen Geschwindigkeiten bis ca. 50 km/h, wie bereits erwähnt, sehr leise (vgl. Bodden & Belschner 2011, S. 70). Ein niedrigerer Geräuschpegel der Fahrzeuge ist grundsätzlich wünschenswert, da die Lärmbelästigung durch den Verkehr weniger würde.

Ist der Geräuschpegel des Fahrzeugs aber zu niedrig, kann er seine Funktion nicht mehr erfüllen: „The function is to tell the pedestrians that there is a vehicle with a certain speed approaching from a certain direction.“ (Bodden & Belschner 2011, S. 71). Der Fußgänger erhält nicht mehr die - oder weniger der - für ihn wichtigen Informationen: „[...] quiet vehicles will make position, speed and direction cues less available to pedestrians.“ (Wogalter et al. 2001, S. 1685).

Da Elektrofahrzeuge im Stand vollkommen still sind, stellt das Losfahren auf einem Parkplatz laut Bodden & Belschner eine Gefahrensituation dar: „[...] an electric vehicle can start from nothing, without any hint given to pedestrians that this is about to take place.“ (2011, S. 72).

Die *National Federation for the Blind* veröffentlichte 2006 eine Resolution, die als einzige Lösung um die Unabhängigkeit von visuell beeinträchtigten Personen zu gewährleisten, einen vom Elektrofahrzeug kontinuierlich erzeugten

Klang sieht : „[...] the only solution to the quiet car emergency is a continuous sound emitted by the vehicle itself.“ (Nyeste & Wogalter 2008, zitiert nach Pierce 2006).

Bodden & Belschner erwähnen eine Studie der *National Society of the Blind*, die die amerikanische *National Highway Administration* im September 2009 veröffentlichte, in welcher verschiedene Unfall-Szenarios zwischen Fußgänger oder Radfahrer und Fahrzeugen auf den Unterschied zwischen Elektrofahrzeuge und solchen mit herkömmlichen Verbrennungsmotor hin untersucht wurden: in den Situationen, „[...] in which a vehicle is slowing or stopping, backing up, or entering or leaving a parking space [...]“ (2011, S. 72), waren Elektrofahrzeuge doppelt so oft wie herkömmliche Fahrzeuge verwickelt. Auch der Fahrer eines Fahrzeugs verwendet akustische Hinweise, um Informationen über sein Fahrzeug und den Bewegungszustand zu erlangen. Ähnlich wie der Sprechende, der seine lautlichen Äußerungen mit seinen Ohren kontrolliert (Gibson 1982a, S. 104f.), kontrolliert der Fahrer seine Handlungen stetig mittels akustischer Rückmeldung. Um sicher von einem Ort zum anderen zu gelangen, benötigt er eine große Menge an Informationen; der Geräuschpegel des Motors informiert den Fahrer über die Geschwindigkeit und die Drehzahl: „[...] an increase in loudness from their vehicle's [...] engine is an indication of greater speed [...], engine sounds are often used as cues to shift gears.“ (Nyeste & Wogalter 2008, S. 1747). Fällt nun aber, wie beim Elektrofahrzeug, das Motorgeräusch weg, geht dadurch auch Information für den Fahrer verloren, wie Wogalter et al. beschreiben. „Informationsaustausch über innere Zustände ist eine Lebensbedingung für alle Lebewesen“ (Knepler 1977, S. 75): Ohne Motorgeräusch aber erhält der Fahrer keine Informationen über die „inneren Zustände“ des Fahrzeugs. Beispielsweise wird die exakte Geschwindigkeitswahrnehmung durch fehlende Rückmeldung über Geräusche erschwert und die Geschwindigkeit häufig unterschätzt: „[...] under such reduced auditory conditions, drivers tend to underestimate vehicle speed across a wide range of speeds.“ (2001, S. 1685, zitiert nach Evans 1970). Auch das Gang-Schalten wird erschwert: „performance on complex driving tasks such as shifting gears deteriorates when auditory cues are blocked out.“ (2001, S. 1687, zitiert nach Nelson & Nilsson 1990).

4.2.2. Interaktion, Emotion & Identität

Neben der Sicherheit leidet auch die **Interaktion** zwischen Fahrer und Fahrzeug an fehlenden akustischen Informationen. Ein Phänomen, das auch Besitzer neuerer, relativ leiser Fahrzeuge ein Begriff ist: Das Fahrzeug wird gestartet, aber durch fehlendes akustisches Feedback über den Motor ist unklar, ob der Startvorgang erfolgreich war: „These vehicles can be so silent that the driver might be unaware the vehicle is running.“ (Siwiak & James 2009, S. 2). Wie bereits beschrieben, erhält der Fahrer aufgrund des fehlenden Motorgeräuschs keine Information über den „inneren Zustand“ des Fahrzeugs (vgl. Knepler 1977, S. 75).

Siwiak & James äußern auch Bedenken, dass Fahrer eines Elektrofahrzeugs vergessen könnten, das Fahrzeug abzustellen, da der Elektromotor im Stand nicht laufe und somit auch kein Geräusch erzeuge (2009, S. 1).

Im Innenraum des Fahrzeugs führt der Elektromotor zu einer veränderten Geräuschkulisse, die deutlich leiser ist und durch die fehlenden tiefen Frequenzen des Verbrennungsmotors andere Komponenten wie Reifen- und Windgeräusche verstärkt wahrnehmen lässt, was wiederum dem Komfort der Insassen abträglich ist und Konstrukteure vor Probleme stellt (vgl. Bodden & Scherer 2011, S. 76).

Für das **emotionale Erleben** beim Autofahren hat Klang ebenfalls eine entscheidende Bedeutung: der satte Klang der Autotür, der dem Besitzer Sicherheit signalisieren soll; Der aufheulende Motor eines Porsches, der die pure Kraft des Wagens demonstriert; aber auch die simple Freude an der Beschleunigung - alle diese Situationen wäre ohne Klang nicht in dieser emotionalen Form erlebbar: Klang ist in der Lage, emotional zu erregen. Hier sei noch einmal die *akustischen Einstimmung* erwähnt, „das Hervorbringen [...] akustischer Gebilde, die auf die Einstimmung anderer Lebewesen gerichtet sind;“ (1977, S. 71). Der Fahrer wird durch den Klang des Motors, der Autotür etc. auf das *eingestimmt*, was ihn erwartet.

Bei Motorsport-Übertragungen im Fernsehen werden unzählige Mikrofone verwendet, um die Faszination der Geschwindigkeit in die Wohnzimmer zu

bringen. Ausgehend von Wogalter et al., wonach Fahrer bei niedrigerem Geräuschpegel auch die Geschwindigkeit niedriger einschätzen (2001, S. 1685, nach Evans 1970), kann angenommen werden, dass eine tonlose Fernsehübertragung eines Motorsport-Rennens auch zu einer niedrigeren Einschätzung der Geschwindigkeit der Rennwagen führen.

Ohne Klang ist auch eine akustische Abgrenzung verschiedener Modelle untereinander nicht mehr möglich, die klangliche **Identität** geht verloren: „[...] they basically sound all the same, there is no differentiation with regard to the sound character. The electric vehicles have no acoustic identity up to today.“ (Bodden & Belschner 2011, S. 77).

Während hier das sogenannte *audio branding* oder *sonic branding*, also die klangliche Markenführung, die in der Werbung verwendet wird - „the aural equivalent of the graphic logo“ (Siwiak & James 2009, S. 2) - nicht in dieser Form beeinflusst wird, muss die klangliche Gestaltung am eigentlichen Produkt, dem Elektrofahrzeug, bei Null anfangen: „Sound Design more or less starts from scratch.“ (Bodden & Belschner 2011, S. 78).

Mögliche Lösungsansätze zu diesen Problemen werden in den beiden folgenden Kapiteln vorgestellt.

4.3. Konkrete Vorschläge für Klänge

Ausgehend von den in den vorigen Kapitel beschriebenen Beobachtungen mehrerer unabhängiger voneinander arbeitender Wissenschaftler erscheinen künstlich erzeugte Klänge notwendig, um den sicheren und angenehmen Einsatz von Elektrofahrzeugen im Alltag zu ermöglichen. Hier muss zwischen zwei Arten von Klängen unterschieden werden: solchen, die außen wirken, um andere Personen möglichst genau und leise über die Geschwindigkeit, die Richtung und den momentanen Ort des Fahrzeugs zu informieren; und jenen Klängen im Innenraum, die dem Fahrer Sicherheit bieten und ihm Interaktion mit dem Fahrzeug und emotionales Empfinden in möglichst gewohnter Weise ermöglichen. Seit je her war der Mensch es gewohnt, durch Klang über sein

Gegenüber - früher Tiere oder andere Menschen, heute kann dieses Gegenüber durchaus eine Maschine sein - Aufschluss zu erhalten: „Informationsaustausch über innere Zustände ist eine Lebensbedingung für alle Lebewesen.“ (Knepler 1977, S. 75). In diesem Kapitel werden Klänge, die bei einigen Modellen bereits zur Verwendung kommen, vorgestellt.

Bodden & Belschner führen als die erste von der Industrie in Betracht gezogene Möglichkeit, ein adäquates Außengeräusch zu kreieren, an, das typische Geräusch eines Verbrennungsmotors nachzubilden: „[...] there would be no need to newly adapt to it since it is well-known and everybody is used to it.“ (2011, S. 74f.). Das Geräusch eines Verbrennungsmotors ist das genuine Zeichen für ein Kraftfahrzeug und führt zu erhöhter Aufmerksamkeit von Passanten; analog zu Eco steht hier ein physischer Sachverhalt (lauter werdendes Motorgeräusch) für etwas (herannahendes Kraftfahrzeug) und wird dadurch zum Zeichen. Allerdings würde eine solche Nachbildung den technischen Fortschritt verschleiern, da der Elektromotor - „*clean*“ - den Verbrennungsmotor - „*dirty*“ - ersetzt, der Klang aber trotzdem „*dirty*“ bleibt (vgl. 2011, S. 74).

Die Verwendung der Hupe, um das Herannahen eines Fahrzeugs anzuzeigen, wird von ihnen ebenfalls als nicht durchführbar erachtet. Die Hupe ist zwar in jedem Fahrzeug bereits vorhanden, wodurch keine zusätzlicher Platz und Aufwand nötig sei (außerdem sind höhere Frequenzen hinsichtlich ihrer Richtung wesentlich leichter zu orten) allerdings könnte sie nur einzelne Töne produzieren, die eben wie „horn sounds“ (2011, S. 74), wie Hupen klingen würden. Eine adäquate klangliche Abstufung hinsichtlich der jeweiligen „Gefährlichkeit“ wäre nicht möglich. Weiters würde eine größere Anzahl an solchen Fahrzeugen in der Stadt der Lärmentwicklung durch den Verkehr nicht entgegenwirken, sondern sie verstärken: „[...] a cacophony of car horns honking all over the city day and night [...] would not exactly improve our city's soundscapes.“ (2011, S. 74).

Bodden & Belschner beschreiben zuletzt noch Klänge, die an Flugzeugturbinen erinnern und den modernen Charakter der Elektrofahrzeuge verdeutlichen sollen (vgl. 2011, S. 75). Hier sei noch einmal Jauk zitiert: „Indem ein gehörter Klang immer auf seine Klangquelle und diese auf die dahinterliegende Kraft verweist, enthält Klang eine elementare symbolische Qualität [...] (2009, S. 232, zitiert nach Sheperd 1992). Klang bietet die Möglichkeit, eine (gewünschte) Assoziation zu wecken. Der Klang von Flugzeugturbinen soll in diesem Fall an die Modernität und Eleganz von Flugzeugen erinnern.

Auch der Innenraum des Fahrzeugs muss akustisch neu gestaltet werden, wobei hier im Vordergrund steht, den Fahrer über den Zustand des Fahrzeugs zu informieren und ihm ein möglichst angenehmes Fahrerlebnis zu ermöglichen. Funktionale Klänge, die etwa Aufschluss geben darüber, ob das Licht eingeschaltet ist, der Ladestand niedrig ist, das Fahrzeug startbereit ist oder der Gurt noch nicht angelegt ist, unterscheiden sich im Grunde nicht von denen in herkömmlichen Fahrzeugen, allerdings könnte eine bewusste Gestaltung dieser Klänge den umweltbewussten Einsatz der „green technology“ (Bodden & Belschner 2011, S. 79) unterstreichen.

4.4. Der Prozess der Klangfindung beim Elektrofahrzeug

Am Beispiel dreier Studien soll hier gezeigt werden, wie in der Praxis bei der klanglichen Gestaltung der Außen- und Innengeräusche von Elektrofahrzeugen vorgegangen wird.

In der 2001 von Wogalter et al. veröffentlichten Studie wurden 380 Personen im Durchschnittsalter von 26 Jahren zu ihrer Meinung über Elektrofahrzeuge befragt. Neben demographischen Fragen und solchen zum Fahrverhalten wurden die Teilnehmer im Fragebogen zu Schluss gebeten, ihre Vorschläge für mögliche Klänge des Elektromotors zu nennen. Ca. 25 % der Teilnehmer beantworteten die Frage nicht, bei den übrigen 285 Teilnehmern verteilten sich die Antworten folgendermaßen:

Klang	Zahl der Antworten
gewöhnliches Motorengeräusch	109 (38,25 %)
Summen	109 (38,25 %)
kein Geräusch	31 (10,88 %)
Musik	14 (4,91 %)
Pfeifen	8 (2,80 %)
Biepen	5 (1,75 %)
Hupe	5 (1,75 %)
Klicken	2 (0,70 %)
Auspuff	2 (0,70 %)

Abb. 3. Die Klangkategorien und die Anzahl der Nennungen (nach Wogalter et al. 2001, S. 1687).

Ausgehend von dieser Studie bauten Nyeste & Wogalter eine aufwändigere Studie auf, die 2008 veröffentlicht wurde (vgl. dazu 2008, S. 1747-1750). 24 Personen mit einem Durchschnittsalter von 19,4 Jahren nahmen daran teil. Zu einem 10-Sekunden Video-Clip eines fahrenden Toyota Prius wurden jeweils 18 verschiedenen Audio-Clips abgespielt, die Probanden mussten auf einer Skala von 0 (gar nicht passend) - 4 (sehr passend) die Kohärenz bewerten. 6 verschiedene Klang-Kategorien (Motor, Hupe, Summen, Sirene, Pfeifen und Weißes Rauschen) wurden jeweils durch 3 unterschiedliche Samples vertreten, z.B. bei der Klang-Kategorie Motor: Dieselmotor, 1982' Z28 V8-Motor und VW 4-Zylinder-Motor. Derselbe Video-Clip wurde den Probanden in randomisierter Reihenfolge mit allen 18 Samples jeweils einmal vorgespielt. Bei der gleichzeitigen Wiedergabe von Video-Clip und Audio-Samples bewerteten die Probanden die 6 Klangkategorien - die 3 Samples wurden wieder zu einer Kategorie zusammengefügt - folgendermaßen:

Klangkategorie	Bewertung
gewöhnliches Motorengeräusch	2.00
Weißes Rauschen	1.58
Summen	1.50
Pfeifen	0.97
Hupen	0.64
Sirene	0.60

Abb. 4. Die Klangkategorien und ihre Bewertung nach Kohärenz auf einer Skala von 0 - 4 (nach Nyeste & Wogalter 2008, S. 1749).

In einem abschließendem Fragebogen wurde die 24 Probanden noch gebeten, die am meisten und am wenigsten bevorzugten Klänge für Elektrofahrzeuge zu nennen, jeweils aus der Sicht eines Fahrers und eines Fußgängers, d.h. jeder Proband hatte 4 Stimmen zu vergeben:

Klangkategorie	am meisten bevorzugt	am wenigsten bevorzugt
gewöhnliches Motorgeräusch	22	2
Weißes Rauschen	9	3
Summen	8	3
Pfeifen	3	4
Hupen	5	20
Sirene	1	16

Abb. 5. Die Klangkategorien und die Anzahl der Nennungen. Die beiden Tabellen - aus Sicht eines Fahrers, aus Sicht eines Fußgängers - wurden zusammengelegt (nach Nyeste & Wogalter 2008, S. 1749).

Beide Studien kommen zu ähnlichen Ergebnissen, wonach Motorgeräusche, Summen und weißes Rauschen für Laien als adäquate künstliche Klänge für Elektrofahrzeuge gelten, wobei alle drei Kategorien ähnlich oft bevorzugt wurden. Die zweite Studie (Nyeste & Wogalter 2008) verwendete einen realistischeren und komplexeren Aufbau als die erste (Wogalter et al. 2001), die nur mittels Fragebogen und Nennung von Klangkategorien durchgeführt wurde, wodurch allerdings eine deutlich größere Zahl an Probanden (n = 380) befragt werden konnte. Nyeste & Wogalter führen als mögliche Erklärung für die Ergebnisse an, dass die Klangkategorien *Motor*, *weißes Rauschen* und *Summen* seit ca. 100 Jahren (vgl. Bodden & Belschner 2011, S. 69) mit motorbetriebenen Fahrzeugen verbunden werden (vgl. 2008, S. 1750). Diese Geräusche sind Nebenprodukte der Vorgänge in einem Verbrennungsmotor und im Laufe der Zeit zu einem Zeichen für Fahrzeuge, die einen solchen Verbrennungsmotor verwenden, geworden (vgl. Kap. 3.3., nach Knepler 1977). Auch in den am wenigsten bevorzugten Klangkategorien finden sich Übereinstimmungen zwischen beiden Studien, Nyeste & Wogalter erklären diese durch die unangenehme Art dieser Klänge: „[...] they had characteristics

that tend to be annoying, such as discontinuity [...] (2008, S. 1750, zitiert nach Marshall et al. 2007).

Während sich beide genannten Studien mit dem Außenklang von Elektrofahrzeugen beschäftigten, veröffentlichten Siwiak & James 2009 die Zusammenfassung eines Projekts für General Motors, dessen Ziel die adäquate klangliche Gestaltung des Innenraums eines Elektrofahrzeug unter Beachtung aller relevanter Aspekte⁶ war. In einem ersten Schritt wurden vier mögliche Käufer-Typen herausgearbeitet:

Typ A - der „early adopter“ (S. 4), der das neueste Modell kauft, um seinen Status zu definieren: „Hey, look at me!“ (S. 4);

Typ B, auch ein „early adopter“, dem es aber weniger um den Status geht, als vielmehr darum, am neuesten Stand der Technik zu sein;

Typ C, eine umweltbewusste Person, die, wenn sie schon ein Fahrzeug braucht, möglichst umweltschonend fahren will;

Und Typ D, der ein einfaches Fahrzeug zu günstigem Preis erwerben will und klassische und bewährte Modelle bevorzugt.

Vier Klänge, die eine bestimmte Information vermitteln sollten, wurden ebenfalls definiert:

Ein „welcome sound“ (S. 4), der den Fahrer begrüßt, und ihn informiert, dass das Fahrzeug startbereit gemacht wird;

Ein Klang, der dem Fahrer signalisiert, dass das Fahrzeug jetzt fahrbereit ist und nach dem Loslassen des Startknopfes ertönt;

Ein Warngeräusch, das den Fahrer über einen Wechsel des Antriebsmodus informiert, wenn der Ladestand zu niedrig ist und das Fahrzeug in den Benzin-Betrieb wechselt;

Ein „goodbye sound“ (S. 4), der den Fahrer nach dem Abstellen des Fahrzeugs signalisiert, dass auch wirklich alles ordnungsgemäß ausgeschaltet ist.

Mit *Max/MSP* wurden synthetische Klänge erzeugt, dabei wurden die Tonhöhe und die Klangfarbe festgelegt. In *GarageBand* wurden die einzelnen Klangbausteine zusammengesetzt, um Melodien und Motive herzustellen. In einem letzten Schritt wurden diese Sequenzen in *Audacity* geschnitten und mit

⁶ vgl. Kapitel 4.3.2. und 4.4.

Phaser- und Hall-Effekten modifiziert, „to create non-conventional, ‚computer music‘ sounds.“ (Siwiak & James 2009, S. 5).

Die Parameter der einzelnen Klänge wurden im Vorfeld definiert, um passende Klänge zu kreieren, die möglichst gut die gewünschte Wirkung erzielen, angenehm für Fahrer und Umwelt sind und gleichzeitig das Markenimage unterstreichen:

Der innovative Charakter von Elektrofahrzeugen führte zur klanglichen Idee des Vorwärtsbewegens, das mittels Rhythmen und Beats dargestellt werden sollte. Der Tonvorrat sollte sich passend zum Logo „GM“ von General Motors aus der G-Dur-Tonleiter⁷ oder der quartverwandten C-Dur-Tonleiter schöpfen. Schnellere Tonfolgen wurden bevorzugt, um Effizienz und Vorwärtsbewegung abzubilden: „Fast melodies are indicative of something moving forward. [...] EVs are marketed as efficient and forward-moving, so faster melodies seemed more preferable and appropriate.“ (2009, S. 5.)

Weitere Festlegungen, die hinsichtlich der Klang-Parameter getroffen wurden, waren z.B. die Verwendung von Dur- statt Moll-Tonarten: „Major keys are equated with happy and cheerful emotions, whereas minor keys are associated with dark, sad, and depressing feelings.“ (2009, S. 5); aufwärtsbewegte Melodien für den *welcome sound*, „to convey a feeling of ‚booting up‘ (2009, S. 5) und abwärtsbewegte Melodien für *goodbye sounds*, um das Abschalten akustisch nachzubilden: „The downwards motion conveys more of a powering down, ‚going away‘, or a leaving feeling, [...]“ (2009, S. 5).

Während die meisten Klänge musikalischen Ursprungs waren, wurde für den Anstart-Vorgang („ignition“) ein herkömmlicher Verbrennungsmotor klanglich nachgebildet, um die Information, dass das Fahrzeug gestartet und fahrbereit ist, möglichst effizient zu transportieren⁸. Dieser Klang blieb bei allen vier Käufertypen gleich.

⁷ Die englische Kurzschreibweise für G-Dur ist „GM“ für „G-Major“.

⁸ Mit der Einführung des Automobils haben Fahrer und Passanten erlernt, dass sich ein stehendes Fahrzeug mit laufendem Verbrennungsmotor meist innerhalb kurzer Zeit in Bewegung setzt. Der Klang eines laufenden Verbrennungsmotors in einem stehenden Fahrzeug ist dadurch zum Zeichen einer zu erwartenden Bewegung eben jenes Fahrzeugs geworden (vgl. S. 9, nach Knepler 1977).

Die Evaluierung und Bewertung der Töne erfolgte laufend durch Mitarbeiter und Freiwillige, vor allem wurde versucht herauszufinden, ob die Klänge ihren jeweiligen Zweck erfüllen und zu welchem Käufer-Typ sie passen könnten. Am Ende blieben 14 Klänge übrig:

A	
Welcome	Electronic G2 with ramping amplitude over G1'ed Morse Code
Alert	Electronic G1 note, short, ending with a pop
Goodbye	Quick ramp up of pitched white noise ending with an electronic G1 pitch fading out
B	
Welcome	Electronic G2 with swirling EQ ending in a „pop“ over G1'ed Morse Code
Alert	Electronic „horn“ quick melody G1 followed by twice repeated octave C's (C3 C2)
Goodbye	Electronic synth melody G2 D2 E2 G1 with EQ swirl
C	
Welcome	Electronic reverbed synth melody G2 C3 E3 D3 G3 over a G1'ed Morse Code
Alert	Electronic synth quick melody C2 G2 repeated three times
Goodbye	Electronic reverbed swirled synth melody G3 C3 D3 G2
D	
Welcome	Piano arpeggiating up C2 G2 C3 D3 E3 over C2'ed Morse Code
Alert	Electronic „horn“ quick melody B1 A1 A1 B1 A1
Goodbye	Piano arpeggiating down C3 G2 F2 E2 C2

Abb. 6. Diese Tabelle beschreibt mangels Hörbeispiele die Klänge, die für die jeweiligen Käufertypen A, B, C oder D kreiert wurden. Für jedes Szenario („Welcome“ - ein Klang, der den Fahrer beim Einsteigen „begrüßt“, „Alert“ - der Klang, der den Fahrer über den Wechsel des Antriebsmodus informiert und „Goodbye“ - der Klang, der signalisiert, dass das Fahrzeug ordnungsgemäß abgestellt wurde. Das vierte Szenario „Ignition“ - der Anstartvorgang - wird hier nicht erwähnt, da der Klang ein simples Motorgeräusch nachbildet und für alle vier Käufertypen gleichbleibt.) wird hier der erzeugte Klang beschrieben. (nach Siwiak & James 2009, S. 1-7).

5. Schlussfolgerung und Diskussion

Die Ergebnisse der Literaturbetrachtung lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Es ist notwendig, Elektrofahrzeuge mit einem künstlichen (Außen-)Klang auszustatten. Zum Einen muss dies aus Sicherheitsgründen geschehen: Fußgänger - vor allem blinde Personen - werden durch den Klang über das Herannahen oder Losfahren eines Fahrzeugs informiert. Auch der Fahrer des Fahrzeugs benutzt den Klang im Innenraum, um sicher von einem Ort zum anderen zu gelangen: Das Motorengeräusch liefert Information über die Fahrgeschwindigkeit und die Drehzahl, was für den Schaltvorgang enorm wichtig ist.

Ein fehlendes Motorgeräusch führt zu weiteren Schwierigkeiten: Der Fahrer ist unsicher, ob das Fahrzeug bereits gestartet ist oder vergisst, es abzustellen. Die akustische Identität geht verloren, eine Abgrenzung verschiedener Modelle ist nicht mehr möglich. Für das emotionale Erleben ist Klang ebenfalls wichtig, ein aufheulender Motor vermittelt dem Fahrer Sportlichkeit des Fahrzeugs.

Die beiden Studien, die sich mit der klanglichen Gestaltung des Motorengeräuschs bei Elektrofahrzeugen beschäftigten, lieferten übereinstimmende Ergebnisse: 2001 führten Wogalter et al. eine Befragung mittels Fragebogen durch, die beiden am häufigsten genannten Antworten, wie ein Elektrofahrzeug klingen könnte, waren „herkömmliches Motorengeräusch“ (38,25 %) und „Summen“ (38,25 %). Nyeste & Wogalter kamen 2008 zu einem ähnlichen Ergebnis, als mögliche Klänge für einen Motor eines Elektrofahrzeugs wurden hier „herkömmliches Motorengeräusch“, „weißes Rauschen“ und „Summen“ genannt.

Auf den ersten Blick erscheint es logisch, einem Elektrofahrzeug den Klang eines herkömmlichen Fahrzeugs zu verpassen: Man erspart sich dadurch die langwierige Suche nach möglichen anderen Klängen, außerdem ist der Klang eines Verbrennungsmotors schon mit Bedeutung aufgeladen, das heißt, er wird von den Menschen „verstanden“.

Der Klang eines Verbrennungsmotors ist Artefakt der Vorgänge in einem solchen. Wird einem Elektromotor nun der Klang eines Verbrennungsmotors verliehen, stimmen Klang und Klangquelle nicht mehr überein. Elektrofahrzeuge

benötigen ein neues Motorengeräusch, das ihre Umweltfreundlichkeit und ihr fortschrittliches Image unterstreicht. Außerdem bietet die Kreation eines neuen Klanges die Chance, die Lärmverschmutzung durch den Verkehr einzudämmen und die gesamte Geräuschkulisse des Verkehrs angenehmer zu gestalten.

6. Literaturverzeichnis

Alt, N. & Jochum, S. (2003). Sound design under the aspects of musical harmonic theory. *Noise & Vibration Conference and Exhibition*, 32, S. 143-150.

Bartl, G. (1994). *Die Psychophysiologie des Schnellfahrens*. Diss. masch. Wien: Universität.

Bodden, M., & Belschner, T. (2011). Sound Design for Silent Vehicles: Security - Identity - Emotion. In K. Bronner, R. Hirt, & C. Ringe (Hgg.), *Audio Branding Academy Yearbook* (S. 67-83). Baden-Baden: Nomos.

Brüderlin, René (2003). *Akustik für Musiker. Eine Einführung*. Kassel: Bosse.

Darwin, C. (1965). *The expression of the emotions in man and animals*. London: Murray.

Eco, U. (1977). *Zeichen. Einführung in einen Begriff und seine Geschichte*. Frankfurt: Suhrkamp.

Evans, L. (1970). Speed estimation from a moving automobile. *Ergonomics*, 13, S. 219-230.

Gianpaolo D. & Lenzi, S. (2011). Sound for Electric Vehicles. In K. Bronner, R. Hirt, & C. Ringe (Hgg.), *Audio Branding Academy Yearbook* (S. 85-94). Baden-Baden: Nomos.

Gibson, J. J. (1982a). *Die Sinne und der Prozeß der Wahrnehmung*. Bern: Hans Huber Verlag.

Gibson, J. J. (1982b). *Wahrnehmung und Umwelt. Der ökologische Ansatz in der visuellen Wahrnehmung*. München u.a.: Urban&Schwarzenberg.

Giovannini, C. & Sümer, A. (2010). *Silent but dangerous: when absence of noise of cars is a factor of risk for pedestrians*. Brüssel: ANEC.

Hellbrück, J. & Ellermeier, W. (2004). *Hören. Physiologie, Psychologie und Pathologie*. Göttingen: Hogrefe.

Jauk, W. (2009a). *Klang als Raum gestaltende immersive Größe*. Abgerufen am 19.12.2011, von <http://www.uni-graz.at/~jauk/site.php?show=32>.

Jauk, W. (2009b). *pop / music + medien / kunst. Der musikalisierte Alltag der digital culture*. In Bernd Enders (Hrsg.), *Osnabrücker Beiträge zur systematischen Musikwissenschaft*, 15. Osnabrück: epOs Verlag.

Kloss, Albert (1996). *Elektrofahrzeuge; vom Windwagen zum Elektromobil*. Berlin und Offenbach: VDE-Verlag.

Knepler, G. (1977). *Geschichte als Weg zum Musikverständnis. Zur Theorie, Methode und Geschichte der Musikgeschichtsschreibung*. Leipzig: Philipp Reclam jun.

Lucas, P. (2007). *Hybrid car sales increase*. *Green Car News*. Abgerufen am 01.01.2012, von <http://www.greencarsite.co.uk/GREENNEWS/hybrid-car-market.htm>.

Marshall, D., Lee, J. & Austria, P. (2007). Alerts for In-vehicle Information Systems: Annoyance, Urgency, and Appropriateness. *Human Factors*, 49, S. 145-157.

Nelson, T. & Nilsson, T. (1990). *Comparing headphone and speaker effects on simulated driving*. *Accident Analysis and Prevention*, 22, S. 523-529.

Nyeste, P. & Wogalter, M. (2008). On Adding Sound to Quiet Vehicles. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 52, S. 1747-1750.

Pierce, B. (2006). 2006 Resolutions of the National Federation of the Blind. *Braille Monitor*, 49 (8).

Rowell, T. & Hinde, R. (1962). Vocal communication by the rhesus monkey. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 2, S. 279-294.

Scherer, K. (Hg.). (1982). *Vokale Kommunikation: Nonverbale Aspekte des Sprachverhaltens*. Weinheim und Basel: Beltz.

Sheperd, J. (1992). Warum Popmusikforschung? (<http://www2.hu-berlin.de/fpm/popscrip/themen/pst01/pstp1p2p.htm>) In: Forschungszentrum Populäre Musik der Humboldt-Universität (Hrsg.), *PopScriptum: 1. Begriffe und Konzepte*. Berlin.

Siwiak, D. & James, F. (2009). Designing Interior Audio Cues For Hybrid And Electric Vehicles. *AES International Conference*, 36, S. 1-7.

Tembrock, G. (1971). Informationsübertragung bei organismischer Kommunikation. In J. H. Scharf (Hg.), *Informatik. Vorträge anlässlich der Jahresversammlung der Leopoldina*. Halle: Nova Acta Leopoldina.

Terazawa, N. & Kozawa, Y. (2000). Objective evaluation of exciting engine sound in passenger compartment during acceleration. *SAE 2000 World Congress*. S. 85-93.

Wallach, H. (1940). The role of head movements and vestibular and visual cues in sound localization. *Journal of Experimental Psychology*, 27 (4), S. 339-368.

Wogalter, M., Ornan R., Lim, R., & Chipley, R. (2001). On the Risk of Quiet Vehicles to Pedestrians and Drivers. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 45, S. 1685-1688.

Yay, M. (2010). *Elektromobilität. Theoretische Grundlagen, Herausforderungen sowie Chancen und Risiken der Elektromobilität, diskutiert an den Umsetzungsmöglichkeiten in die Praxis*. Frankfurt: Peter Lang.