Werkzeuge für interaktives Sound Design

Bernd Philippen, Roland Sottek

HEAD acoustics GmbH, 52134 Herzogenrath, E-Mail: Bernd.Philippen@HEAD-acoustics.de

Zusammenfassung

Sound Design bedeutet, die Geräusche von Produkten und Maschinen aktiv zu gestalten, um positive Eigenschaften hervorzuheben und Produktqualität zu vermitteln. In erster Linie geht es nicht darum, die Geräusche leiser, sondern angenehmer und wertiger zu gestalten.

Die zentrale Frage zur Zielgeräuschbestimmung lautet: Wie soll das Produktgeräusch klingen? Hierfür ist ein Werkzeug hilfreich, das durch Manipulation und gleichzeitiges Hören einer Geräuschaufnahme ermöglicht, störende Geräuschanteile zu identifizieren. In einem weiteren Schritt kann die Aufnahme gezielt manipuliert werden, sodass sich der gewünschte akustische Charakter einstellt.

Es wird eine Methode vorgestellt, in der interaktiv durch Manipulationen im Spektrogramm die Geräusche beeinflusst werden (z. B. durch zeitabhängige FIR-Filter). Es können dabei frequenz- und zeitselektiv Geräuschanteile hervorgehoben, abgesenkt oder vollständig eliminiert werden.

In einem kreativen Prozess können damit beispielsweise verschiedene Geräuschvarianten für einen Hörversuch erstellt werden, um das Geräusch zu identifizieren, das die gewünschten Attribute enthält.

Eine andere Anwendung besteht darin, Störgeräusche gezielt aus einer Aufnahme zu entfernen, um ausschließlich das interessierende Geräusch ohne akustische Ablenkung bewerten zu können. Eine vollständige Löschung der störenden Anteile des Spektrogramms führt i. Allg. zu hörbaren Artefakten. Diese Artefakte lassen sich durch Addition geeigneter gefärbter Rauschsignale in Teilbereichen des Spektrogramms weitestgehend vermeiden.

In diesem Beitrag werden die Methodik und die Manipulationswerkzeuge für ein interaktives Sound Design vorgestellt, sowie anhand von Beispielen die Hauptanwendungsgebiete aufgezeigt.

Einleitung

Das Geräusch eines Produktes trägt wesentlich zu einer Kaufentscheidung bei. Wenn durch ein Geräusch positive Emotionen in Bezug auf die Produkteigenschaften, wie Stabilität, Sicherheit, Leistung und Qualität, hervorgerufen werden, entscheiden Kunden sich öfter zu einer Investition. Das perfekte Produktgeräusch ist ein wichtiges Alleinstellungsmerkmal sowie entscheidender Verkaufsvorteil und kann durch professionelles Sound Design beeinflusst werden (siehe auch [1]). Der Begriff Sound Design umfasst ein breites Themenspektrum. In diesem konkreten Fall bezieht er sich auf die aktive Gestaltung von Produktgeräuschen.

In der Kette von der Problemstellung bis zur Lösung ist es besonders wichtig, unerwünschte Geräuschanteile schnell und einfach zu identifizieren. Dazu ist ein Werkzeug hilfreich, das es ermöglicht, eine Geräuschaufnahme zu manipulieren und sich gleichzeitig das Resultat anzuhören.

In einem nächsten Schritt soll der gewünschte akustische Charakter am Computer durch den gezielten Einsatz virtueller Manipulation einstellbar sein.

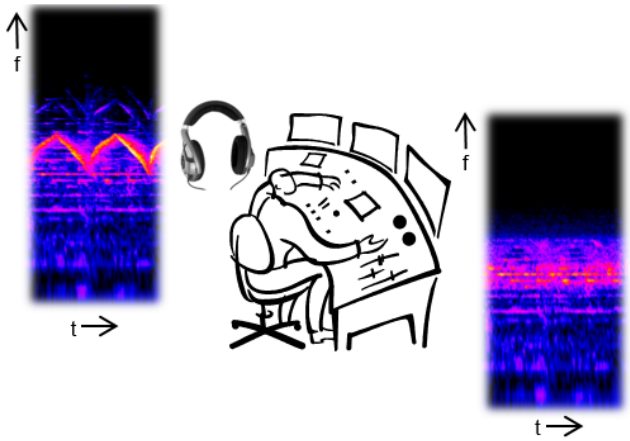

Abbildung 1: Durch interaktive Manipulationen mit einer an die Bildbearbeitung angelehnten Arbeitsweise können Geräuschanteile Schritt für Schritt eliminiert oder hervorgehoben werden. Der Benutzer erhält unmittelbar bei jeder Veränderung akustisches und visuelles Feedback.

Methodik

Der Kern der Methodik ist eine interaktive Geräuschmanipulation mit einer an die Bildbearbeitung angelehnten Arbeitsweise (siehe Abbildung 1). Veränderungen werden in einer graphischen Darstellung, z. B. FFT vs. Zeit oder Pegel vs. Zeit, umgesetzt. Interaktiv heißt, der Anwender modifiziert und erhält unmittelbar Feedback, sowohl visuell in der Darstellung der Analyseergebnisse als auch auditiv.

Die interaktive Arbeitsweise im Zusammenspiel mit der Visualisierung bietet zahlreiche Vorteile:

- Der Anwender kann subtile, minimale Unterschiede im direkten A/B-Vergleich herausarbeiten.
- Interaktion ermöglicht einen schnellen und flüssigen Arbeitsprozess.
- Die sofortige Rückmeldung fördert die Kreativität des Anwenders.
- Es entstehen keine technischen Hürden durch eine einfach zu vermittelnde Arbeitsweise.
- Viele Effekte in der Psychoakustik (siehe auch [2]) können nachvollzogen werden, z. B. um wieviel muss eine störende Geräuschkomponente reduziert werden, bis sie durch andere Geräuschanteile maskiert wird?

Mit den im nächsten Abschnitt vorgestellten Werkzeugen können frequenz- und zeitselektiv Geräuschanteile hervorgehoben, abgesenkt oder auch vollständig eliminiert werden.

Werkzeuge

Die Benutzerinteraktion ist an die Bildbearbeitung angelehnt. Das bedeutet, dass die Modifikationen durch eine Zeichnen-Metapher durchgeführt werden. Je nach Anwendung werden andere technische Anforderungen und damit andere Werkzeuge benötigt. Abbildung 2 zeigt eine Übersicht. Die Modifikationen werden durch IIR-Filter oder FIR-Filter realisiert, die zeit- und frequenzselektiv Geräuschanteile absenken oder verstärken.

Abbildung 2: Je nach Anwendungsfall werden Werkzeuge mit anderen technischen Eigenschaften benötigt. Für tonale Geräuschanteilen und Ordnungen eignen sich zeit- bzw. drehzahlabhängige IIR-Filter. Zeitabhängige FIR-Filter können als universelles Modifikationswerkzeug eingesetzt werden.

Zeitabhängige IIR-Filter

Für die Manipulation von Tönen oder sehr schmalbandigen Geräuschkomponenten werden zeitabhängige IIR-Filter eingesetzt. Die Mittenfrequenz eines parametrischen Bandpasses wird in einer Spektrogrammdarstellung ausgewählt. Der Pegelverlauf dieser Frequenzkomponente kann durch Zeichnen mit einem Eingabegerät (Maus) angepasst werden. Ein Beispiel ist in Abbildung 3 dargestellt.

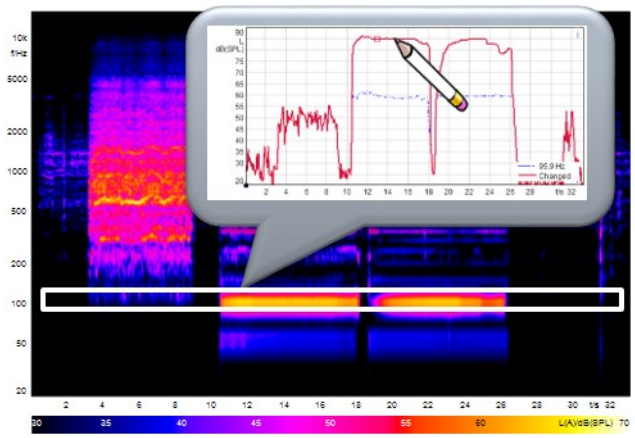

Abbildung 3: In diesem Beispiel wird der Pegelverlauf der tonalen Komponente bei 100 Hz durch Zeichnen vorgegeben (angehoben) und durch ein IIR-Filter (parametrischer Bandpass) direkt umgesetzt.

Drehzahlabhängige IIR-Filter

Für drehzahlabhängige Töne (Ordnungen), beispielsweise eines Verbrennungsmotors oder Turboladers, werden zeitabhängige, an eine Führungsgröße angepasste IIR-Filter verwendet. Analog zur Vorgehensweise bei tonalen Geräuschanteilen wird die zu manipulierende Ordnung im Spektrogramm ausgewählt und der Zielpegelverlauf durch Zeichnen vorgegeben.

Zeitabhängige FIR-Filter

Zeitabhängige FIR-Filter eignen sich für ein universelles Anwendungsgebiet. Diese Funktionalität entspricht, stark vereinfacht ausgedrückt, einem zeitabhängigen grafischen Equalizer mit sehr vielen, von der gewählten Frequenzauflösung abhängigen Kanälen.

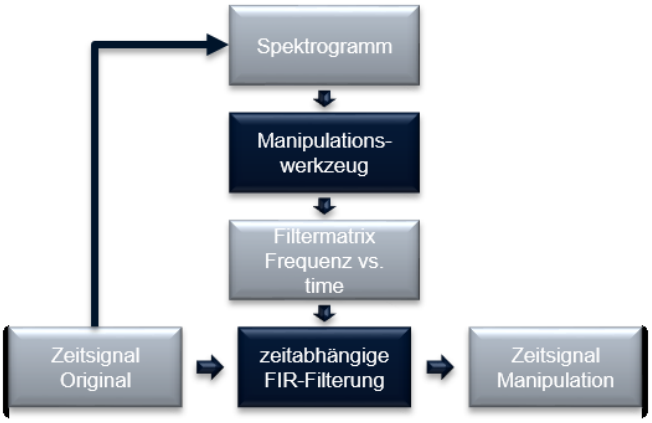

Abbildung 4: Blockschaltbild für das Manipulationswerkzeug der zeitabhängigen FIR-Filterung.

Abbildung 4 enthält das Blockschaltbild für die zeitabhängige FIR-Filterung. Das manipulierte Zeitsignal ergibt sich durch eine zeitabhängige Filterung des Originalzeitsignals unter Berücksichtigung einer Filtermatrix (Amplitudenanpassung über Frequenz und Zeit) im Zeitbereich. Die Filtermatrix wird mit Hilfe verschiedener Manipulationswerkzeuge graphisch in der Spektrogrammdarstellung erstellt. Dazu kann der Benutzer in der Größe, d. h. Ausdehnung über Frequenz und Zeit, anpassbare geometrische Formen als Manipulationsobjekte hinzufügen, die – je nach Vorgabe – den betroffenen Bereich verstärken oder auch abschwächen können. Die Auswirkungen werden unmittelbar im Spektrogramm dargestellt und gleichzeitig akustisch wiedergegeben, um dem interaktiven Aspekt Rechnung zu tragen. In der Signalverarbeitung wird durch im Zeitbereich überlappende FIR-Filter sichergestellt, dass beim Übergang von einem Filter zum nächsten keine Artefakte wie „Knackser“ oder andere unerwünschte Effekte entstehen.

Wenn durch die zeitabhängige FIR-Filterung Bereiche vollständig eliminiert wurden, lassen sich mit Hilfe einer weiteren Funktionalität die dadurch entstehenden Löcher im Signal mit gefärbtem Rauschen auffüllen (Abbildung 5). Dies ist beispielsweise erforderlich, um einen plausiblen Höreindruck zu erzeugen, wie im untenstehenden Beispiel (Abbildung 9d) gezeigt wird.

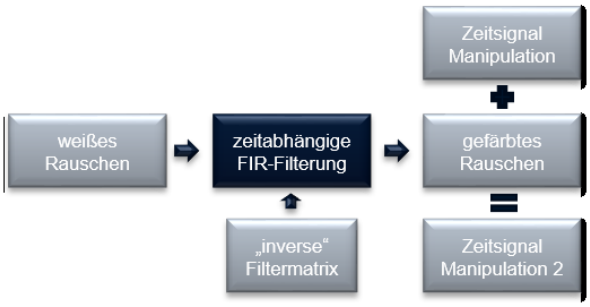

Abbildung 5: Wenn durch Filterung Bereiche vollständig eliminiert wurden, lassen sich die dadurch entstehenden „Löcher“ mit gefärbtem Rauschen auffüllen.

Vergleich IIR und FIR- Filter

Tabelle 1 enthält einen prinzipiellen Vergleich zwischen IIR- und FIR-Filtern. Weitere Details zu Filtern in der digitalen Signalverarbeitung können [3] und [4] entnommen werden. In dem dargestellten Anwendungsfall sind die prinzipiellen Unterschiede bezüglich Rechenleistung und Latenz unerheblich. Es gibt keine kritischen Anforderungen, sodass ein interaktives Arbeiten ohne weiteres auf einem Desktop-PC oder Laptop möglich ist.

Tabelle 1: Vergleich IIR-Filter mit FIR-Filter

	IIR-Filter	FIR Filter
Eigenschaften	schmalbandig, hohe zeitliche Änderungen möglich	flexibel und linearphasig, Abwägung Zeit- und Frequenzauflösung
Einsatzgebiet	Töne, Ordnungen	universal
Latenz	+	-
Benötigte Rechenleistung	+	-

Beispiele und Anwendungen

Für die vorgestellte Methodik gibt es drei Hauptanwendungsgebiete, die im Folgenden skizziert und anhand jeweils eines Beispiels erläutert werden:

- Störgeräusche identifizieren,
- Zielgeräusche ermitteln,
- Geräuschkomponenten entfernen.

Störgeräusche identifizieren

Im Umgang mit Produktgeräuschen tritt in der Praxis häufig der Fall ein, dass störende Geräuschkomponenten vorhanden sind, diese aber nicht eindeutig einem Frequenz- bzw. Zeitbereich zugeordnet werden können. Ein ähnlicher Fall stellt sich dar, wenn von einem Kollegen oder gar Kunden ein Produktgeräusch beanstandet wird, jedoch keine gesicherte Kenntnis darüber vorliegt, welche Geräuschkomponente tatsächlich gemeint ist. Das Störgeräusch lässt sich einfacher identifizieren, indem sukzessive mögliche Kandidaten entweder eliminiert oder auch verstärkt werden, um die relevanten Zeit- und Frequenzbereiche aufzudecken.

Als Beispiel wird eine Beanstandung *„Die Kaffeemaschine quietscht bei der Zubereitung des Milchkaffees“* gewählt. Mit Hilfe der hier vorgestellten Methodik kann aus einer Geräuschaufnahme herausgearbeitet werden, dass der Grund für die Beanstandung auf zwei tonale Geräuschkomponenten zurückzuführen ist (siehe auch Abbildung 6). Bei einer deutlichen Absenkung des tonalen Anteils um 42 dB wird das Geräusch nicht mehr beanstandet.

Zielgeräusche ermitteln

In der Praxis wird es oft vorkommen, dass eine vollständige Eliminierung einer störenden Geräuschkomponente aus technischen Gründen nicht realisierbar ist. Es stellt sich die Frage, inwieweit die beanstandeten Geräuschanteile zu reduzieren oder modifizieren sind, sodass sich ein akzeptables Geräusch bei gleichzeitiger Machbarkeit ergibt. Dies lässt sich interaktiv am Arbeitsplatz ermitteln. Eine Alternative stellt der klassische Hörversuch dar, in dem verschiedene Geräuschausprägungen dargeboten werden, um unter Kollegen, Kunden oder Entscheidungsträgern das gewünschte Zielgeräusch zu ermitteln. Im dargestellten Beispiel führt erst eine Reduzierung der identifizierten tonalen Anteile um mindestens 12 dB zu einer Verbesserung der wahrgenommenen Geräuschqualität (Abbildung 7 d).

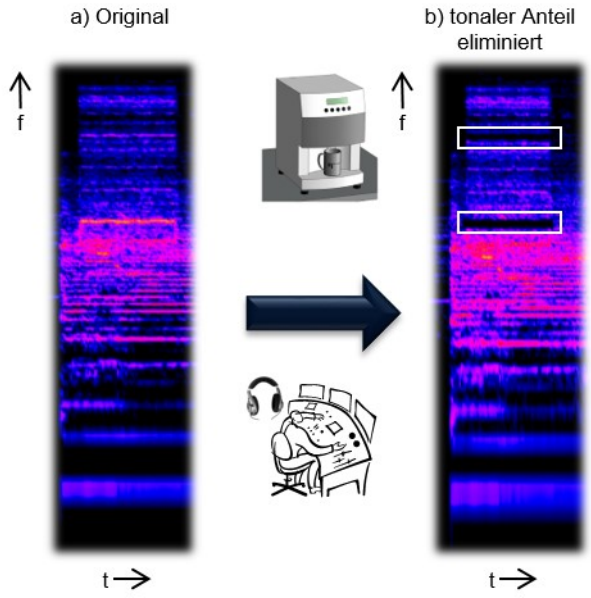

Abbildung 6: Die Beanstandung *„Die Kaffeemaschine quietscht bei der Zubereitung des Milchkaffees“* kann mit Hilfe der hier vorgestellten Methodik auf zwei tonale Geräuschkomponenten zurückgeführt werden.

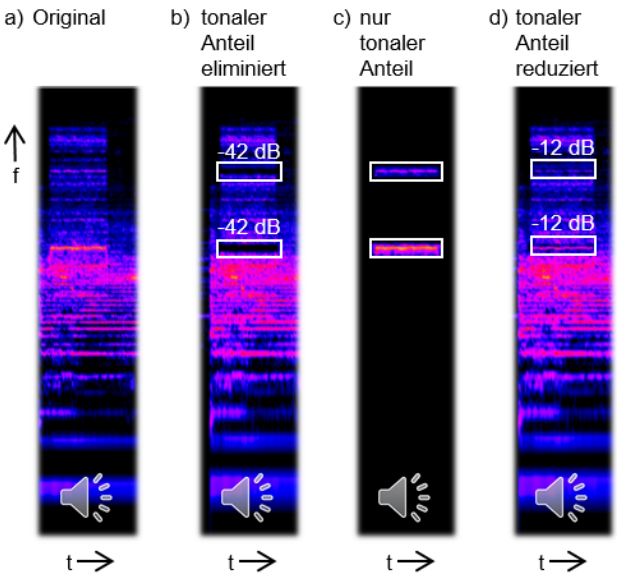

Abbildung 7: a) Geräuschaufnahme einer Kaffeemaschine; b) Die beanstandeten tonalen Anteile wurden durch Absenkung um 42 dB eliminiert. c) Zur Verifikation können die störenden Geräuschkomponenten auch isoliert vom Restgeräusch abgehört werden. d) Das ermittelte Zielgeräusch beinhaltet eine Reduzierung der identifizierten tonalen Anteile um 12 dB, um die wahrgenommene Geräuschqualität zu verbessern.

Störende Geräuschanteile entfernen

Es wird eine Geräuschaufnahme an einer Bushaltestelle in New York City verwendet, um anschaulich und nachvollziehbar zu demonstrieren, inwieweit störende Geräuschanteile entfernt werden können. Darüber hinaus wird die Relevanz zum Füllen der dadurch entstehenden akustischen „Löcher“ skizziert. Das Prinzip lässt sich auf viele Anwendungsfälle, von Fahrzeugen bis zu Haushaltsgeräten, übertragen.

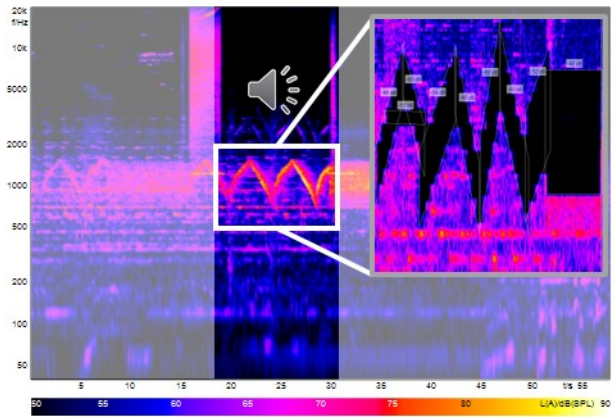

Abbildung 8: Die Polizeisirene in einer Geräuschaufnahme in New York City, genauer der Grundton, kann mit dem vorgestellten Werkzeug *Zeitabhängige FIR-Filterung* entfernt werden.

In diesem Beispiel soll in der Aufnahme das Geräusch der Polizeisirene entfernt werden (Abbildung 8). Im ersten Schritt wird der Grundton der Polizeisirene mit dem oben vorgestellten Werkzeug der zeitabhängigen FIR-Filterung entfernt (Abbildung 9 a-b). Das Entfernen des Geräuschanteils mit der Hauptenergie ist hier, wie in vielen Fällen im Troubleshooting von Produktgeräuschen, nicht ausreichend, weil die noch enthaltenen Obertöne dazu führen, dass der Zuhörer immer noch die Sirene wahrnimmt.

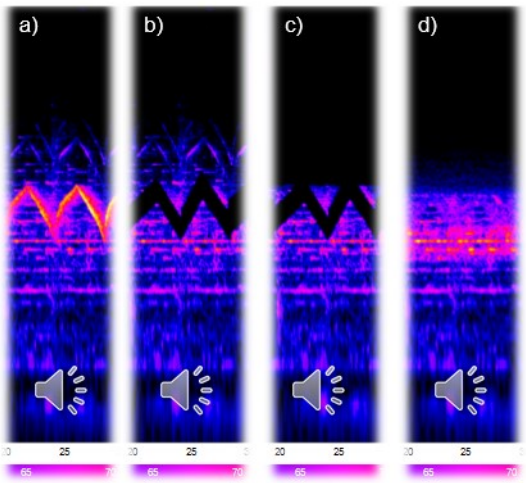

Abbildung 9: a) Originalaufnahme mit Polizeisirene; b) Grundton der Sirene eliminiert; c) zusätzlich Obertöne entfernt; d) „Löcher“ mit Rauschen aufgefüllt und mittlerer Frequenzbereich angehoben, um die auch enthaltenen Kirchenglocken in der Aufnahme zu betonen.

Daraufhin werden auch die Obertöne komplett entfernt (Abbildung 9 c). Das führt zu zwei Effekten: Erstens, das Geräusch klingt dumpf und nicht authentisch. Zweitens, die mit der Frequenz ansteigenden und abfallenden „Löcher“ erinnern in der akustischen Wahrnehmung immer noch entfernt an die Sirene. Werden diese Löcher jedoch mit gefärbtem Rauschen aufgefüllt, nimmt der Zuhörer die Sirenen nicht mehr wahr und kann sich vollständig und ohne Ablenkung auf die im gleichen Schritt um 6 dB angehobenen Kirchenglocken (mittlerer Frequenzbereich) konzentrieren (Abbildung 9d).

Fazit und Ausblick

Die vorgestellten Werkzeuge für interaktives Sound Design mit einer an die Bildbearbeitung angelehnten Arbeitsweise ermöglichen eine intuitive Geräuschmanipulation mittels zeitabhängiger IIR oder FIR-Filter. Das direkte visuelle und akustische Feedback unterstützt einen kreativen und schnellen Arbeitsprozess mit dem sich auch subtile Geräuschunterschiede herausarbeiten lassen.

Es gibt drei Hauptanwendungsfelder: Mit der Identifikation von störenden Geräuschanteilen wird sichergestellt, dass alle Beteiligten über dasselbe Geräuschphänomen reden. Missverständnisse im Umgang mit Kollegen oder Entscheidungsträgern werden vermieden. Darüber hinaus können Stimuli mit unterschiedlichen Geräuschausprägungen erstellt werden, um in Hörversuchen mit Kunden, Experten oder Entscheidungsträgern das gewünschte Zielgeräusch zu ermitteln. Nicht in allen, aber in vielen Anwendungsfällen, können störende Geräuschanteile entfernt und die psychoakustisch irritierenden „Lücken“ geschickt aufgefüllt werden. Die Grenzen der Filterung liegen darin, dass nur Geräuschanteile unabhängig voneinander manipuliert werden können, die sich in der Zeitaufteilung oder Frequenzzusammensetzung unterscheiden. Die maximal erreichbare Zeit- und Frequenzauflösung der IIR- und FIR-Filter müssen beachtet werden. Das primäre Ziel, „Löcher“ durch gefärbtes Rauschen aufzufüllen, liegt nicht darin, eine perfekte Geräuschaufnahme zu erhalten, sondern einen authentischen Höreindruck zu erschaffen.

Die Methodik ist durch zusätzliche Manipulationswerkzeuge erweiterbar. Für Motorengeräusche kann als Beispiel eine erweiterte Ordnungsmanipulation genannt werden, mit der nicht nur vorhandene Ordnungen mittels IIR-Filter abgesenkt oder angehoben werden, sondern neue, vorher nicht vorhandene Ordnungen dem Geräusch synthetisch hinzugefügt werden. Das Ziel weiterer Forschung ist es, weitere (intelligente) Werkzeuge zu entwickeln, die z. B. den Anwender bei der Auswahl störender Geräuschkomponenten unterstützen.

Literatur

[1] Pfäfflin, B., Gerhard, H.-M., Ehinger, P., Herrmann, R.: Soundengineering und Sound Design, in: Genuit, K.: Sound-Engineering im Automobilbereich, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.

[2] Genuit, K., Sottek, R.: Das menschliche Gehör und Grundlagen der Psychoakustik, in: Genuit, K.: Sound-Engineering im Automobilbereich, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.

[3] Ohm, J., Lüke, H. D.: Signalübertragung, 12. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.

[4] Vorländer, M.: Auralization, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.