

Auralisierung von Verkehrsgläuschen mithilfe von Max 6

Joachim Büchel¹, Jörg Becker-Schweitzer¹, Jochen Steffens¹

¹ *Institute of Sound and Vibration Engineering, FH Düsseldorf, Deutschland, Email: joachim.buechel@me.com*

Einleitung

Das Aufkommen von individuellem und gewerblichem Kraftverkehr hat in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen [1]. Eine Folge ist die mit dem Verkehr stetig steigende Lärmbelastung. Der Gesetzgeber hat dieser Entwicklung in den letzten Jahren durch immer wieder verschärfte Auflagen bezüglich der verminderten Geräuschemission von Kraftfahrzeugen Rechnung getragen. Seitdem haben die Fahrzeughersteller vor allem ihre Antriebssysteme immer geräuschärmer konzipiert. Jedoch tritt hiermit eine andere Geräuschkomponente immer weiter in den Vordergrund: Das Reifen-Fahrbahn-Geräusch. Auch hier sind bereits praktisch einsetzbare Lösungen wie z.B. offenporige Asphalthebel entwickelt worden. Es ist jedoch nicht einfach Betroffenen, wie etwa Anwohnern einer Straße, die Auswirkungen eines neuartigen Fahrbahnbelags deutlich zu machen. Oft wird in diesem Zusammenhang auf Dezibel-Angaben zurückgegriffen, die jedoch zum einen wenig anschaulich sind und zum anderen nicht auf spektrale Feinheiten eingehen.

In diesem Beitrag wird daher die Implementierung eines Systems beschrieben, das dafür eingesetzt werden kann, diese Diskrepanz zu überwinden. Die im Rahmen eines Forschungsprojektes entwickelte Software macht es möglich, sich Verkehrssituationen anzuhören und die erwartbaren akustischen Auswirkungen einer Änderung subjektiv per Höreindruck zu vermitteln. Diese Änderungen können zum Beispiel durch Variation der zulässigen Geschwindigkeit, der Verkehrszusammensetzung, des Verkehrsaufkommens oder des Fahrbahnbelages erfolgen. Jedoch werden sie nicht in Zahlen an den Menschen weitergegeben, sondern in Echtzeit erfahrbar gemacht. Um dies zu erreichen, wurden verschiedene Prinzipien der Geräuschsynthese, der räumlichen Klangwiedergabe und der Simulation von Fahrbahnbelägen in einer neuen Form miteinander kombiniert und in ein Simulationswerkzeug überführt.

Die Implementierung der Simulation erfolgte in Max 6 der Firma Cycling'74 [5], einer grafischen Programmierumgebung speziell für Audio- und Videoanwendungen.

Funktionalität

Die hier vorgestellte Implementierung einer Reifen-Fahrbahn-Geräuschsimulation ist in der Lage, einen ebenerdigen und geraden Straßenabschnitt akustisch zu simulieren. Es wird ebenfalls von einer Situation mit fließendem Verkehr ausgegangen. In dieser ist die akustische Darstellung der Vorbeifahrergeräusche von PKW und LKW mit einer Mindestgeschwindigkeit von 60 km/h möglich.

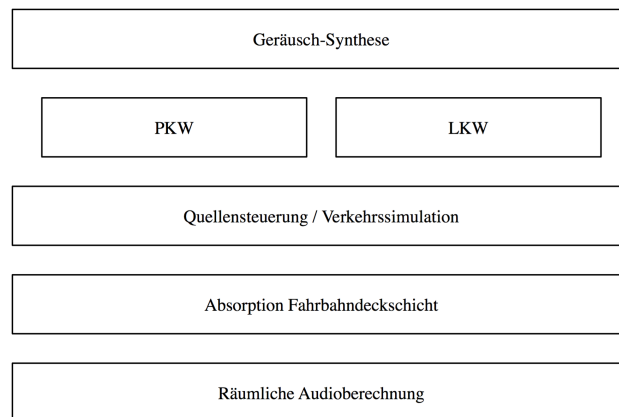


Abbildung 1: Derzeit in der Software enthaltene Module

Die Berechnung des Schallfeldes erfolgt in Echtzeit. Durch die begrenzte Randomisierung der virtuellen Schallquellen und der Verkehrsparameter wird die Wahrnehmbarkeit von klanglichen Mustern reduziert. Die Eingabeparameter der Verkehrssimulation sind die Durchschnittsgeschwindigkeit, die Verkehrseinheiten pro Stunde und der Anteil an Schwerlastverkehr.

Um dem Anspruch der Wiederholbarkeit gerecht zu werden, ist eine Aufnahmefunktion implementiert, mit der sich eine aktive Simulation als Audio-Datei speichern lässt. Zuletzt soll durch einen Aufbau der Software in Modulen eine einfache und effektive Möglichkeit zu Anpassung und Erweiterung der bisher gebotenen Funktionalität ermöglicht werden. In Abbildung 1 ist eine grafische Darstellung der derzeit in der Software enthaltenen Module zu sehen.

In Abbildung 2 ist die Bedienoberfläche der Simulation zu sehen. Sie bietet die Möglichkeit zur Steuerung der Software, der Verkehrsparameter, der Aufnahmefunktion und der Eingabeparameter für die Berechnung der Fahrbahndeckschicht.

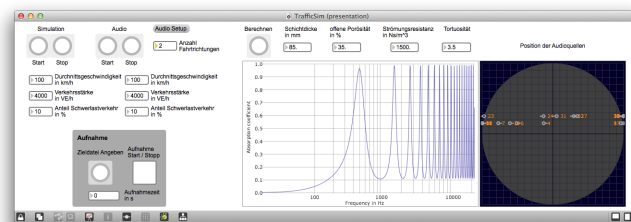


Abbildung 2: Bedienoberfläche der SOFTWARE (?) (Simulation in der Präsentationsansicht (zu viel Detail?))

Geräuschsynthese

Die Synthese der Reifen-Fahrbahn-Geräusche der simulierten PKW und LKW erfolgt durch die Filterung von Rosa Rauschen sowie die Addition von Sinus-, Rechteck- und Sägezahnsignalen zur Simulation von tonalen Elementen des Geräusches. Als Grundlage dienen Aufnahmen realer, der Simulation ähnlicher Verkehrssituationen, welche bereits in vorhergehenden Arbeiten [3] analysiert wurden. In Abbildung 3 ist beispielhaft die Synthese des LKW-Geräusches zu sehen. Die Synthese des PKW-Geräusches erfolgt auf ähnliche Weise.

Um der Unterschiedlichkeit des Klangcharakters verschiedener Fahrzeuge in der Realität Rechnung zu tragen, wurde eine Zufallsfunktion implementiert. Diese wählt eine von momentan zehn klanglich leicht unterschiedlichen Versionen des PKW- und LKW-Geräusch für jedes neu zu auralisierende Fahrzeug aus.

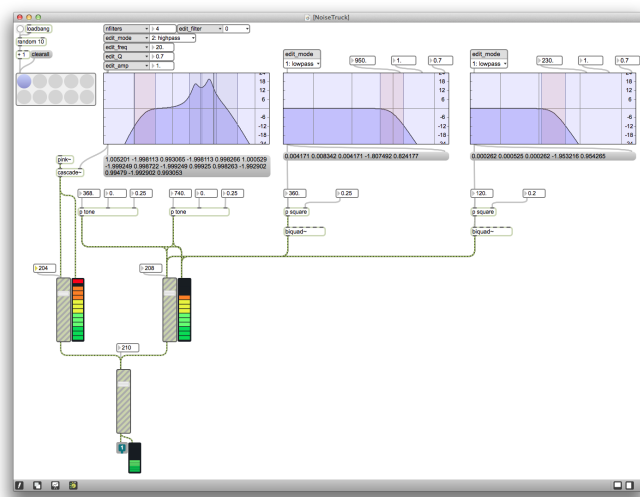


Abbildung 3: Generierung des LKW-Geräusches durch additive und subtraktive Klangsynthese

Räumliche Darstellung

Die räumliche Darstellung der Verkehrssituation erfolgt mit Hilfe der Raumklangtechnologie Ambisonics [4]. Sie bietet die Möglichkeit der Aufnahme dreidimensionaler Schallereignisse durch die Enkodierung in das sog. Ambisonics B-Format. Dieses lässt sich entweder aus den Ausgangskanälen eines speziellen Schallfeldmikrofons berechnen oder aus Mono-Signalen mit zugehörigen Koordinaten. Es enthält somit alle Eigenschaften des aufgenommenen oder errechneten Schallfelds.

Bei der Wiedergabe erfolgt nun eine Decodierung des B-Formats unter Angabe der geometrischen Anordnung des Wiedergabesystems.

Fahrbahnbelag

Um die Simulation der Auswirkungen von unterschiedlichen Fahrbahnbelägen darzustellen, wurde das Phänomenologische Modell von Hamet und Bérenghier [2] herangezogen. Es ermöglicht die rechnerische Vorhersage

des Absorptionsverhaltens von offenporigen Deckschichten durch die Angabe physikalischer Parameter. Dies geschieht unter der Voraussetzung, dass in dieser Anwendung die Strukturgröße des Absorbers im Vergleich zu den betrachteten Wellenlängen klein ist. Ebenfalls wird die Fahrbahndeckschicht als homogenes, verlustbehaftetes Medium betrachtet. Unter diesen Gesichtspunkten bietet dieses Phänomenologische Modell die Möglichkeit, einen Absorber auf Basis seiner Wellenzahl und Kennimpedanz zu beschreiben. Die Eingabeparameter des Modells sind die offene Porosität, die Tortuosität, die Strömungsresistenz und die Schichtdicke.

Schlussfolgerung

Im Rahmen dieses Beitrags wurde ein System vorgestellt, mit dem Verkehrsgeräusche auralisiert werden können. Hierfür wurden verschiedene Prinzipien und Modelle von der Klangsynthese über Verkehrssimulationen bis hin zu Berechnungsmodellen zur Antizipation des Absorptionsverhaltens von Fahrbahnbelägen miteinander verbunden. Mit der entwickelten Software ist es möglich, den Geräuscheindruck, der durch unterschiedliche Verkehrssituationen hervorgerufen wird, in Echtzeit virtuell zu erzeugen und zu vermitteln. Dabei wurde auf die Modularität der Implementierung besonderer Wert gelegt. Max 6 hat sich hierbei als gute und äußerst flexible Programmierumgebung für Software dieser Art erwiesen.

Weitere Forschungsanstrengungen konzentrieren sich auf die Validierung der Simulation. Hierbei steht insbesondere der perzeptive Vergleich der Auralisation mit realen Aufnahmen im Rahmen von Hörversuchen im Vordergrund.

Literatur

- [1] Bundesanstalt für Straßenwesen Hrsg.: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr – Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“, Heft S 37, 2004
- [2] Hamet, J.; Berengier, M.: Acoustical Characteristics of Porous Pavements: A New Phenomenological Model. *Inter-Noise People versus Noise* (1993), Nr. 93, S. 641–646
- [3] Kärst, M.; Steffens, J.; Skoda, S.; Becker-Schweitzer, J.: Subjective evaluation and psychoacoustic analysis of the sound quality of low-noise asphalt on motorways in North-Rhine Westphalia, AIA-DAGA 2013 Merano, S. 1844 - 1846
- [4] Kocher, P: Raumklang mit Ambisonics in Max/MSP / ICST Institute for Computer Music and Sound Technology ZHdK Zürcher Hochschule der Künste. 2007. – Forschungsbericht
- [5] Cycling'74, URL: <http://http://cycling74.com/>