

# Entwicklung eines Klangsystems zur auditiven Interaktion mit Funktionsmodellen

*Klaus Nothaft, Cornelius Pöpel*

*Hochschule Ansbach, Multimedia und Kommunikation  
Ansbach, Deutschland*

klaus.nothaft@googlemail.com, cornelius.poepel@fh-ansbach.de

## **Zusammenfassung**

Die vorliegende Arbeit präsentiert eine Sonifikation einer Modellautorennbahn. Ziel ist es, das Spielerleben durch die Komponente „Sound“ zu intensivieren und so einen emotionalen Mehrwert zu schaffen. Zwei Fahrzeuge werden mittels Videotracking in ihrer Position und Geschwindigkeit gemessen. Die gewonnenen Daten werden einer Soundengine zugeführt, die virtuelle Motorengeräusche entsprechend der Position der Fahrzeuge im Raum verteilt. Es entsteht ein Mixed-Reality-Szenario, das als Basis herangezogen werden kann, um das Spielerleben mit der Modellautorennbahn mit oder ohne Sound zu vergleichen.

## **1 Einleitung**

Mixed realities, visuelle und auditive Augmentation können Spielerlebnisse – egal, ob rein virtueller oder rein physischer Natur – fördern, ihnen eine neue Dimension verleihen und dadurch ein neues Spielgefühl aufleben lassen. Computerspiele schaffen es heute in einem hohen Maße, den Spieler in die künstlich erschaffene Welt zu versetzen und ihn dort für eine kurze Zeit „existieren“ zu lassen. So gut diese virtuelle Welt jedoch auch konstruiert sein mag, sie bleibt virtuell und nicht greifbar. Greifbarer, aber oft weniger technisch ausgereift, ist Spielzeug mit digitalen Elementen, zum Beispiel Spielfahrzeuge mit Soundausgabe. Es stellt sich die Frage, ob und wie man es einem Spieler ermöglichen kann, einen emotionalen Mehrwert durch das Abtauchen in eine andere halbvirtuelle Welt zu schaffen und dabei immer noch physisch-haptische Komponenten und die dazugehörigen sensorischen Erlebnisse zu integrieren. Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung

einer auditiven Augmentation für ein Funktionsmodell – eine Carrera<sup>®</sup>-Autorennbahn, um diese oben genannte Art des Erlebens zu ermöglichen.

In den folgenden Kapiteln werden neben der grundlegenden Motivation und einer Betrachtung ähnlicher Systeme besonders der technische Aspekt der zur Verfügungen stehenden Komponenten und deren Funktion betrachtet. Im Folgenden wird deshalb erläutert, wie die Softwarekombination Max4Live, Ableton Live und Granulator II dazu verwendet wurde, ein klanglich-interaktives Szenario zu schaffen. Im Anschluss wird beschrieben, welche auditiven Elemente verwendet werden, um ein stimmiges und authentisches Rennsport-Spielerlebnis für den Spieler, respektive die Spieler, zu schaffen. Abschließend wird der Usertest und dessen Ergebnisse beschrieben und die vorliegende Arbeit diskutiert.

## **2 Motivation**

Die Idee der Erforschung und Gestaltung einer auditiven Interaktivität an einem Objekt, welches seit Jahrzehnten Menschen begeistert und trotz der sich rasch entwickelnden technischen Umgebung an seinen Ursprüngen festhält, ist eine Haupttriebfeder für das Projekt. Das Hinzufügen einer interaktiven Soundkulisse soll die ursprüngliche Intention des Objektes nicht schmälern, sondern sie um einen weiteren Bestandteil sinnvoll ergänzen. Der Übertrag interaktiver Technologie und die daraus resultierenden Möglichkeiten der auditiven Augmentation auf dieses klassische Funktionsmodell soll eine Weiterentwicklung des Spielzeugs darstellen, ohne die Grundprinzipien, für welche es weltweit geschätzt wird, zu irritieren.

Spielen bedeutet Kreativität entwickeln und schulen. Mit der technischen Entwicklung sind für den Menschen neue Möglichkeiten entstanden zu spielen; besonders Videospiele erfreuen sich großer Beliebtheit. Aus Sicht der Autoren hängt der Erfolg eines Videospieles nicht nur von seiner grafischen oder inhaltlichen Gestaltung ab, sondern auch davon, inwieweit alle Elemente wie Grafik, Inhalt und besonders auch der Audioanteil ein stimmiges Gesamtbild einer virtuellen Welt ergeben.

## **3 Arbeiten im Umfeld der Entwicklung**

Produkte, welche dem hier entwickelten System in seiner Funktion am nächsten kommen, sind Videospiele des Genres Rennsportsimulation. Allen

voran sei hier die Need for Speed<sup>1</sup>-Reihe von Electronic Arts<sup>2</sup> angeführt. Das erste von Electronic Arts entwickelte Spiel dieser Reihe erschien im Jahre 1994 für die Konsole 3DO von Panasonic. In diesem Videospiel steuert der Spieler ein virtuelles Rennfahrzeug durch mehrere virtuelle Umgebungen beziehungsweise Strecken. Das Spiel zeichnet sich durch eine physikalisch realistisches Fahrzeugverhalten und eine authentischer Soundkulisse aus.

Der visuelle und auditive Gestaltungsansatz besteht darin, der Realität möglichst nahe zu kommen. Die virtuellen Fahrzeugmodelle basieren auf real existierenden Fahrzeugen – zumeist handelt es sich um Rennsportfahrzeuge oder Variationen derselben. Die Soundkulisse besteht aus realistischen Motorengeräuschen der Fahrzeuge, physikalischen Ereignissen während der Rennsituation – ausgehend vom Fahrzeug oder deren Interaktion miteinander (zum Beispiel: Reifengeräusche, Kollisionsereignisse) und einer stimmigen Atmosphäre (Soundambiente je nach Streckenwahl, zum Beispiel Zuschauerapplaus, Zuschauerjubiläum, Großstadt-Soundambiente mit entsprechenden Soundereignissen)

Im Arcade-Cabinet-System von Need for Speed der Firma Namco Bandai<sup>3</sup> wird die Beschleunigung über ein Gaspedal am Cabinet-System gesteuert. In späteren Varianten des Spiels ist es möglich, das Fahrzeug über einen analogen Trigger am Controller zu steuern. Dies kommt dem System der Carrera-Rennbahn am nächsten, da hier die Geschwindigkeit nicht über die Verweildauer, sondern – wie bei der Cabinet-Version des Spiels – über die Intensität respektive den zurückgelegten Weg in Zusammenhang mit einem Potenziometer definiert wird.

Für die Verwirklichung des realistischen und einzigartigen Klanges der Fahrzeugmotoren verwendeten Sounddesigner von Electronic Arts verschiedene Systeme, natürlich abhängig von der zum Zeitpunkt der Entwicklung zur Verfügung stehenden Technik. In den letzten Jahren verwendete Sound Director Charles Deenen eine spezielle Kombination von Tools zur Erstellung der Soundlandschaft. Neben Pathfinder<sup>4</sup> und Renderware Audio<sup>5</sup> wird ein System mit Namen Aears (Audio Event Management System) verwen-

---

1 <http://www.ea.com/de/nfs> <2013-09-26>

2 <http://www.ea.com/de> <2013-09-26>

3 <http://www.namco.co.uk/PDF-manuals/global-vr-manuals/>

det (vgl. Deenen 2010b). Dabei handelt es sich um ein MaxMSP entsprechendes datenstromorientiertes Programm mit der Aufgabe, Soundereignisse in Videospiele zu steuern. Dieses Tool wurde von den Electronic-Arts-Audio-Entwicklern gestaltet. Unter anderem wird ein Programm mit dem Namen Splicer verwendet (vgl. Deenen 2010a), mit dem es möglich ist, effizient Multilayer-Sound aus ProTools-Sessions zu erstellen. Die Programmkombination besteht resultierend aus Programmen zur Erstellung der Soundfiles und Programmen, die auf jene Soundereignisse zurückgreifen und diese steuern bzw. aktivieren und manipulieren, wenn diese im Spiel gefordert sind.

## 4 Entwicklung des Systems

Das vorliegende Kapitel zeigt auf, mit welcher Vorgehensweise das in der Einleitung genannte Ziel einer auditiven Augmentation für eine Carrera Autorennbahn verfolgt wurde. Zunächst soll die verwendete Hardware aufgelistet werden, um dann ihre Funktionsweise zu untersuchen, um aus den elektrotechnischen Bauteilen Prämissen und Umsetzungsansätze zu erörtern. Im Weiteren wird gezeigt, wie die technischen Komponenten mit Software auf einer Recheneinheit kombiniert werden, um eine digitale Interaktion mit dem Objekt zu ermöglichen. Es wird weiter auf das Sounddesign und entsprechende Möglichkeiten der interaktiven Klangerzeugung eingegangen. Das Kapitel schließt mit einer Betrachtung des Gesamtsystems, welches von Usern live getestet wurde.

### 4.1 *Verwendete Komponenten*

Hardware:

- Modellautorennbahnsystem Carrera Digital 132 GT POWER
- zentrale Recheneinheit: HP Pavilion HPE (Hersteller: Hewlett-Packard Company), Modell: h8-1360eg; Prozessor: Intel® Core™ i7-3770 CPU @ 3,40 GHz; installierter Arbeitsspeicher: 12 GB
- Mikrocontroller Arduino Duemilanove
- Kopfhörer Sennheiser HD 215
- Microsoft HD Webcam

Software:

- Cycling'74 Max/MSP 6.1.0 (32 bit)
- Processing 2.0b8

- Arduino-Entwicklungsumgebung 1.0.3
- Ableton Live 9
- Max4Live
- Granulator II (Ableton Live/MAX4Live-Plug-in)

Als zentrale Software-Kombination wird auf die Programmkombination Ableton Live 9, Max4Live und Granulator II zurückgegriffen. Diese Programmkombination fungiert als Audio-Engine des interaktiven Systems.

#### 4.2 Beschreibung des Funktionsmodells

Bei dem Modell handelt es sich um das von der Firma Stadlbauer für Entwicklungszwecke zur Verfügung gestellte spurgebundene Modellautorennbahnsystem Carrera Digital 132 GT POWER<sup>6</sup> im Original-Verkaufszustand. Dieses System bildet die Grundlage für die Entwicklung. Dazu gehören neben den Streckensegmenten im Maßstab 1:24 die Fahrzeugmodelle im Maßstab 1:32, die durch Carrera-124-Digital-Handregler gesteuert werden. Das verwendete Fahrzeugmodell hat die Kennung Ferrari 458 Italia GT2 Risi Competizione „No.062“, 20113. Die Steuerung des Fahrzeuges konzentriert sich auf die Variation der Geschwindigkeit via Handregler. Die Fahrzeugmodelle fahren auf vordefinierten, schienenähnlichen Aussparungen, sogenannten Slots, auf den Fahrbahnsegmenten. Auf der Unterseite der Fahrzeuge, befinden sich Infrarot-LEDs. Die Fahrzeuge werden durch elektrisch leitfähige Schleifer auf der Unterseite des Fahrzeuges mit Strom versorgt.

#### 4.3 Schnittstelle Mensch/Maschine – Kommunikation Hardware/Software

Die Schnittstelle zwischen Fahrzeugmodell respektive Modell-Autorennbahnsystem und Benutzer ist der Handregler. Der Benutzer hat über den Handregler die Kontrolle über das Verhalten des Fahrzeuges respektive seine Geschwindigkeit  $v$ , mit der es sich auf dem Modell-Autorennbahnsystem bewegt.

Beim Eindrücken des Druckreglers beschleunigt das Fahrzeugmodell, wodurch ein Zusammenhang zwischen dem zurückgelegten Weg des Druckreglers und der Geschwindigkeit des Fahrzeuges entsteht. Im Inneren des Handreglers manipuliert der Druckregler ein Schiebepotenzimeter. Das

---

4 <http://www.carrera-toys.com/de/sortiment/digital-132/sets/gt-power-419/2012/> <2013-09-26>

Schiebepotenzimeter erzeugt einen sich verändernden Spannungswert. Die analogen Spannungsänderungen werden mit zwei Kupfer-Schaltdrähten am Schiebepotenzimeter abgefangen. Die analogen Signale werden in digitale numerische Werte umgewandelt. Dazu wird ein Arduino-Duemilanove-Mikrocontroller-Board<sup>7</sup> verwendet (vgl. Odendahl 2010).

Für die weitere Verarbeitung der Daten wurde die Programmierumgebung Cycling'74 MAX/MSP<sup>8</sup> beziehungsweise das Max-Derivat für Ableton Live, MAX4Live, verwendet. Diese Programmierumgebungen wurden gewählt, weil sie eine breite Basis für die Audioprogrammierung und Auswertung visueller Daten bieten und neben der rein numerischen Ausgabe der Werte auch die Möglichkeit bieten, diese einfach und rasch in einem visuellen Kontext darzustellen und zu editieren. Darüber hinaus lassen sich Funktionen aus den audiovisuellen Bereichen verketteten und kombinieren.

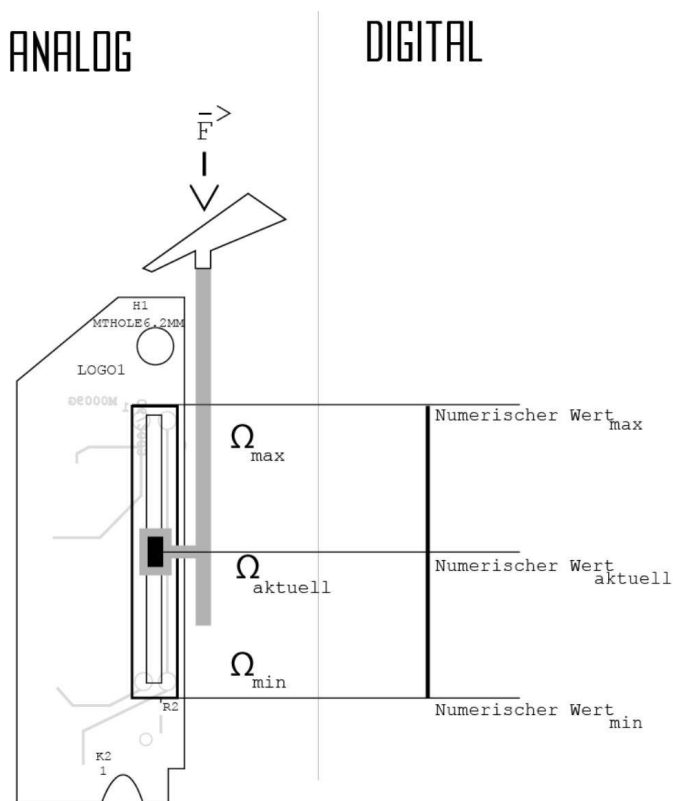


Abb. 1 Handregler; schematische Darstellung der AD-Übertragung

5 <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardDuemilanove> <2013-09-26>

6 <http://cycling74.com/> <2013-09-26>

#### 4.4 Tracking-System/Spatialization

Für die weiter hinten erklärte Spatialization ist es notwendig, die Position der fahrenden Fahrzeugmodelle auf dem Rennbahnsystem zu ermitteln. Um die Soundkulisse so realistisch wie möglich zu gestalten und dem Benutzer den Eindruck zu vermitteln, er wäre bei einer echten Rennsportsituation zugegen, halten es die Autoren für wichtig, die auditiven Eindrücke im dreidimensionalen Klangraum mittels Panning anzuordnen. Vor dieser Entscheidung wurde angedacht, ein Soundsystem in Form von Lautsprechern in die Fahrzeugmodelle zu integrieren. Dieser Ansatz wurde jedoch verworfen, da das Klangerlebnis bedingt durch die Größe der Lautsprecher zu Frequenzverlust in den tieferen Bereichen führen würde.

Der primäre auditive Eindruck ist das Geräusch des Motors im Fahrzeug. Als sekundär werden Soundkulisse (Atmosphäre: Rennsportsituation) und Sound-Events (Reifengeräusche, Zuschauerapplaus etc.) eingeordnet und als tertiär die Position des Klangs im Raum in Relation zur Position des Fahrzeuges auf der Rennbahn.

Um die Position des Fahrzeugmodelles zu ermitteln, wird ein Tracking-System eingesetzt. Dieses ermöglicht es ebenfalls zu erkennen, wann ein Fahrzeugmodell durch zu hohe Fliehkraft oder Kollision von der Bahn abkommt. Diese Information kann dann z.B. dafür verwendet werden, die sekundären auditiven Ereignisse zu starten und zu ergänzen.

Prämissen des Tracking-Systems:

- Das System muss in der Lage sein, mehrere Fahrzeugmodelle zu erfassen und diese eindeutig zu identifizieren.
- Das System muss in der Lage sein, zu erkennen, wann ein Fahrzeugmodell das Rennbahnmodell verlassen hat.
- Das System muss mit der verwendeten Audio-Engine kompatibel sein.

Ausgehend von diesen Prämissen und unter Berücksichtigung der Gestaltung der Audio-Engine (vgl. Kap. 4.5) wird das Tracking-Systems mit Max4Live umgesetzt. Dies ist die Grundlage für die Auswertung der auditiven und visuellen Signale und deren synchronen und voneinander abhängigen Funktionalitäten.

Für den technischen Aufbau des Tracking-Systems wird eine HD-Webcam verwendet, welche so über der Rennbahn angebracht wird, dass die gesamte Rennbahnsituation erfasst werden kann. Tests mit verschiedenen Trackingmethoden ergaben, dass die Methode des Blob-Trackings (Color-Track-

cking mit eindeutiger und konstanter Identifikation der Farbquellen<sup>9</sup>) die besten Ergebnisse brachte.

Zur Implementierung in Max4Live wurde die externe cv.jit-Objektbibliothek<sup>10</sup> mit Möglichkeit zur Blob Detection angewandt. Das von der Kamera erfasste Bild des Streckenmodells wird in einer Matrix aus einer horizontalen x-Achse und einer vertikalen y-Achse abgebildet. Die Farbwerte der Fahrzeuge haben in dieser Matrix bestimmte, der Position des jeweiligen Fahrzeugs entsprechende Koordinaten. Die Eingrenzung auf einen bestimmten Farbwert erfolgt mit den MaxMSP-Objekten jit.chromakey und swatch. Mit letzterem wird auf visueller Basis ein Farbwert sowie dessen Intensität definiert. Dadurch kann ein Fahrzeugmodell mit entsprechender Farbgebung oder Farbmarkierung isoliert und eindeutig identifiziert werden. Die Position der Fahrzeug-Blobs wird mit einem cv.jit.blobs.centroids-Objekt<sup>11</sup> ermittelt und in einem pictslider-Objekt dargestellt. Diese Kombination ermöglicht die Ausgabe der Fahrzeugposition als numerische Werte, welche – ähnlich wie die des Handreglers – dazu verwendet werden können, Ereignisse, respektive das Panning, zu steuern. Alle Objekte lassen sich in MAX4Live bzw. Granulator II implementieren.

Für einen funktionierenden Aufbau ergeben sich folgende Vorgaben:

- Die Auflagefläche, auf welcher sich das Carrera-Rennbahnsystem befindet, sollte schwarz sein. Die schwarze Oberfläche darf nicht reflektieren, da reflektierte Farbinformationen (z. B. vom Fahrzeugmodell) zu Irritationen in der Erkennung führen können.
- Das Umgebungslicht sollte eine neutrale Farbtemperatur um die 5500 °K haben. Licht mit einer zu warmen (Rotanteile) oder kalten (Blauanteile) Temperatur verfärbt den tatsächlichen Farbeindruck.
- Die Lichtquellen sollten das Rennbahnsystem gleichmäßig beleuchten. Intensive Überstrahlung und intensive Schatten sind zu vermeiden, da sonst Farbinformationen verloren gehen.
- Die Fahrzeugmodelle werden mit einer eindeutigen Farbmarkierung versehen. Diese sollte auf dem Dach des Fahrzeugmodells oder an einer gleichwertigen Position angebracht werden.
- Für die Farbmarkierung der Fahrzeuge sollte eine matte Farbe oder ein matter Lack in einer prägnanten Farbe verwendet werden. Eine stark

---

7 <http://cycling74.com/docs/max5/tutorials/jit-tut/jitterchapter25.html> <2013-09-26>

8 <http://jmpelletier.com/cvjit/> <2013-09-26>

9 <http://cycling74.com/forums/topic/cv-jit-label-cv-jit-blobs-centroids-for-multiple-objects/> <2013-09-26>



glänzende und reflektierende Lackierung reflektiert einfallendes Umgebungslicht auf Oberflächen, führt zu Überstrahlung und zu Farbinformationsverlust in der Software-Analyse.

Fazit der Anwendung dieses Systems ist es, dass sich die Fahrzeuge eindeutig identifizieren lassen, jedoch externe Faktoren der Umgebung zu Unzuverlässigkeiten in der Erkennung und Verfolgung führen. Bei optimalen externen Faktoren ist das System reibungslos funktionsfähig.

#### 4.5 *Synthese des Motorensounds*

Unter Betrachtung der Zieldefinitionen und der verwandten Systeme wird als Basis für den interaktiven, also von einer physischen externen Quelle beeinflussbaren Sound die Methode der Granularsynthese (vgl. Truax 1988) verwendet.

Bei der Granularsynthese wird ein Schallsignal in eine Vielzahl von nur wenige Millisekunden langen Partikeln, sogenannten Grains, unterteilt. Die einzelnen Grains werden dann nicht nur anhaltend nacheinander abgespielt, sondern ineinander überblendet, um einen für das menschliche Ohr einheitlichen Klang des Fahrzeuges, respektive der Be- oder Entschleunigung, zu erzeugen.

Neben der letztendlich verwendeten Methode der Granularsynthese wurde das Verfahren Additive Klangsynthese in Form der Frequenz-/Amplitudenmodulation auf ein mit Steinberg Cubase synthetisch erzeugtes motorenähnliches Geräusch angewendet. Dieses Verfahren verfremdet den Klang bei einer zu intensiven Modulation jedoch so stark, dass er nicht mehr als Motorengeräusch zu erkennen ist.

Das System Granulator II<sup>12</sup> von Robert Henke ist ein ausgereiftes System zur Granularsynthese im interaktiven Bereich. Granulator II basiert auf MAX4Live<sup>13</sup>, einem vom Cycling'74 speziell für Ableton Live entwickelten System auf der Basis von Max. Diese Granularsyntheseeinheit kommt in der vorliegenden Arbeit zum Einsatz.

Bei Granulator II handelt es sich um ein Max-Patch, welches als Anwendung/Plug-in in Ableton Live implementiert wird. Da es sich um ein Max-Patch handelt, können alle Funktionen von Max ebenfalls in Max4Live angewendet werden; darunter auch Jitter-Objekte für das visuelle Tracking des

---

10 <http://roberthenke.com/technology/granulator.html> <2013-09-25>

11 <http://www.ableton.com/de/live/max-for-live/> <2013-09-26>

Fahrzeuges (vgl. Kap. 4.4). Der Granulator-II-Patch kann direkt in der Ableton-Live-/MAX4Live-Oberfläche bearbeitet werden. Darin findet sich das Objekt File-Position. Durch Manipulation des numerischen Wertes der File-Position verändert sich der wiedergegebene Grain des geladenen Sound-Files. In diesem Fall: das Motorgeräusch.

Die digitalisierten Werte des Handreglers werden in das Objekt File-Position gespeist (da es sich um ein Max-Objekt handelt, verfügt es über Ein- und Ausgänge für eine datenstromorientierte Programmierung). Die ausgehenden Werte des File-Position-Objekts werden nun vom Signal des Handreglers definiert. Ergo steuert nun der User das Verhalten des Grain im Soundfile, respektive das Verhalten des Motorsounds. Wie im Kapitel 4.4 bereits angedeutet, können auch visuelle Signale verwendet werden, um die auditive Events zu beeinflussen oder zu initialisieren. Beispiel: Das Fahrzeug kommt von der Fahrbahn ab und befindet sich somit nicht mehr in der Bildmatrix der Blob Detection; x- und y- Koordinate senden den Wert 0. Dieser Wert initialisiert ein Absinken oder einen kompletten Stopp des Motorgeräusches. Ein weiteres Beispiel dieser Funktion findet sich im anschließenden Kapitel.

Der Motorsound unterliegt, bedingt durch die Verwendung der Granularsynthese, bestimmten Richtlinien. Die Aufnahme des Motorgeräusches muss von einem laufenden Motor im Ruhezustand (ohne Gas;  $v = \min$ ) bis hin zu der maximalen Drehzahl (Maximalgeschwindigkeit;  $v = \max$ ) gleichmäßig ansteigen. Zum anderen dürfen störende Geräusche, wie beispielsweise das Geräusch einer Gangschaltung, nicht auftreten, da diese durch die unendliche Wiederholung der Grains zu einem heftigen, sich wiederholenden Störgeräusch werden können, befände sich dessen Position direkt über dem Schaltergeräusch. In ersten Testläufen hat sich gezeigt, dass ein saches Geräusch der Reifen-Rotation beziehungsweise das zwischen Reifen und Asphalt erzeugte Geräusch der Reibung dem Sound eine realistischere Anmutung gibt. Durch die Gleichmäßigkeit der Reibung bleibt das Geräusch auch bei konstanter Wiederholung ebenmäßig und wird somit nicht als Störgeräusch empfunden. Da es sich bei den Fahrzeugmodellen um maßstabsgetreue Nachbildungen echter Rennfahrzeuge und bei der visuellen Rennbahn-Kulisse um ein Rennereignis handelt, sollten diese Faktoren bei der Wahl des Motorsounds berücksichtigt werden. Inspiriert wurden Experimente, Testreihen und Aufbau von Charles Deenen's Car Recording Guide (vgl. Deenen 2010b).

#### 4.6 Sound-Events

Neben der primären Sonifikation, dem Motorensound, soll die Rennbahn-Kulisse und deren auditive Wirkung noch durch weitere Sound-Elemente ergänzt werden. Als auditive Hintergrund-Soundkulisse dient eine Audio-Aufnahme einer Rennsportsituation mit Zuschauern – jedoch ohne bereits laufendes Rennen und somit ohne Motorensounds. Diese Soundkulisse läuft während des Modellrennbahn-Rennens konstant im Hintergrund in einer Schleife. Ergänzt wird diese Atmosphäre durch Sound-Elemente, die nur dann abgespielt werden, wenn bestimmte Aktionen während des Rennens eintreten. Initialisiert werden diese Events durch Werte, die von der Blob-Detection-Bildmatrix (x-/y-Werte im Koordinatensystem der Matrix) gesendet werden (Beispiel: überquert ein Modellfahrzeug die Ziellinie bei  $x/2$ , wird ein Soundevent durch eine IF-Anweisung gestartet). So kann auch abwechselnd Jubeln und/oder Reifenquietschen initialisiert werden, wenn das Modellfahrzeug aus der Kurve fliegt und somit das Renngeschehen verlässt. So können auch ganze Sektionen auf der Rennbahn bzw. in der Bildmatrix mit Anweisungen (Beispiel: IF  $\$i1 < 1$  THEN 1 ELSE 0; wobei die Variable  $\$i1$  einen Wert auf der x-Achse der Matrix darstellt) als Event-Initialisator definiert werden.

### 5 Ergebnisse

Ziel der Arbeit war es, dem Benutzer ein intensives und interaktives Spielerlebnis zu bieten. Eine empirische Studie mit statistisch validen Ergebnissen wurde bisher noch nicht durchgeführt. Um eine vorläufige Einschätzung des Systems zu erhalten, die über die subjektiv persönliche Wahrnehmung der Autoren hinausgeht, wurde ein Usertest mit sechs Personen (jeweils Rennen mit zwei Wagen, respektive zwei Personen, in unterschiedlichen Kombinationen) unterschiedlicher Altersstufen und unterschiedlicher Profession gestartet. Dazu wurden die Probanden zum Spielen mit der Modellrennbahn gebeten und das Spiel alternierend mit und ohne Klang durchgeführt. Die Kommentare der Probanden lassen darauf schließen, dass die virtuelle Klangszenerie des Systems als positiv und das Spiel bereichernd wahrgenommen wurde. Audioereignisse wie Kommentare des Sportkommentators oder Applaus der Tribünenzuschauer wurden von den Probanden während des Spiels aufgegriffen, ergänzt und kommentiert. Besonders der Handregler und das von ihm abhängige klangvolle Motorengeräusch wurden in Kommentaren als stimulierend beschrieben.

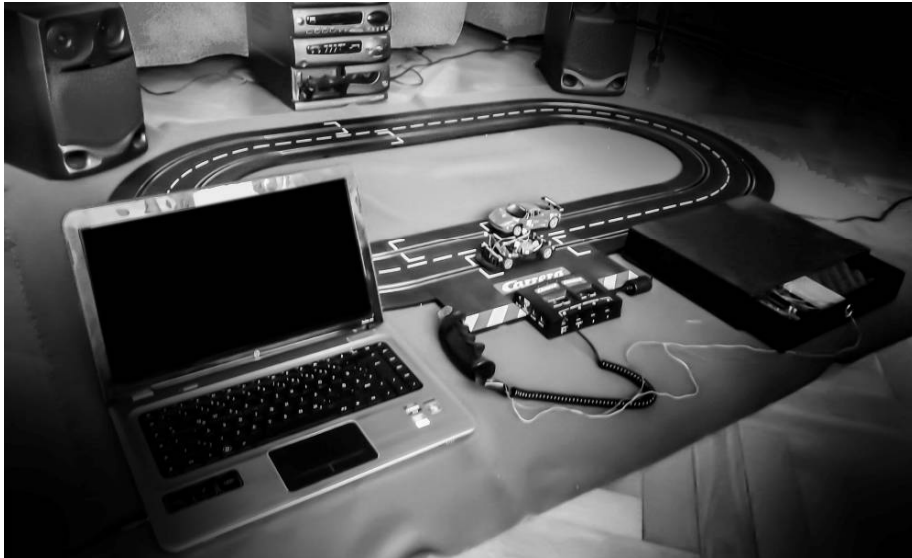


Abb. 2 Das Gesamtsystem einer sonifizierten Modellrennbahn

## 6 Diskussion und Ausblick

Diese Arbeit zeigt, dass es möglich ist, ein interaktives und auditives Klang-szenario für ein Funktionsmodell zu entwickeln. Es wurde deutlich, dass ein solches System technisch umsetzbar und anwendbar ist. Die Sounderzeugung und Soundmanipulation mittels der Programmverbindung von Ableton, Max4Live und Granulator II bietet eine Plattform mit sehr guten Eigenschaften, was die auditive und visuelle Interaktion mit Funktionsmodellen betrifft. Das Tracking-System mittels Blob-Tracking arbeitet unter den oben skizzierten Bedingungen zuverlässig, zeigte jedoch eine gewisse Störanfälligkeit bei nicht optimalen Lichtsituationen. Es zeigte sich, dass der Übertrag der interaktiven Technologie auf das klassische Funktionsmodell von Probanden in einer Testreihe ohne Irritationen gut angenommen wurde. Es zeigte sich auch, dass sich interaktive Technik technisch stabil und atmosphärisch stimmig und vom Gesamtbild her harmonisch auf Modelle übertragen lässt, die bis dato diese ergänzenden interaktiven Möglichkeiten noch nicht nutzen. Um zu einem System zu kommen, welches dem alltäglichen Spieleinsatz gewachsen ist, müssten bei vorliegenden Prototypen eine erhöhte mechanische Stabilität und eine Verbesserung der Trackingtechnologie vorgenommen werden. Ebenso gibt es in der klanglichen Ausgestaltung des Motorsounds und der Reaktion auf das Verhalten des Modellautos noch Möglichkeiten zur Optimierung. Ein Ziel für die zukünftige Entwicklung wäre eine

solche Optimierung des Systems mit einer nachfolgenden empirischen Untersuchung, um den tatsächlichen emotionalen Mehrwert zu messen, den die Sonifikation der Modellautorennbahn auf die Benutzer ausüben kann.

## **Literaturverzeichnis**

- Deenen, C. (2010a): Charles Deenen Special: “Need For Speed” [Exclusive Interview]. In: *DesigningSound.org*, Febr. 23, 2010. <http://designingsound.org/2010/02/charles-deenen-special-need-for-speed-exclusive-interview/> <2013-09-25>.
- Deenen, C. (2010b). Charles Deenen Special: Car Recording Guide. In: *DesigningSound.org*, Febr. 25, 2010. <http://designingsound.org/2010/02/charles-deenen-special-car-recording-guide> <2013-09-25>.
- Odendahl, M.; Finn, J.; Wenger, A. (2010): *Arduino: Physical Computing für Bastler, Designer & Geeks*. 2. Aufl., Köln: O’Reilly.
- Truax, B. (1988): Real-Time Granular Synthesis with a Digital Signal Processor. In: *Computer Music Journal* 12 (2), 14–26.