

Zusammenfassung Projekt „KME4Immersive“

Ausführlicher Projekttitle:	KME4Immersive - Immersiver Soundprozessor auf Basis der Integration in netzwerkfähige digitale Audiotechnik zur räumlich realen Darstellung von Musikinstrumenten im 3D Raum
Kurztitel/Akronym:	KME4Immersive
Projektlaufzeit:	01.11.2020 bis 31.10.2023

Projektbeteiligte Einrichtungen	Ansprechpartner
Klingentaler Musikelektronik GmbH	Herr Kerst Glaß
Fraunhofer Institut für Digitale Medientechnologie	Herr René Rodigast
Hochschule für Technik Wirtschaft und Kultur, Leipzig	Herr Christian Birkner

Inhaltsverzeichnis

0	Abstract	2
1	Projektziele	2
2	Projektablauf	3
2.1	Konzept- und Systemdesign	4
2.2	Hard- und Softwareentwicklung	6
2.3	Implementierung.....	7
3	Projektergebnisse	10
4	Potentielle Nutzung der Projektergebnisse	11

0 Abstract

Das Verbundprojekt KME4Immersive (V2.2) stellt ein gemeinsames F&E-Projekt der Klingenthaler Musikelektronik GmbH, des Fraunhofer-Institut für Digitaler Medientechnologie IDMT Ilmenau und der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur HTWK Leipzig dar. Die Ziele dieses Gesamtvorhabens waren die Erforschung von virtuell räumlich-akustischen Verfahren, die Entwicklung eines interaktiven und modularen 3D-Soundsystems mit akustischer 3D-Simulation und die Implementierung in einen hardwarebasierten Echtzeitprozessors. Dieser soll in digitale Audio-Netzwerke (Audio over IP – AoIP) integrierbar bzw. auf die aktuellen (K.M.E.) Verstärkergeneration ausgerichtet sein, Algorithmen zur Berechnung einzelnen Signalwege für die Wiedergabe auf einer Vielkanal Lautsprecheranordnung enthalten und somit auf die Bedürfnisse aktueller immersiver Wiedergabeumgebungen ausgerichtet sein. Des Weiteren war für den Prozessor die Entwicklung eines interaktiven User Interface geplant, welches an die Anforderungen spezieller Nutzergruppen angepasst sein soll. Für diese waren im Besonderen der Instrumentenbau, (audiotechnische) Ausbildungsinstitute sowie Anbieter und Nutzer kleiner und mittelgroßer immersiver Beschallungslösungen benannt. Im Ergebnis ist es gelungen, alle angestrebten Projektziele, insbesondere die Umsetzung eines 3D-Soundprozessors als funktionsfähigen Demonstrator zu realisieren.

1 Projektziele

Im Projekt soll die Erforschung von virtuell räumlich akustischen Verfahren und Technologien zur Anwendung im Instrumentenbau, sowie Entwicklung eines intelligenten, interaktiven, immersiven und modularen Soundsystems zur akustischen 3D Auralisation von Musikinstrumenten in einer virtuellen Umgebung verfolgt werden. Die beschriebene Technologie wird für Wiedergabe in realen Aufführungsräumen (Opernhaus, Open Air Bühnen, Studios, ...) und zur Generation virtueller Schallquellen in Laboren der Instrumentenbauer erforscht und entwickelt. Dies beinhaltet die Entwicklung eines 3D Immersive Soundprozessors und die Integration in eine digitale Audio-, Netzwerk- und Verstärkerumgebung sowie die Implementierung der Softwarealgorithmen zur Berechnung der einzelnen Signalwege für die Wiedergabe auf einer Vielkanal Lautsprecheranordnung.

Die Möglichkeiten durch die Technologie der Wellenfeldsynthese (objektbasiertes Audioverfahren) komplexe Schallfelder zu synthetisieren und damit detaillierte realitätsnahe akustische Parameter zu auralisieren und dies im Instrumentenbau einzusetzen ist einzigartig und bietet im Rahmen zukünftiger Entwicklungsmethoden im Instrumentenbau massive Vorteile gegenüber etablierten Verfahren.

Bei dem Audioprozessor liegt das Augenmerk auf der echtzeitfähigen Verarbeitung von bis zu 64 Audiokanälen und die Übertragung der Signale auf digitalen ethernetbasierten Protokollen. Die Besonderheit besteht darin, dass der Audioprozessor auf Basis von DSP bzw. FPGA Prozessoren arbeiten soll, welche unabhängig von PC-Betriebssystemen äußerst stabil lauffähig sein sollen. Dies ist gerade im Liveeinsatz äußerst wichtig.

Darüber hinaus soll das Softwareprogramm, welches die Algorithmen des Renderings beinhaltet, in die Hardware des Prozessors „eingebrennt“ sein, um eine hohe Stabilität des Systems gegenüber

„Softwareabstürzen“ zu gewährleisten. Gegenüber herkömmlicher Softwarelösungen sind solche Hardwareoptimierten Systeme günstig reproduzierbar und können, wie hier geplant, in Herstellerumgebungen eingebunden werden. Ferner sind Softwarelösungen abhängig von Betriebssystemen und kommerziellen Prozessorplattformen die sich schnell ändern und Anpassungen erforderlich machen. Ein wesentlicher Aspekt ist auch die geringe Systemlatenz die gerade im Beschallungsbereich bei großen Signallaufzeiten durch die Luft auftritt und mit reinen Softwarelösungen oft schwer umzusetzen ist.

2 Projektablauf

Der gesamte Projektverlauf wurde stark durch die Covid19 Pandemie beeinflusst, was alle Projektpartner vor große Herausforderungen stellte. Neben der persönlichen Belastung aller Beteiligten konnten notwendige Projekttreffen lange nicht wie geplant in Präsenz durchgeführt werden, die Personalsituation verschärfte sich erheblich, Messen und Tagungen wurden verschoben oder ganz abgesagt und eingeplante technische Infrastruktur war über längere Zeiträume durch Lieferengpässe nicht verfügbar. Trotz dieser erheblichen Hindernisse ist es im Ergebnis gelungen, alle angestrebten Projektziele, insbesondere die Umsetzung eines 3D-Soundprozessors als funktionsfähigen Demonstrator zu realisieren.

Der Projektablauf gliederte sich grob in die drei Phasen Konzept und Systemdesign, Hard- und Softwareentwicklung sowie Implementierung, welche sich zeitlich paritätisch auch auf den Projektzeitraum 11-2020 bis 11-2023 verteilten. Die erfolgreiche Abschlusspräsentation des Projektes erfolgte auf der Tonmeistertagung im November 2023 in Düsseldorf.

In der ersten Projektphase (Konzept und Systemdesign) wurde von der HTWK die Benutzerführung und das User Interface, die Evaluation der Anforderungen an das System für den Einsatz in der Ausbildung und in immersiven Beschallungssystemen, die Implementierung von HRTF-Modellen für die Binauralisierung und die Produktion von immersivem Content zur qualitativen Bewertung, bearbeitet.

Die zweite Projektphase (Hard- und Softwareentwicklung) wurde weitgehend von den Partnern K.M.E und Fraunhofer IDMT umgesetzt.

In der dritten Phase (Implementierung), wurde die Software in die Hardware implementiert und das Gesamtsystem in eine Umgebung implementiert und erprobt (Bild 1).

Mit der Vorstellung des Demonstrators auf der TMT im November 2023 konnte das Projekt erfolgreich abgeschlossen werden. Das vorgestellte System ermöglicht die Erstellung von akustischen 3D-Umgebungen in Echtzeit für 32 Objekte mit bis zu 32 Lautsprechern, die Einbindung in Audionetzwerke via Dante, die parallele Binauralisierung unter Nutzung individueller HRTF-Messungen zur möglichen Anwendung im Instrumentenbau sowie die Steuerung des Systems über ein erweitertes netzwerkbasierendes und interaktives User Interface unter Berücksichtigung des Einsatzes in Ausbildung und immersiver Beschallung. Alle avisierten Projektziele konnten somit umgesetzt werden.



Bild 1: Der Demonstrator des KME4Immersive-Systems (links) mit Steuersoftware (rechts) im Immersiven Dome der HTWK Leipzig

2.1 Konzept- und Systemdesign

Mit dem Ziel des Entwurfes der Benutzerführung und der Definition der Usability für das System wurde ein grundlegendes Bedienkonzept entworfen sowie die wesentliche Aufteilung von Parametern in ein GUI beschrieben. Des Weiteren wurde die Art der Nutzung umfassender beschrieben und damit auch die Möglichkeit der Bedienung über mobile Devices festgelegt bzw. die daraus resultierenden Anpassungen an das Nutzerinterface definiert.

Anforderungen an das System hinsichtlich der Nutzung 1). in der Lehre bzw. aus Sicht der Hochschule und 2.) für immersive Beschallungsszenarien wurden untersucht und beschrieben. Für den ersten Teilbereich wurde insbesondere die Darstellung und Nachvollziehbarkeit von Workflows und Signalflüssen beschrieben, die für die Vermittlung von Funktionsweise und technischen Bausteinen notwendig sind. Weitere Punkte sind dahingehend auch ein umfassendes und möglichst frei platzierbares Metering und eine grafische Editiersoftware. Für den zweiten Teilbereich wurden die technischen Parameter, Dimensionen und Schnittstellen im (immersiven) Veranstaltungsbereich untersucht und für das System entsprechend definiert.

Des Weiteren wurden Ausbaustufen, Nutzungsszenarien und handelnde Personas beschrieben. Dabei war ein wichtiger Punkt auch die Öffnung hin zur Integration von Consumertechnik, um den Kreis potentieller Nutzer im Hinblick auf kleinere Kulturhäuser und –veranstalter zu erweitern. Im begleitenden Austausch mit den Projektpartnern wurden die Anforderungen gemeinsam diskutiert, evaluiert und auch priorisiert, um die avisierte Hardwareplattform genauer zu definieren bzw. in einer anschließenden Projektphase die offen gebliebenen Anforderungen zu implementieren.

Die Entwicklung eines kopfhörerbasierten Simulationsmodells bzw. eines Binauralisierers stellte einen weiteren Teil des Projektes dar. Im Rahmen der Bearbeitung wurde daher zuerst eine umfangreiche Analyse und Bewertung von möglichen Tools und Workflowlösungen vorgenommen, deren Ergebnisse anschließend gemeinsam diskutiert wurden. Auf dieser Basis wurde eine Lösung priorisiert, die extern an das System via Dante angebunden werden kann und neben den Audio- auch Metadaten zur Position der zu virtualisierenden Lautsprecher nutzt, um eine direkte Binauralisierung zu ermöglichen. Dies ermöglichte des Weiteren eine bessere Anpassung an die Anforderungen sowie eine, vom System unabhängige Konfiguration und Bedienung. Für die Binauralisierung wurde ein, vom Institut für elektronische Musik in Graz entwickelter und frei nutzbarer Algorithmus eingesetzt, welcher durch die Integration von eigenen SOFA-Messungen individuelle HRTF-Modelle und damit die angestrebte Anpassung ermöglicht. Dafür wurde zuerst das Verfahren zu Erstellung von SOFA-Files näher untersucht und angepasst, so dass erste eigene Testmessungen möglich waren. Für die Umsetzung wurde über die Investitionsmittel ein Kunstkopfsystem mit Drehteller von Head Acoustics sowie zwei Mikrofone von MTG beschafft und damit in Q3 2021 eine erste HRTF-Messung erstellt.

Im Mai 2021 wurde mit der Evaluation und Entwicklung eines Produktionsworkflows für immersiven Content begonnen. Dabei wurden verschiedene Workflows, Tools und Schnittstellen evaluiert und ein nutzbarer Workflow entworfen, welcher in Q3 2021 mit grundlegender Hardware in einem kleinen immersiven Projekt getestet wurde.

Ein besonderer Meilenstein war im Spätherbst 2021 dann die erste öffentliche Vorstellung des Projektes vom 3. bis 6. November auf der Tonmeistertagung 2021 in Düsseldorf. Im Rahmen der Präsentation der HTWK im Education Forum konnten wir mit einem Rollup und zahlreichen Gesprächen ein bemerkenswertes Interesse erzielen, u. A. auch beim VDT (Verband Deutscher Tonmeister*innen) als Veranstalter der Tagung.

In Q1 2022 wurde die Implementierung einer flexiblen Binauralisierungslösung und die Anbindung an das System mit einem externen Mini-PC via Dante umgesetzt. Der dafür notwendige PC mit Binauralisierer-Lösungen von Dear-VR und Harpex konnte erst Ende 2021 geliefert werden. Damit konnte der bisherige Workflow entsprechend angepasst und die bereits erstellten HRTF-Messungen im SOFA-Format implementiert werden. Zur Nutzung von Metadaten wurde anschließend eine grundlegende Struktur geschaffen, um nach der Fertigstellung des Demonstrators auch diese dann anbinden zu können.

Für die Erstellung weiterer HRTF-Messungen wurden parallel neue Lösungen und Alternativen getestet und evaluiert. So konnte der ursprüngliche Workflow hinsichtlich der Auflösung und der Verarbeitung in Matlab deutlich verbessert und um eine untere Hemisphäre ergänzt werden. Mit diesem Messaufbau wurde in Q3 2022 eine aufwendigere zweite HRTF Messung im reflexionsarmen Raum von K.M.E. in Klingenthal realisiert und damit die Auflösung der Binauralisierung deutlich verbessert werden (Bild 2 und Bild 3).

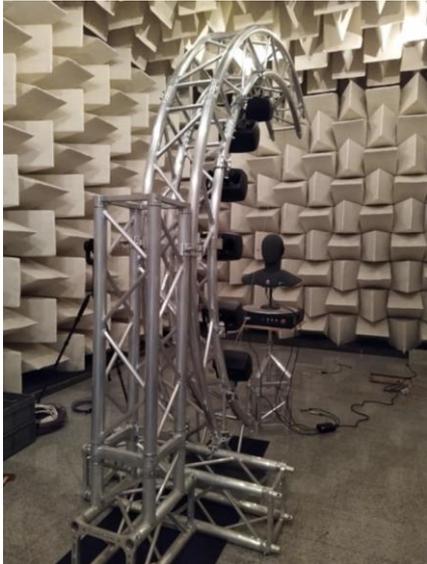


Bild 2: Zweite HRTF Messung im reflexionsarmen Raum von K.M.E



Bild 3: Projekttreffen bei K.M.E. in Klingenthal

Die Planung immersives Audiomaterial bei Veranstaltungen unter Live-Bedingungen zu produzieren, und das System zu testen konnte corona-bedingt in den Jahren 2021 und 2022 nicht erfolgen. Daher wurde für die weitere Bearbeitung vorerst ein alternativer technischer Workflow für Testaufnahmen umgesetzt, welcher die Evaluation der bereits vorhandenen Komponenten des Systems hinsichtlich ihrer Funktionalität ermöglichte.

2.2 Hard- und Softwareentwicklung

Im Herbst 2022 konnte, wie geplant, die Hardware für den Demonstrator und damit ein wichtiger Meilenstein des Projektes KME4Immersive fertig gestellt werden (Bild 4). Mit diesem konnten sowohl erste Testläufe, als auch die geplanten Arbeitspakete zur Evaluation und Dokumentation begonnen werden. Darüber hinaus wurde das System in den darauffolgenden Monaten weiter optimiert, um die notwendigen Leistungsreserven für die Integration bzw. Anbindung von Editoren und GUI-Bausteinen umzusetzen.

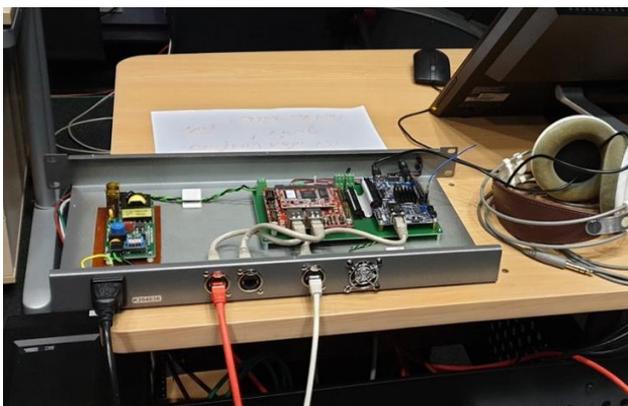


Bild 4: Demonstrator des KME4Immersive Prozessors im Test beim IDMT (links) und im Zuge der ersten Integration an der HTWK (rechts)

Im Zuge dieser Optimierung konnten dann mit dem Prozessor 32 Objekte dreidimensional auf bis zu 32 Ausgänge in Echtzeit gerendert werden. Dafür steht eine 64-kanalige Dante Schnittstelle zur Verfügung, welche die parallele Anbindung an das externe Monitoring und die Binauralisierung

ermöglicht. Über die zusätzliche integrierte Netzwerkschnittstelle kann die Steuerung des Systems erfolgen sowie Metadaten via OSC ausgetauscht werden.

Für die umfassende Evaluation und Einbindung des Demonstrators konnte an der HTWK ein immersiver Dome genutzt werden. In dieser begehbaren (\varnothing 6m) geodätische Sphere mit insgesamt 32 Lautsprechern können immersive Inhalte in einem geschlossenen 360°-Schallfeld wiedergeben und so die komplette Leistung des Prozessors getestet werden (Bild 5). Dies wurde im Februar zu einem weiteren Projekttreffen in Leipzig erstmals getestet und in der Folgezeit ausgebaut. Mit diesem Setup konnten dann auch die Demonstratorevaluationen begonnen werden.

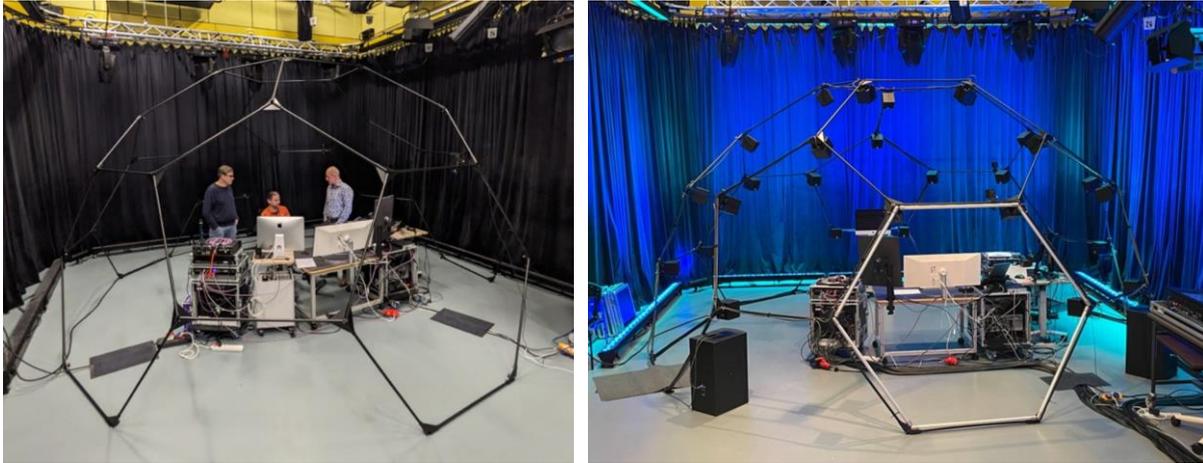


Bild 5: Projekttreffen im Februar 2023 in Leipzig (links) und immersiver Dome mit Prozessor im Testaufbau (rechts)

2.3 Implementierung

Im Frühjahr 2023 wurde die Binauralisierung letztmalig aufgegriffen und fertig gestellt. Dabei wurden die bisherigen HRTF-Messung ins SOFA-Format übertragen. Die daraus entstandenen Presets (gefiltert und ungefiltert) wurden in verschiedenen externen Binauralisierungen evaluiert (IEM / SPARTA, DearVR, Harpex, SPAT, IPL Virtouso) und mit dem externen Host-Rechner, der via Dante mit dem Prozessor verbunden ist getestet. In Grundzügen wurde dabei auch die Übertragung der Lautsprecherpositionen aus dem KME4I Demonstrator via OSC umgesetzt. In diesen Tests zeigte sich SPAT als das flexibelste Tool, welches auch hinsichtlich der Metadaten am besten mit dem Prozessor kommuniziert. Darüber hinaus wurde abschließend noch eine HRIR-Messung an der HTWK umgesetzt und integriert, die neben der reinen Binauralisierung auch den dazugehörigen Raum mitefasst und so die Implementierung persönlicher, gewohnter Hörumgebungen ermöglicht – eine Erweiterung, die vor allem dem avisierten Einsatz im Instrumentenbau entspricht. Die Implementierung bzw. Anbindung der kopfhörerbasierten Simulationsumgebung konnte damit vollumfänglich und mit mehreren HRTF und HRIR-Messungen (Bild 6) gegenüber der ursprünglichen Planung deutlich erweitert abgeschlossen werden.

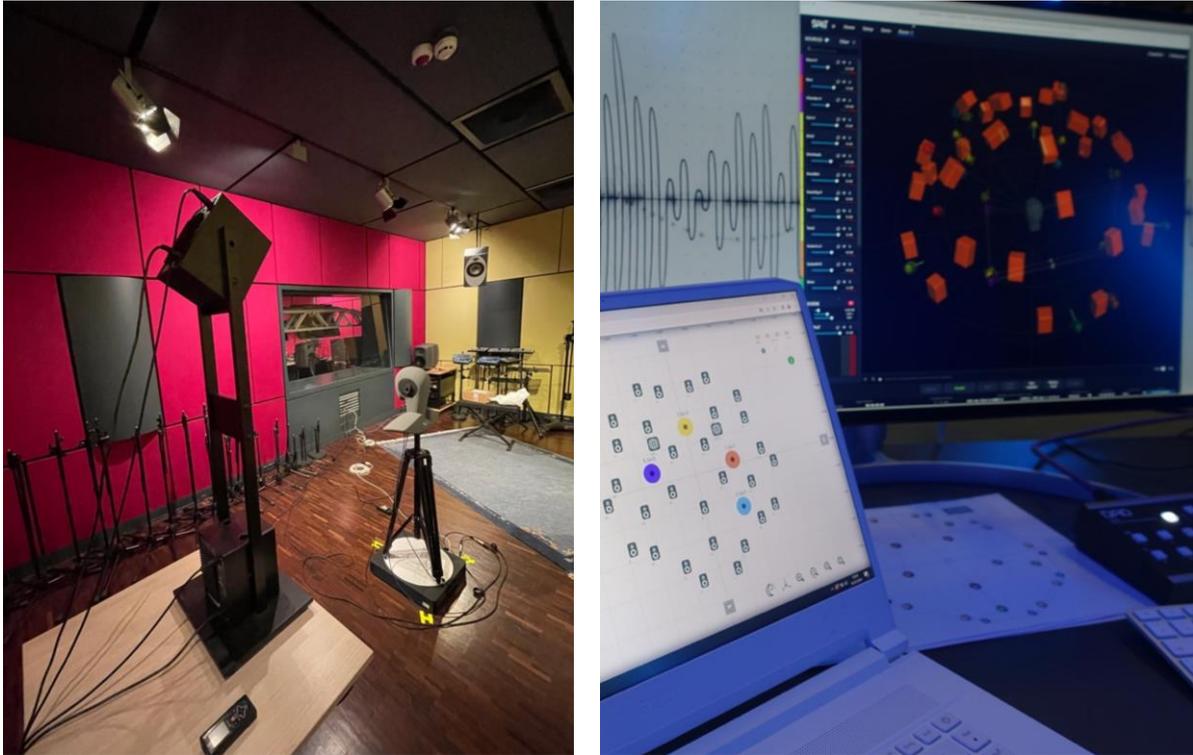


Bild 6: HRIR-Messung im Studio der HTWK (links) und Anbindung von SPAT (hinten) an den KME4I-Demonstrator (vorn)

Die Evaluation der Produktionsworkflows für immersiven Content und die Produktion von immersivem Audiomaterial zur qualitativen Bewertung der Entwicklungsschritte konnte im Oktober 2023, nach der Lieferung eines alternativen Monitorcontrollers von RTW, umgesetzt werden. Einbindung des immersiven Contents in das System für die weitere Evaluation des Systems wurde anschließend umgesetzt. Mit der erfolgreichen Integration der Binauralisierung, der Einbindung in den immersiven Dome der HTWK und der Umsetzung der Benutzerführung konnte damit auch der gesetzte Meilenstein der abgeschlossenen Evaluation des Demonstrators erreicht werden.

Im Oktober und November 2023 wurde die Dokumentation und ein Tutorial für den Demonstrator erstellt. Dabei wurde auch die GUI bzw. der Workflow der Steuerung des Systems letztmalig angepasst und auch für Mobile Devices realisiert. Somit ist es möglich, einzelne Bestandteile der Steuerung und Visualisierung auch parallel zur Gesamtsteuerung des Systems auszulagern und mobil zu nutzen, beispielsweise zur Anpassung von Objektpositionen in der Wiedergabe. Diese Punkte wurden insbesondere im Hinblick auf die Abschlusspräsentation im November 2023 auf der TMT in Düsseldorf noch integriert.

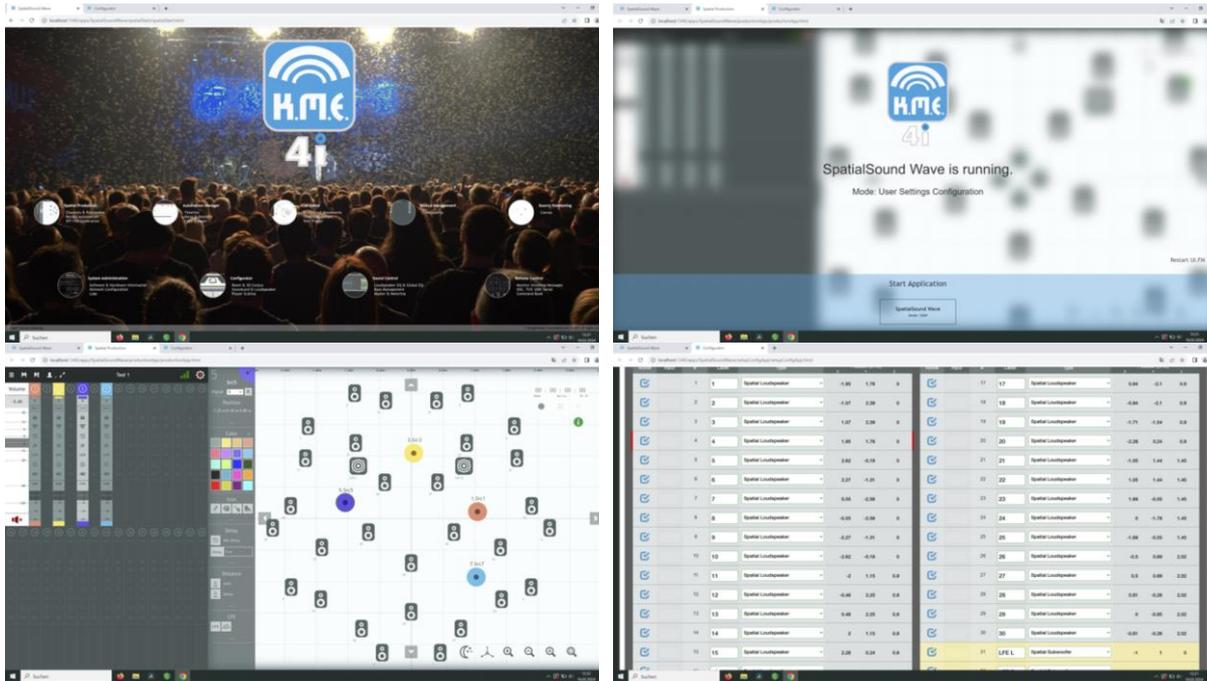


Bild 7: Bedienoberfläche des KME4I Demonstrators mit Startscreen (oben links) dem SpatialSound Wave Screen (oben rechts) Produktionsoberfläche (unten links) und Konfigurationsoberfläche für die Lautsprecherpositionen (unten rechts)

Das gesamte Kooperationsprojekt konnte schließlich im November mit der Präsentation des Systems auf der Tonmeistertagung in Düsseldorf abgeschlossen werden. Neben den Hintergrundinformationen zum Projekt konnte der funktionsfähige Demonstrator mit der Steuerung und der mobilen Positioning-App präsentiert und demonstriert werden. System und Projekt stießen, wie auch schon 2021, auf sehr großes Interesse (Bild 7). In der Folge ist daher auch für Sommer 2024 ein Bericht über das Projekt im Magazin des VDT im Gespräch.





Bild 8: Abschlusspräsentation des KME4I Demonstrators auf der Tonmeistertagung in Düsseldorf im November 2023

3 Projektergebnisse

Es konnten alle im Verbundprojektantrag formulierten Arbeitsziele umgesetzt und das System, mit der bewilligten Verlängerung des Projektzeitraums um vier Wochen erfolgreich, präsentiert werden. Der Ausgaben- bzw. Zeitplan wurde eingehalten.

Neben den Erfahrungen im Zuge der Umsetzung der Arbeitsschritte konnten im Laufe des Projektes an vielen Stellen auch Verbesserungen und Erweiterungen umgesetzt werden. So ist die letztendliche Umsetzung der Binauralisierung für das System weitaus flexibler und mit drei integrierten HRTF- bzw. HRIR-Messungen deutlich leistungsfähiger gegenüber der ursprünglichen Planung. Auch die Ansteuerung über mobile Devices stellt eine deutliche Erweiterung des GUI- und Steuerungskonzeptes dar, ebenso wie die Nutzung von OSC für die Übertragung von Meta- und Positionsdaten. In diesen und anderen Fällen übertreffen die Ergebnisse die ursprüngliche Planung. Für alle Entwicklungsschritte, in welchen Probleme auftraten, konnten letztendlich erfolgreiche Lösungen oder Kompromisse gefunden werden – auch aus technischer Sicht ist das vorliegende Projektergebnis also als Erfolg zu sehen.

Mit dem vorliegenden Demonstrator des KME4Immersive Systems ist damit nun eine Umgebung für die weitergehende Verwertung im Sinne der Planung umgesetzt, die für verschiedene immersive Audio-Wiedergabeformate, akustische Simulationen oder als kreative Plattform für experimentelle Audioanwendungen genutzt werden kann – all diese Szenarien sind besonders für den Einsatz innerhalb der Hochschullehre interessant und wichtig, so dass diese auch die Grundlage für den Vorschlag zur weiteren Nutzung des Systems im Kontext des immersiven Domes der HTWK bilden.

Wie bereits im Antrag aufgeführt, sind 3D-Prozessoren bereits seit mehreren Jahren und auch von verschiedenen Herstellern am Markt präsent – hier wären beispielhaft z.B. L-ISA von L-Acoustics oder Soundscape von d&b zu nennen. Diese decken primär aber den Einsatz in großen und i.A. auch sehr aufwendigen Beschallungsszenarien ab und haben gegenüber dem entwickelten KME4Immersive System eine andere Zielgruppe. So ist nach wie vor nach Abschlusspräsentation des KME4I Demonstrators auf der Tonmeistertagung in Düsseldorf im November 2023 festzustellen, dass trotz der Weiterentwicklungen anderer Systeme, für den entwickelten Prozessor nach wie vor ein Alleinstellungsmerkmal vorliegt, bspw. der im Rahmen des Vorhabens erarbeiteten Ausrichtung auf Ausbildungs- und Lehrszenarien.

4 Potentielle Nutzung der Projektergebnisse

Mit dem vorliegenden Demonstrator des KME4Immersive Systems ist schon eine Umgebung für die weitergehende Verwertung im Sinne der Planung umgesetzt, die für verschiedene immersive Audio-Wiedergabeformate, akustische Simulationen oder als kreative Plattform für experimentelle Audioanwendungen genutzt werden kann – all diese Szenarien sind besonders für den Einsatz innerhalb der Hochschullehre interessant und wichtig, so dass diese auch die Grundlage für den beiliegenden Vorschlag zur weiteren Nutzung des Systems im Kontext des immersiven Domes der HTWK bilden.

Als wissenschaftlich-technische Erfolgsaussichten die Nutzungen:

- als skalierbare Simulations-/Evaluations-/Vergleichsumgebung für Audio-Wiedergabeformate
- als auditive akustische Simulationsumgebung
- als immersives Mehrkanalwiedergabesystem
- und als experimentelle/kreative Audioplattform

möglich.

Als funktionaler Bestandteil des Immersiven Domes kann das KME4Immersive System all diese Funktionen erfüllen bzw. ist es in dieser Weise bereits jetzt in die Lehre und weitere Projekte beim Partner HTWK eingebunden. Da sowohl Prozessor als auch die Wiedergabeumgebung mobil nutzbar sind, ist die Nutzbarkeit dabei nicht auf die HTWK beschränkt, sondern steht auch aktuellen und perspektivischen Partnern projektbezogen zur Verfügung. Durch offene Schnittstellen, wie die Integration in Audio-over-IP ist auch die avisierte Skalierbarkeit gegeben und es stehen Anknüpfungspunkte für weitere Nutzungsszenarien zur Verfügung. Auf dieser Basis ist daher auch die weitergehende Nutzung, beispielsweise für Öffentlichkeitsarbeit, Akustische Lehr- und Lernumgebungen, VR- und Cave-Simulationsumgebungen oder Entspannungsunterstützung gegeben.

Die Ergebnisse und Möglichkeiten des entwickelten Systems weisen ein hohes Potential auf. Eine Weiterentwicklung des Systems durch die Verbesserung der implementierten Algorithmen, insbesondere auch hinsichtlich der Gewinnung von MetaDaten für KI Integration ist als zukünftiges Projekt der 3 Partner möglich. Hierzu sind die Projektpartner weiterhin in Kontakt, um Partner und Möglichkeiten für eine Weiterführung des Projektes zu finden.