

Die Oper als Multimedia Szenario: Wagners Walküren gehen online

Stefan Balke,¹ Manuel Hiemer,² Peter Schwab,² Vlora Arifi-Müller,¹
Klaus Meyer-Wegener,² Meinard Müller¹

Abstract: Musik lässt sich durch die Vielzahl an möglichen Darstellungs- und Datenformen als Multimediaszenario auffassen: Neben der eigentlichen Musikaufnahme gibt es eine Vielzahl von weiteren Medienobjekten (z. B. Videoaufnahmen, Gesangstexte oder Notentexte), die Musik auf unterschiedliche Arten beschreiben. Im Zuge der Digitalisierung werden viele dieser Medienobjekte heutzutage frei im Internet verfügbar gemacht. Dabei werden die Objekte häufig einzeln betrachtet, obwohl sich zwischen ihnen musikalische Verknüpfungen herstellen ließen. Diese Verknüpfungen können dazu genutzt werden, um neue Arten der Navigation in der Musik zu ermöglichen, oder vorhandene Medienobjekte mit zusätzlichen Informationen anzureichern. In diesem Artikel modellieren wir exemplarisch anhand der Oper „Die Walküre“ von Richard Wagner diese musikalischen Verknüpfungen mittels werkbezogener Annotationen, die in einem geeigneten Datenbankschema abgebildet werden. Basierend auf diesem Modell präsentieren wir dann einen webbasierten Demonstrator, der die wechselseitigen Verknüpfungen zwischen den Medienobjekten zusammenfügt und in einer graphischen Benutzeroberfläche für den Nutzer zugänglich macht.

Keywords: Musikverarbeitung, Multimedia, Webtechnologie

1 Einleitung

In den Konzerthäusern dieser Welt sind Opern ein fester Bestandteil des Aufführungsprogramms. Opern vereinigen Elemente des Schauspiels, Gesangs und orchesterlicher Musik zu einem Gesamtkunstwerk. Viele große Komponisten haben Opern komponiert, wie zum Beispiel Giuseppe Verdi, Giacomo Puccini, Georges Bizet, Wolfgang Amadeus Mozart oder Richard Wagner. Letzterer ist heute vor allen Dingen durch den Opernzyklus „Der Ring des Nibelungen“ bekannt. Dieser Zyklus besteht aus den vier Opern „Das Rheingold“, „Die Walküre“, „Siegfried“ und der „Götterdämmerung“. Abhängig von der Inszenierung beläuft sich die Gesamtdauer der Opern auf etwa 16 Stunden. Das zugehörige Libretto (Text einer Oper) und der Notentext füllen hunderte von Seiten. Viele dieser Multimediatdaten sind heute über das Internet abrufbar; beispielsweise sind Aufzeichnungen des „Rings“ über Videoplattformen wie YouTube frei zugänglich. Der Notentext sowie das Libretto werden über Plattformen wie dem International Music Score Library Project (IMSLP)³

¹ International Audio Laboratories Erlangen, stefan.balke@audiolabs-erlangen.de

² Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 6 (Datenmanagement)

³ <http://www.imslp.org>

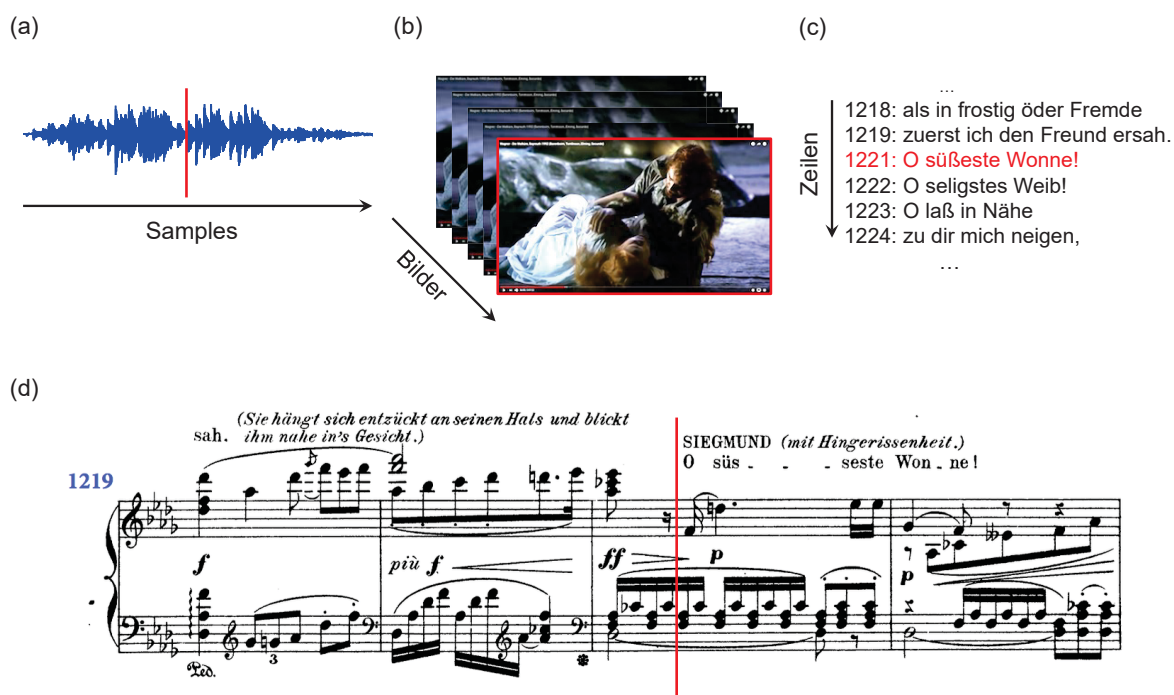


Abb. 1: Überblick über die Medienobjekte im Kontext einer Oper. (a) Musikaufnahme. (b) Musikvideo. (c) Libretto. (d) Gescannter Notentext. Die roten Markierungen visualisieren die Verknüpfungen der Medienobjekte untereinander. Sind diese Verknüpfungen vorhanden, ermöglichen sie eine gleichzeitige Navigation innerhalb der verschiedenen Medienobjekte.

ganz legal der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Eine zentrale Aufgabenstellung besteht darin, mithilfe computergestützter Methoden die existierenden musikalischen Verbindungen zwischen diesen Daten aufzudecken und für den Benutzer erfahrbar zu machen. Unsere Vision besteht in der Umsetzung einer multimedialen Benutzerschnittstelle, die es einem Musikliebhaber erlaubt, eine gewünschte Videoaufnahme (z. B. auf YouTube) automatisch mit dem vorhandenen Notentext zu alignieren, zusätzlich mit dem Gesangstext anzureichern und automatisch weitere Informationen über das Werk und den Komponisten anzuzeigen.

Die Hauptbeiträge dieses Artikels sind die Modellierung der Oper als Multimediaszenario und die anschließende Anreicherung frei im Internet verfügbarer Videoaufnahmen mithilfe einer webbasierten Benutzerschnittstelle. Die zuvor beschriebene Vision in der skizzierten Art und Weise automatisch, fehlerfrei und für alle Genres umzusetzen ist technisch sehr anspruchsvoll und derzeit ungelöst. Um die Komplexität des Gesamtsystems praktikabel zu gestalten, betrachten wir im Folgenden das Genre der Oper. Im Opernszenario existieren eine Vielzahl von Medienobjekten unterschiedlichen Typs, die in Abb. 1 anhand eines Ausschnittes aus Wagners Oper „Die Walküre“ exemplarisch aufgeführt sind. Angefangen mit den Musik- und Videoaufnahmen, dem Libretto der Oper – sowie dem Notentext –

beschreiben diese Medienobjekte allesamt dieselbe Oper. Aufgrund der unterschiedlichen Typen der Medienobjekte ist eine triviale Verknüpfung nicht möglich.

Der Rest des Artikels gliedert sich wie folgt: Zunächst stellen wir in Abschnitt 2 existierende Konzepte und verwandte Systeme aus der Literatur vor. Abschnitt 3 erläutert exemplarisch anhand der Oper „Die Walküre“ die vorliegenden Medienobjekte und ihre Eigenschaften, sowie einen Weg, diese miteinander zu verknüpfen. Dieses Verknüpfungsmodell bildet die Grundlage für ein Datenbankschema, welches im Anschluss diskutiert wird. In Abschnitt 4 stellen wir einen Demonstrator vor, der einen multimedialen Zugang zu den nun verknüpften Medienobjekten über eine webbasierte Benutzerschnittstelle erlaubt.

2 Stand der Forschung

Im Rahmen der Forschung im Bereich der computergestützten Musikverarbeitung wurden bereits zahlreiche Arbeiten angefertigt, die sich mit medienobjektübergreifenden Navigationsmöglichkeiten beschäftigt haben. Im Folgenden stellen wir einige zentrale Arbeiten dieses Bereiches vor. Der vorliegende Beitrag ist eng den Konzepten des *SyncPlayer* verknüpft [Da12]. In diesem System kann der Benutzer eine Reihe von Anfragen an eine Datenbank stellen (z. B. eine Suche mittels einer kurzen Melodieanfrage oder eine Suche innerhalb des Gesangstextes), die dann von einem Server bearbeitet werden. Die Treffer können anschließend visuell in einer graphischen Benutzeroberfläche dargestellt und akustisch wiedergegeben werden. Insbesondere die Interaktion und Navigation mit einem dargestellten Notentext erweist sich als nützliches Hilfsmittel für viele musikwissenschaftliche Aufgabenstellungen. Im Rahmen des Projekts „Freischütz Digital“ [Rö15], wurden ähnliche Benutzerschnittstellen entwickelt. Dieses Projekt befasste sich insbesondere mit der Entwicklung von computergestützten Werkzeugen zur Erforschung von kritischen Editionen [WCL09]. Hierbei bestand ein wesentlicher Schritt darin, die verschiedenen existierenden Musikaufnahmen und Notentextausgaben miteinander zu verknüpfen. Auf Basis dieser Verknüpfungen wurden spezielle graphische Benutzerschnittstellen entwickelt, die die beteiligten Musikwissenschaftler in der Erstellung einer kritischen Edition unterstützen sollten.

Im Projekt „PHENICX“ (Performances as Highly Enriched aNd Interactive Concert eXperiences) ging es um die Entwicklung von Systemen zur Verbesserung des Konzerterlebnisses von klassischen Konzertaufführungen [LGS15, Ga15]. Neben der Möglichkeit, während des Konzertes weitere Informationen für den Besucher synchron zur gespielten Musik zu präsentieren, wurden in diesem Projekt ebenfalls webbasierte Demonstratoren entwickelt, die zu den Musikaufnahmen Zusatzinformationen zur Instrumentierung oder Hintergrundwissen zu den Werken vermitteln.

Die automatisierte Synchronisation von Musikaufnahmen und dem korrespondierenden Notentext ist eine wichtige Teilaufgabe im Forschungsgebiet des Music Information Retrieval (MIR). Neben der angesprochenen Musiksynchronisation existieren eine Reihe

Medienobjekt	Medientyp	Elemente	Zeiteinteilung
Musikaufnahme	Audio	Abfolge von Audiosamples	Zeitachse (Samples/Sekunden)
Videoaufnahme	Video	Abfolge von Bildern	Zeitachse (Frames/Sekunden)
Libretto	Text	Abfolge von Zeichenketten	Zeilenaufteilung
Notentext	Bild	Abfolge von Bildern	Seitenaufteilung

Tab. 1: Übersicht der Medienobjekte im Opernszenario. Zusätzlich wird der Medientyp angegeben, sowie die Elemente des Medienobjekts und deren Zeitbezug.

von weiteren Aufgabenstellungen (z. B. inhaltsbasierte Suchen, Musikstrukturanalyse, Harmonieanalyse oder die nachträgliche Trennung von Instrumenten in Musikaufnahmen). Für einen Überblick zu vielen dieser Aufgabenstellungen verweisen wir auf die Literatur (z. B. [Mü15, We16, Li12, MBO12, WKM16, KS16, MGS12]).

3 Fallstudie: „Die Walküre“ von Richard Wagner

Am Beispiel der Oper „Die Walküre“ von Richard Wagner möchten wir in den folgenden Abschnitten Medienobjekte unterschiedlicher Typen und deren Interaktionen miteinander diskutieren. In Anlehnung an [MW03] beschreiben wir zunächst die verschiedenen Medienobjekte, die in diesem Szenario eine Rolle spielen. Mithilfe eines relationalen Datenbankschemas erläutern wir die Eigenschaften der Medienobjekte und wie diese miteinander verknüpft werden können. Auf Basis dieses Datenbankschemas entwickeln wir dann einen webbasierten Demonstrator, der prototypisch Möglichkeiten der flexiblen Navigation und audio-visuellen Darstellung unterschiedlicher – zu einem Werk in Beziehung stehenden – Medienobjekte aufzeigen soll.

3.1 Vorstellung der Medienobjekte

Einer Oper liegen verschiedene Medienobjekte zugrunde. Typisch auftretende Objekte, die wir in diesem Artikel betrachten, sind exemplarisch in Abb. 1 dargestellt. Diese sind entweder aufführungsspezifisch (z. B. Musik- und Videoaufnahmen) oder werkspezifisch (z. B. Libretto und Notentext). In unserer Modellierung der Medienobjekte nehmen wir an, dass alle Medienobjekte aus einer Abfolge von Elementen bestehen, die in einem natürlichen Zeitbezug zueinander stehen (Fortschreiten der physikalischen Zeit mit dem nächsten Element der Abfolge). In Tab. 1 sind diese Medienobjekte zusammen mit einer Beschreibung ihrer Elemente und ihrem zeitlichen Bezug aufgeführt, die wir im Folgenden detaillierter beschreiben:

Musikaufnahme: Mithilfe von Mikrofonen können Schallwellen während Aufführungen aufgezeichnet werden. Im Falle von digitalen Musikaufnahmen werden die Auslenkungen

(Amplituden) dieser Schallwellen periodisch abgetastet und als Sequenz abgespeichert. Diese Amplitudenwerte werden auch als *Samples* bezeichnet. Bei CD-Aufnahmen beträgt die Abtastrate üblicherweise 44 100 Samples pro Sekunde. Die Navigation innerhalb der Musikaufnahme erfolgt über eine physikalische Zeitachse (gemessen in Sekunden).

Videoaufnahme: Videoaufnahmen sind eine Abfolge von Einzelbildern, den sog. *Frames*, die mit einer Abtastrate von 30 Bildern pro Sekunde gespeichert werden. Die Navigation innerhalb der Videoaufnahme erfolgt ebenfalls über eine physikalische Zeitachse (gemessen in Sekunden).

Libretto: Das Libretto ist der gesprochene bzw. gesungene Text einer Oper. In unserem Szenario besteht es aus einer Abfolge von Textzeilen, die mittels ihrer Zeilennummern adressiert werden können.

Notentext: Notentext ist in unserem Szenario eine Abfolge von gescannten Notentextseiten. Diese Seiten umfassen im Schnitt circa 30 Takte und können mittels der Seitennummer aufgerufen werden.

Die Verknüpfung dieser unterschiedlichen Medienobjekte stellt eine besondere Herausforderung dar. Neben den unterschiedlichen Medientypen ist für die spätere Funktionalität unseres Demonstrators insbesondere die Verknüpfung der unterschiedlichen Zeitachsen von zentraler Bedeutung.

3.2 Verknüpfung der Medienobjekte

Wie bereits diskutiert bestehen die Medienobjekte aus diskreten, zeitlich in Bezug stehenden Abfolgen von Elementen (Samples, Frames, Textzeilen oder Notentextseiten). Dieser Bezug kann mithilfe einer abstrakten Referenzachse explizit hergestellt werden. Im Gegensatz zu den auf einer diskreten Zeitachse existierenden Elementen der Medienobjekte verwenden wir eine zeit-kontinuierliche Referenzachse. Dies stellt eine werkspezifische Zeitachse dar, deren Zeitpunkte $t \in \mathbb{R}$ in Takten angegeben sind. Hierbei werden die Taktanfänge durch ganze Zahlen $\mathbb{N} \subseteq \mathbb{R}$ kodiert (z. B. kodiert die Zahl $t = 3$ den Beginn des dritten Taktes). Alle Positionen innerhalb eines Taktes werden dann durch Nachkommastellen ausgedrückt. (z. B. verweist $t = 3.5$ auf die Mitte des dritten Taktes). In der Praxis geben wir die Positionen auf der kontinuierlichen Referenzachse auf drei Nachkommastellen genau an. Dabei wird der Anfang des Taktes 3 als 3.000 kodiert, die Mitte des Taktes als 3.500 und das Ende dieses Taktes als 3.999. Ferner nehmen wir an, dass eine taktweise Auflösung für unsere spätere Anwendung ausreicht. Wird jedoch eine Taktposition angefragt, die feiner ist als die gegebene Auflösung (z. B. Taktposition 3.750), so werden die benötigten Größen durch eine geeignete lineare Interpolation berechnet.

Abb. 2 stellt die in unserem Szenario vorkommenden Medienobjekte und die Zuordnung ihrer Elemente zu der Referenzachse schematisch dar. Generell gilt, dass wir Teilfolgen von Elementen der Medienobjekte zu geeigneten Bereichen der Referenzachse zuordnen.

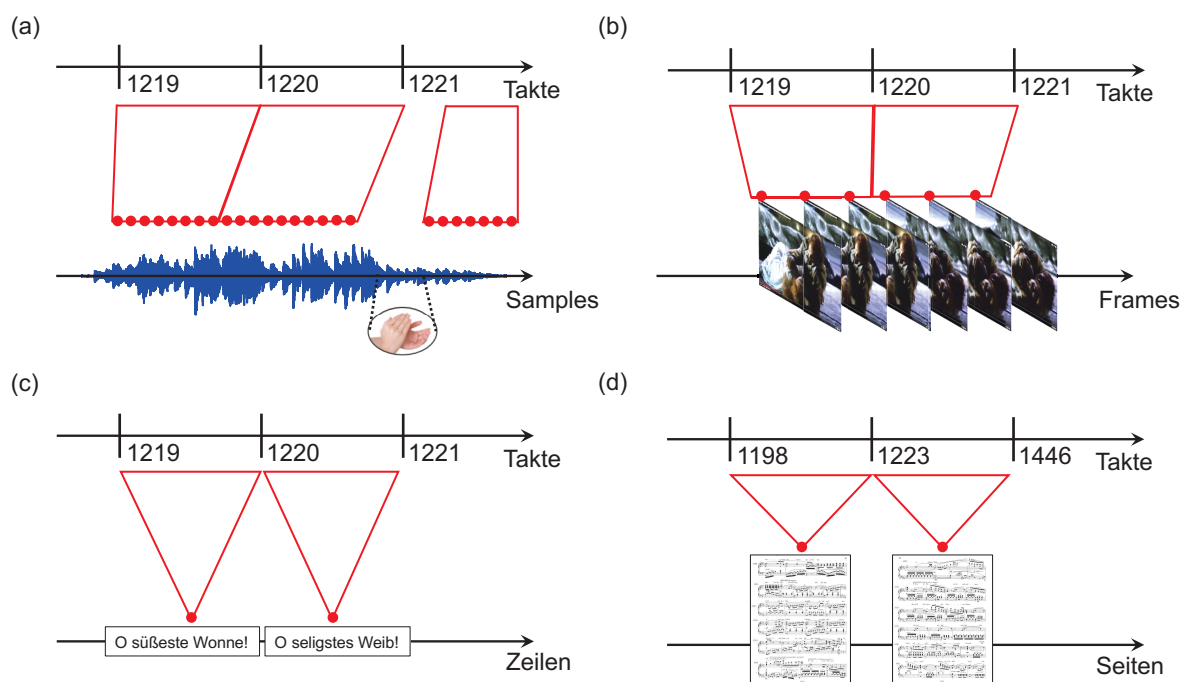


Abb. 2: Verknüpfung der Medienobjekte über Bereichsangaben mit der Referenzachse (gegeben in Takten). Musikaufnahme (a) und Musikvideo (b) ermöglichen durch ihre sehr feine Zeiteinteilung eine kleinstufige Abbildung auf die Referenzachse. Das Libretto (c) wird zeilenweise, der gescannte Notentext (d) seitenweise auf die Taktachse abgebildet.

Abb. 2a verdeutlicht dieses Konzept für eine Musikaufnahme. Eine Teilfolge von Samples der Musikaufnahme wird dem Taktbereich 1219.000 bis 1219.999 der Referenzachse zugeordnet. Ein großer Vorteil dieser Bereichszuordnungen ist, dass wir ungewollte Bereiche innerhalb der Medienobjekte überspringen können (z. B. Applaus oder Stille zu Beginn oder am Ende einer Musikaufnahme). Abb. 2b zeigt die Annotation einer Videoaufnahme, bei der Teilfolgen von Frames ebenfalls musikalisch entsprechenden Taktbereichen zugeordnet werden. Das Libretto in Abb. 2c wird zeilenweise der Referenzachse zugeordnet. Im Gegensatz zu den Musik- und Videoaufnahmen besteht das Libretto aus wesentlich weniger Elementen. Typischerweise beinhaltet eine Librettozeile den Text für mehrere Takte. Die in unserem Szenario größte musikalische Zeiteinteilung besitzt der gescannte Notentext (ca. 30 Takte pro Seite), siehe in Abb. 2d.

Diese Art der Zuordnung von Teilfolgen von diskreten Elementen auf eine gemeinsame, kontinuierliche Referenzachse, wird es uns später ermöglichen, Taktbereichsanfragen für alle Medienobjekte zu verarbeiten. Um diese Anfragen effizient durchführen zu können, verwenden wir ein relationales Datenbankschema, das wir im folgenden Abschnitt vorstellen.

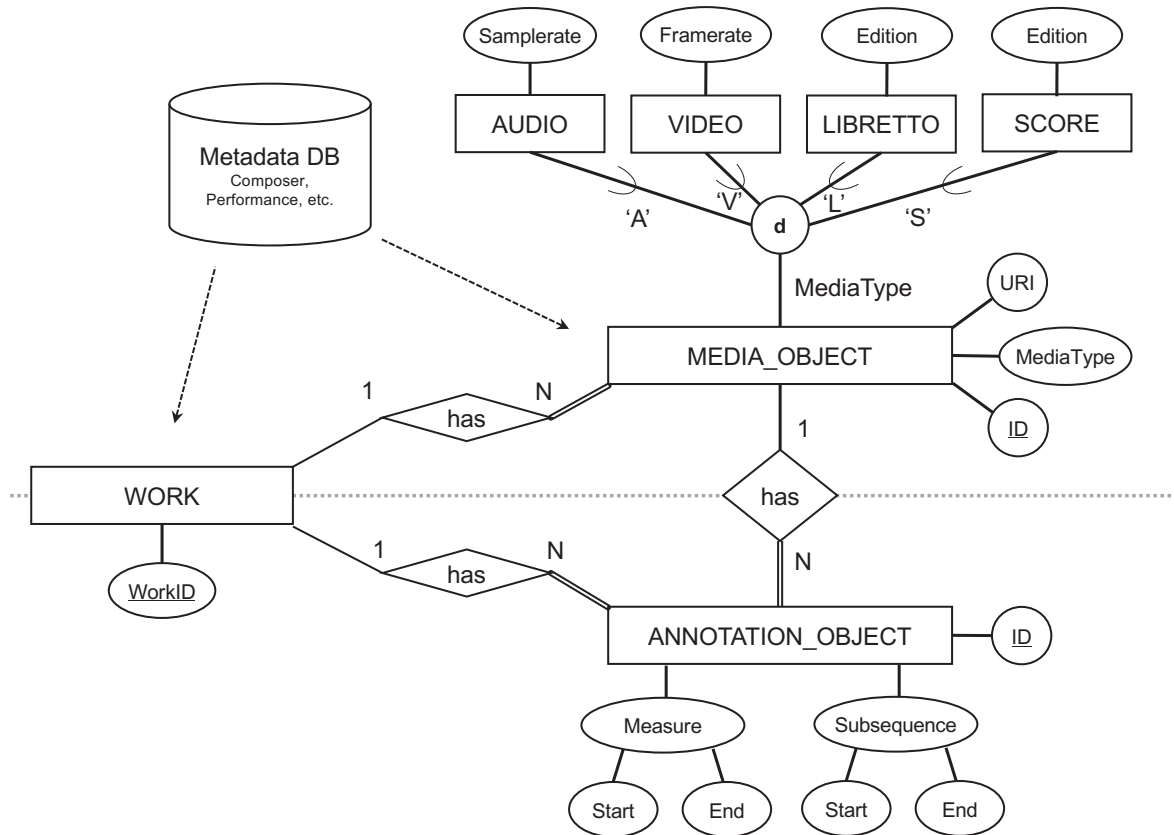


Abb. 3: Entity-Relationship Diagramm des konzeptionellen Datenbankschemas (Notation folgt [EN16]).

3.3 Datenbankschema

Ein übliches Vorgehen bei der Erstellung eines Datenbankschemas besteht in der Skizzierung des Szenarios, das mit der Datenbank erfasst werden soll (die sog. „Miniwelt“ [EN16]). In unserer Miniwelt wollen wir im Stande sein Opern und die Zusammenhänge zwischen den dazugehörigen Medientypen zu beschreiben: Opern haben einen Namen und typischerweise einen Komponisten (z. B. „Die Walküre“ von Richard Wagner). Viele Opern sind in kleinere Bereiche unterteilt; beispielsweise unterteilt sich „Die Walküre“ in drei Akte. Aufführungen von Opern werden meistens über das Aufführungsjahr, den Aufführungsort und den ausführenden Dirigenten identifiziert (z. B. 1992, Bayreuth, Daniel Barenboim). Bei einer Aufführung entstehen diverse Medienobjekte, die mithilfe einer Referenzachse (gegeben in Takten), miteinander verknüpft sind.

Abb. 3 zeigt eine mögliche Modellierung unserer Miniwelt als sog. Entity-Relationship Diagramm (ER-Diagramm in Chen-Notation [EN16]). Unser Modell startet mit der Beschreibung eines Werks mithilfe des Entitätstyps WORK, welches über das Attribut WorkID identifiziert wird. Der Einfachheit halber betrachten wir in unserem Szenario die einzelnen Akte einer Oper als separate Werke (ähnlich wie die Sätze einer Symphonie oder die Tänze

einer Suite). Der Akt einer Oper entspricht damit einer Entität des Typs `WORK`, welche über das Attribut `WorkID` identifiziert werden kann. Die `WorkID` für den ersten Akt der „Walküre“ kodieren wir als „`WWV086B-1`“, wobei `WWV` das Wagner-Werk-Verzeichnis abkürzt und `86B-1` darin den ersten Akt der Oper „Die Walküre“ beschreibt. In diesem Beitrag nehmen wir ferner an, dass die Metadaten über den Komponisten etc. aus einer bereits existierenden „Metadata DB“ entstammen, die strukturierte Informationen mithilfe bereits bestehender Schemata bereitstellt. Ein bekannter Dienst, der Metadaten für Musikaufnahmen zur Verfügung stellt, ist die offene Musik-Enzyklopädie `MusicBrainz`⁴. Im Zusammenhang mit dem `Semantic Web`⁵ stellt die „`Music Ontology`“ [Ra07] Konzepte zur Verfügung, um Metadaten von Musik abzubilden. Gleichzeitig ermöglicht die Verwendung der `Music Ontology` die einfache Bereitstellung und Integration für und mit anderen Diensten aus dem `Semantic Web`.

Im Falle unseres Opernszenarios, liegen einer Oper mehrere miteinander verknüpfbare Medienobjekte zu Grunde. Um diese Medienobjekte in der Datenbank abzubilden wird zunächst der abstrakte Entitätstyp `MEDIA_OBJECT` eingeführt. Jedes Medienobjekt beschreibt eine konkrete Ausprägung dieses abstrakten Typs: `AUDIO`, `VIDEO`, `LIBRETTO` und `SCORE`. Das Datenbankschema kann so leicht um weitere Medientypen erweitert werden. Mithilfe des Attributs `URI` (Uniform Resource Identifier) wird zu den Quelldaten verwiesen (z. B. eine lokal gespeicherte Videodatei oder eine Adresse im Internet). Jeder dieser Entitäten werden nun typischerweise mehrere Entitäten des Typs `ANNOTATION_OBJECT` zugeordnet. Die zusammengesetzten Attribute `Subsequence` und `Measure` modellieren die Abbildung eines Medienobjekts auf die Referenzachse. Mithilfe von `Start` und `End` wird ein Sequenz von Elementen des Medienobjektes mit einem Bereich auf der Referenzachse verknüpft (z. B. wird in Abb. 2a der Taktbereich {1219.000, 1219.999} wird mit dem Bereich {3408.65, 3411.03} der Musikaufnahme zugeordnet). Abschließend fügen wir die 1:N-Beziehung zwischen den Entitätstypen `WORK` und `ANNOTATION_OBJECT` ein, um den Zusammenhang zwischen Werken und ihren Annotationen zu verdeutlichen.

3.4 Einpflegen neuer Werke

Das Einpflegen neuer Werke erfolgt mithilfe einer Mischung aus manuellen Annotationen und der Verwendung automatisierter Methoden. Der zeitaufwendigste Schritt ist hierbei die Bestimmung der Taktanfänge in den Musikaufnahmen (z. B. unter Verwendung des frei verfügbaren Programms „`Sonic Visualiser`“ [CLS10]). Im Falle der „Walküre“ haben wir diese Taktannotationen lediglich für eine Referenzaufnahme angefertigt. Mithilfe automatisierter Synchronisationsverfahren konnten wir diese Annotationen dann auf alle anderen Aufnahmen übertragen [PDM16]. Alle weiteren werkbezogenen Multimediaobjekte (Libretto und Notentext) wurden für diesen Demonstrator manuell annotiert und in die Datenbank übertragen.

⁴ <https://www.musicbrainz.org>

⁵ <https://www.w3.org/standards/semanticweb/>

Abb. 4: Screenshot des webbasierten Demonstrators bestehend aus fünf Elementen. (a) Übersicht über die verfügbaren Musikaufnahmen. Die verfügbaren Bereiche innerhalb der jeweiligen Version sind farblich gekennzeichnet. (b) Einbindung einer Videoaufnahme von der Videoplattform YouTube. (c) Textuelle Darstellung der vorherigen Librettozeile, der aktuell gesungenen, sowie der nachfolgenden Zeile. (d) Gescannter Notentext mit Navigationsfeldern zum seitenweisen blättern.

4 Webbasierter Demonstrator

Basierend auf dem Datenbankschema wurde ein webbasierter Demonstrator entwickelt, der das Potenzial der hier vorgestellten Navigationsmöglichkeiten verdeutlichen soll. Die Grundidee des Demonstrators ist es, frei verfügbare Videoaufnahmen (z. B. von der Videoplattform YouTube) mit weiteren Informationen rund um das dargestellte Werk anzureichern. Das Layout der HTML-Seiten im Webbrowser wurde mit dem frei verfügbaren Framework Bootstrap⁶ erstellt. Für die Interaktion im Webbrowser wurde JavaScript⁷ verwendet

⁶ <http://www.getbootstrap.com>

⁷ <https://www.javascript.com>

und für die serverseitige Logik das Python-Framework Flask⁸. Anhand verschiedener Aufnahmen von der Oper „Die Walküre“ wollen wir die Funktionalitäten im folgenden näher erläutern.

Abb. 4 zeigt einen Screenshot des Demonstrators, in dem jedes unserer Medienobjekte ein korrespondierendes Visualisierungselement besitzt. Abb. 4a zeigt die verfügbaren Versionen (YouTube Videos) des ersten Aktes der Oper an. Die verfügbaren Taktbereiche in der jeweiligen Version sind farblich hervorgehoben. Zum Beispiel handelt es sich bei der Version „Barenboim“ und „Sawallisch“ um Gesamtaufnahmen des ersten Aktes (Takte 0 bis 1524), wohingegen beispielsweise „Levine“ lediglich einen Teilbereich abdeckt (Takte 1214 bis 1524). Der aktuell abgespielte Takt wird durch eine vertikale Markierung angezeigt. Die korrespondierende Videoaufnahme ist in Abb. 4b gezeigt. Abb. 4c zeigt die aktuelle Zeile des Librettos an. Zur besseren Verfolgbarkeit werden zusätzlich sowohl die vorhergehende, als auch die darauf folgende Librettozeile angezeigt. Der Notentext wird seitenweise dargestellt, siehe Abb. 4d.

Die Navigation innerhalb der Oper ist auf verschiedene Weisen möglich. Die Navigation erfolgt entweder über die Referenzachse, die Eingabe eines spezifischen Taktes oder die direkte Anwahl eines Taktes in einem der farblich hervorgehobenen Bereiche. Letzteres ermöglicht den taktgenauen Vergleich von verschiedenen Aufführungen. (z. B. die Aufführung geleitet von Daniel Barenboim in Bayreuth von 1992 mit der Interpretation von Wolfgang Sawallisch in der Bayerischen Staatsoper von 1989). Innerhalb des Notentextes ist es zudem möglich, seitenweise zu springen, sowie eine gewünschte Seite direkt anzuwählen.

Der webbasierte Demonstrator ist unter der folgenden Webadresse erreichbar:

<http://mir.audiolabs.uni-erlangen.de/2017-GI-DemoWalkuere>

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel haben wir beschrieben, wie sich eine Oper als Multimediaszenario modellieren lässt, um frei verfügbare Musikvideos mit weiteren Daten und Informationen anzureichern. Die beteiligten Medienobjekte wurden dabei über eine Referenzachse verknüpft. Mithilfe eines Datenbankschemas wurden diese Verknüpfungen in einer Datenbank abgebildet. Weiterhin haben wir einen webbasierten Demonstrator vorgestellt, der es unter der Verwendung des Datenbankschemas ermöglicht, innerhalb der Oper medienobjektübergreifend zu navigieren und verschiedene Versionen derselben Oper miteinander zu vergleichen.

Unser Demonstrator schafft die Grundlage für eine ganze Reihe weiterer Arbeiten. Ein wichtiger Aspekt liegt in der Entwicklung erweiterter Suchfunktionalitäten. Textuelle Suchen im Libretto könnten durch inhaltsbasierte Suchen in den Musikaufnahmen ergänzt werden.

⁸ <http://flask.pocoo.org>

Beispielsweise könnte durch das Auffinden wiederkehrender melodischer, harmonischer oder rhythmischer Muster eine weitere Navigationsebene eingefügt werden. Gerade in Wagners Opern spielen Leitmotive eine wichtige Rolle. Leitmotive sind wiederkehrende charakteristische Melodielinien, die bei Wagner beispielsweise einzelnen Charakteren (z. B. das „Siegfried-Motiv“) oder Gegenständen (z. B. das „Schwert-Motiv“) zugeordnet sind. Durch ihr regelmäßiges Auftreten erzeugen sie eine Art Struktur in diesen lang andauernden Opern und dienen dem Verständnis der Oper.

Eine weitere Ergänzung unseres Demonstrators ist die Einbettung weiterer Informationen aus dem Semantic Web. Beispielsweise können über Dienste wie DBpedia⁹ Wikipedia-einträge über das angezeigte Werk oder den Komponisten eingebettet werden. Neben den rein technischen Herausforderungen, sehen wir diesen Demonstrator auch als eine Art Präsentation für das breite Publikum. In vielen öffentlich geförderten Forschungsprojekten (auch in unseren) entstehen Daten, die kaum eine Verwendung außerhalb der anvisierten Projektziele erfahren. Mithilfe des Demonstrators machen wir die entstandenen Daten für jeden interessierten Musikhörer erfahrbar und direkt nutzbar.

Danksagungen

Zunächst möchten wir den studentischen Hilfskräften unserer Arbeitsgruppe für ihre wertvolle Arbeit bei der manuellen Erstellung von Musikannotationen bedanken, die dem Demonstrator zugrunde liegen. Ferner möchten wir uns bei Frank Zalkow, Christof Weiß und Thomas Prätzlich für die Hilfe bei der automatisierten Übertragung der Annotationen auf die YouTube-Videos bedanken.

Die International Audio Laboratories Erlangen sind eine Gemeinschaftseinrichtung der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) und des Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS. Die vorgestellte Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert (MU 2686/6–1, MU 2686/7–1).

Literaturverzeichnis

- [CLS10] Cannam, Chris; Landone, Christian; Sandler, Mark B.: Sonic Visualiser: An Open Source Application for Viewing, Analysing, and Annotating Music Audio Files. In: Proceedings of the International Conference on Multimedia. Florence, Italy, S. 1467–1468, 2010.
- [Da12] Damm, David; Fremerey, Christian; Thomas, Verena; Clausen, Michael; Kurth, Frank; Müller, Meinard: A digital library framework for heterogeneous music collections: from document acquisition to cross-modal interaction. International Journal on Digital Libraries: Special Issue on Music Digital Libraries, 12(2-3):53–71, 2012.
- [EN16] Elmasri, Ramez; Navathe, Shamkant B.: Fundamentals of Database Systems. Pearson Higher Education, 7. Auflage, 2016.
- [Ga15] Gasser, Martin; Arzt, Andreas; Gadermaier, Thassilo; Grachten, Maarten; Widmer, Gerhard: Classical Music on the Web - User Interfaces and Data Representations. In:

⁹ <http://wiki.dbpedia.org>

- Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR). S. 571–577, 2015.
- [KS16] Knees, Peter; Schedl, Markus: *Music Similarity and Retrieval*. Springer Verlag, 2016.
- [LGS15] Liem, Cynthia C. S.; Gómez, Emilia; Schedl, Markus: PHENICX: Innovating the Classical Music Experience. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW)*. Torino, Italy, S. 1–4, June–July 2015.
- [Li12] Liem, Cynthia C. S.; Müller, Meinard; Tjoa, Steven K.; Tzanetakis, George: 2nd International ACM Workshop on Music Information Retrieval with User-centered and Multimodal Strategies (MIRUM). In: *Proceedings of the International Conference on Multimedia (ACM Multimedia)*. S. 1509–1510, 2012.
- [MBO12] Montecchio, Nicola; Buccio, Emanuele Di; Orio, Nicola: An Efficient Identification Methodology for Improved Access to Music Heritage Collections. *Journal of Multimedia*, 7(2):145–158, 2012.
- [MGS12] Müller, Meinard; Goto, Masataka; Schedl, Markus, Hrsg. *Multimodal Music Processing*, Jgg. 3 in *Dagstuhl Follow-Ups*. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, Germany, 2012.
- [Mü15] Müller, Meinard: *Fundamentals of Music Processing*. Springer Verlag, 2015.
- [MW03] Meyer-Wegener, Klaus: *Multimedia Datenbanken*. Teubner, Wiesbaden, 2. Auflage, 2003.
- [PDM16] Prätzlich, Thomas; Driedger, Jonathan; Müller, Meinard: Memory-Restricted Multiscale Dynamic Time Warping. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*. Shanghai, China, S. 569–573, 2016.
- [Ra07] Raimond, Yves; Abdallah, Samer; Sandler, Mark; Giasson, Frederick: The Music Ontology. In: *Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR)*. Vienna, Austria, S. 417–422, 2007.
- [Rö15] Röwenstrunk, Daniel; Prätzlich, Thomas; Betzwieser, Thomas; Müller, Meinard; Szwillus, Gerd; Veit, Joachim: Das Gesamtkunstwerk Oper aus Datensicht – Aspekte des Umgangs mit einer heterogenen Datenlage im BMBF-Projekt “Freischütz Digital”. *Datenbank-Spektrum*, 15(1):65–72, 2015.
- [WCL09] Wiering, Frans; Crawford, Tim; Lewis, David: Digital critical editions of music: A multidimensional model. In (Crawford, Tim; Gibson, Lorna, Hrsg.): *Modern Methods for Musicology*, S. 23–45. Routledge, 2009.
- [We16] Weihs, Claus; Jannach, Dietmar; Vatulkin, Igor; Rudolph, Guenter: *Music Data Analysis: Foundations and Applications*. CRC Press, 2016.
- [WKM16] Weiß, Christof; Kleinertz, Rainer; Müller, Meinard: Möglichkeiten der computergestützten Erkennung und Visualisierung harmonischer Strukturen – eine Fallstudie zu Richard Wagners “Die Walküre”. In (Auhagen, Wolfgang; Hirschmann, Wolfgang, Hrsg.): *Bericht zur Jahrestagung der Gesellschaft für Musikforschung (GfM) 2015 in Halle/Saale*. Schott Campus, Mainz, Germany, 2016.