



N. Mixed Reality und Digitale Raumgestaltung

→ 3D, Augmented Reality, Datenaufbereitung, Digitalisierung, Mixed Reality, Virtual Reality

Unter dem Begriff Mixed Reality (MR) wird eine Menge von Systemen zusammengefasst, die reale Elemente mit computergenerierten Inhalten verbindet. Derartige Ansätze kommen auch in der Forschung zum Einsatz und unterstützen Forscher*Innen bei der Visualisierung, Betrachtung oder Analyse ihrer Daten.

Auch im Bereich der Kunstgeschichte finden diese Technologien Anwendung, z. B. bei der Visualisierung von Räumen oder Objekten. Oft ist die Zielsetzung, dass reale Vorbilder digitalisiert und möglichst realitätsnah dargestellt werden. Dabei tritt die Fragestellung auf, welche Verfahren für die Erstellung von virtuellen Zwillingen eingesetzt werden können und welche Vor- und Nachteile berücksichtigt werden müssen.

Wir stellen anhand von zwei aktuellen Digitalisierungsprojekten verschiedene Verfahren vor und diskutieren deren Vor- und Nachteile. Im Anschluss beschreiben wir, welche Schritte für die Aufbereitung der Daten notwendig sind, sodass diese mit modernen Ausgabegeräten in MR dargestellt werden können.

Darüber hinaus geben wir einen Überblick, in welchen Anwendungsbereichen die Technologie Mixed Reality ihre Stärken besonders ausspielen und welchen Nutzen man daraus ziehen kann.

N.1 Einleitung

Unter dem Begriff Mixed Reality (gemischte Realität; MR) wird eine Menge von Systemen zusammengefasst, die reale Elemente mit computergenerierten Inhalten verbindet. Je nachdem ob reale oder virtuelle Inhalte überwiegen, spricht man von Augmented Reality (erweiterte Realität; AR) oder Virtual Reality (virtuelle Realität; VR). **01** Bei AR überwiegt der reale Anteil, während bei VR dem Betrachter eine primär virtuelle Welt präsentiert wird.

Aufgrund technologischer Fortschritte ist in den letzten Jahren eine Vielzahl von Geräten und Anwendungsfällen entstanden, die VR und AR von komplexen Nischenprodukten zur Massentauglichkeit übergeleitet hat. Das Spektrum an Geräten und Anwendungsszenarien ist sehr weitreichend und mit der Entwicklung der Hardware sind auch große Fortschritte im Bereich der Software einhergegangen.

Die Einsatzszenarien in der Wissenschaft stehen der Vielfalt der Use-Cases in anderen Bereichen nicht nach: ob eine naturgetreue Darstellung von Räumen, detaillierter Objekte oder digitaler Rekonstruktionen, die Technologie MR erlaubt eine dreidimensionale Darstellung und natürliche Navigation sowie Interaktion.

Mit der Verfügbarkeit und Einsteigerfreundlichkeit dieser Geräte verschiebt sich der Fokus zunehmend auf die Erstellung von Inhalten: Wie können Räume und Objekte erfasst werden? Wie müssen die Daten für eine Darstellung mit MR aufbereitet werden, um eine realitätsnahe Wiedergabe zu ermöglichen? Welche Einsatzszenarien bieten die Technologien und wer kann davon profitieren?

■ 01

Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi, Fumio Kishino, *Augmented Reality, A class of displays on the reality-virtuality continuum*, in: *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351, 1994, S. 282-292.

N.2 Aufnahme und Erfassung der Daten

Um virtuelle Zwillinge von realen Objekten oder Räumen zu rekonstruieren, gibt es unterschiedliche Ansätze, die je nach Einsatzszenario Vorteile, aber auch Nachteile mit sich bringen. Vor der Wahl der Technologie müssen daher die Anforderungen definiert werden: Wie groß ist das abzubildende Objekt, Raum oder Gebäude? Wie komplex der Aufbau und wie detailgetreu muss die Wiedergabe sein?

Bei der Photogrammetrie wird eine hohe Anzahl von Fotoaufnahmen kombiniert, um daraus mittels Software ein 3D-Modell zu berechnen. **02** Die Fotografien werden zusammengesetzt und daraus Punkte im Raum für das 3D-Modell ermittelt. Es ist wichtig das Original aus möglichst vielen Blickwinkeln zu fotografieren, denn fehlende Information führt zu Bereichen, in denen keine Geometrie erzeugt werden kann. Ein großer Vorteil der Photogrammetrie stellt die zeitgleiche Generierung der Textur dar. Außerdem erzielt diese Methode auch bei der Verwendung herkömmlicher Digitalkameras sehr gute Ergebnisse, was sie zu einer kostengünstigen Lösung macht. **03** Je nach Weiträumigkeit des Raumes kann der Photogrammetrie-Ansatz sehr zeitaufwändig sein.

Als 3D-Laserscanning wird der Vorgang bezeichnet, bei dem mit Hilfe eines Laserstrahls Objekte oder Räume erfasst und vermessen werden. Das digitale Abbild wird auch hier automatisch generiert. Die Punkte des 3D-Objektes werden jedoch vom Laserscanner erzeugt und nicht nachträglich errechnet. **04** Um einen hochwertigen Scan zu erhalten, ist es auch hier notwendig, das Original von möglichst vielen Seiten aufzunehmen. Bei der Digitalisierung großflächiger Anlagen oder komplexer Strukturen bietet das Laserscanning einige Vorteile gegenüber der Photogrammetrie: Ein geringerer zeitlicher Aufwand der Erfassung, aber auch eine detailgetreuere Rekonstruktion sind besonders hervorzuheben.

Objekte und Räume können auch auf der Grundlage von Bauplänen oder Grundrissen mit einem 3D-Modellierungsprogramm manuell entwickelt werden. Die Voraussetzung von Fachwissen in der Handhabung der Software sowie der Pipeline zur Aufnahme und Optimierung der Texturen machen diesen Ansatz für viele Zielsetzungen ineffizient. Ein entscheidender Vorteil gegenüber den vorherigen Ansätzen ergibt sich jedoch für Projekte, die viele interaktive Elemente mit dem virtuellen Gegenstand oder Raum planen. Eine Kombination mit Photogrammetrie oder 3D-Laserscanning bietet sich in vielen Fällen an. Unabhängig von der Wahl des Ansatzes zur Erfassung des Raumes oder Objekts und der Generierung des virtuellen Abbildes, ist eine gute Vorbereitung der zu erfassenden Szene fundamental. Des Weiteren kann die Qualität der 3D-Rekonstruktion durch eine Aufbereitung der aufgenommenen Bilder stark verbessert werden. **05**

■ 02

Simón Peña-Villasenín, Mariluz Gil-Docampo, Juan Ortiz-Sanz, Desktop vs cloud computing software for 3D measurement of building façades: The monastery of San Martín Pinario, in: *Measurement*, 149, 2020.

■ 03

Philip Sapirstein, Accurate measurement with photogrammetry at large sites, in: *Journal of Archaeological Science*, 66, 2016, S. 137–145.

■ 04

Emmanuel P. Baltasvias, A comparison between photogrammetry and laser scanning, in: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54, 1999, S. 83–94.

■ 05

Marco Gaiani, Fabio Remondino, Fabrizio Ivan Apollonio, Andrea Ballabeni, An Advanced Pre-Processing Pipeline to Improve Automated Photogrammetric Reconstructions of Architectural Scenes, in: *Remote Sensing* 8, 2016, S. 1–27.

Im Anschluss soll anhand von zwei Fallbeispielen die Erfassung und Aufbereitung von 3D-Modellen skizziert werden: dem Kaisersaal in der Neuen Residenz Bamberg und der Kammerkapelle der Kurfürstin Therese Kunigunde im Neuen Schloss Schleißheim.

Der Kaisersaal in der Neuen Residenz Bamberg wurde von **Bernhard Strackenbrock** mithilfe von Photogrammetrie erfasst. Das resultierende 3D-Modell war detailliert und die Texturen hochauflösend. Dennoch war vielerorts eine manuelle Überarbeitung notwendig, um Unzulänglichkeiten des Rekonstruktionsverfahrens auszugleichen: Beispielsweise wurden Glas- und Fensterscheiben in soliden, opaken Flächen dargestellt und Texturen wiesen eine markante Farbverschiebung auf. Das Ergebnis ist in 01 dargestellt.



□ 01
Überarbeitetes 3D-Modell
des Kaisersaals.

Als Datengrundlage für die Überarbeitung des Photogrammetrie-Modells wurden vom Deutschen Dokumentationszentrums für Kunstgeschichte – Bildarchiv Foto Marburg hochqualitative Fotos zur Verfügung gestellt.


Mit Hilfe einer 3D-Modellierungssoftware wurden aus dem Fensterglas resultierende opake Flächen manuell entfernt. Die Fensterrahmen wurden zur Verbesserung der Qualität anhand von Referenzfotos nachmodelliert.

Der Vergleich der Referenzfotos mit den Texturen des 3D-Modells offenbarte eine Farbverschiebung, die stark von der realen Farbgebung des Raumes abwich. In manchen Bereichen des Bodens fehlte die Texturinformation vollständig. Für die Korrektur wurde der Boden vom Rest des 3D-Modells getrennt sowie die dazugehörige Textur neu erstellt. Die Texturbilder wurden mit einer Bildbearbeitungssoftware farbkorrigiert und fehlende Informationen mit Hilfe des Referenz-Bildmaterials ergänzt. [02](#) zeigt einen Vergleich des 3D-Modells des Kaisersaals vor (links) und nach (rechts) der Überarbeitung.

□ 02

Vergleich 3D-Modell des Kaisersaals vor (links) und nach (rechts) der Überarbeitung.



Im Gegensatz zum Kaisersaal wurde die Kammerkapelle der Kurfürstin Therese Kunigunde komplett manuell rekonstruiert. Initial als studentisches Projekt in Kooperation mit der Ludwig-Maximilians-Universität München modelliert, wurde der Datensatz von Mitarbeiter*Innen des Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften ergänzt und verfeinert. In mehreren Iterationen wurde der Raum anhand von Referenzfotos detailgetreu nachgebildet. Die Modelle wurden anschließend mit Hilfe von möglichst neutral beleuchteten Fotografien texturiert.  zeigt ein Rendering des resultierenden 3D-Modells.

Besonders der aufwändige Stuck, der den Bereich der Decke und Laterne ziert, stellte eine Herausforderung für die Modellierung dar. Während die allgemeine Geometrie des Raums aus einfachen Formen besteht, welche sich leicht digital nachbilden lassen, erfordern die feinen Strukturen des Stucks eine wesentlich komplexere Geometrie. Es musste ein Kompromiss zwischen möglichst realitätsgetreuer Nachbildung, der verwendeten Geometriedichte und dem Arbeitsaufwand gefunden werden.

Auch die Statuen am Rand der Laterne wurden nachgebildet, um die Szene zu vervollständigen. Da die Laterne besonders schwer zugänglich und die Raumstruktur mit Säulen und großen dreidimensionalen Figuren relativ komplex ist, wurde die manuelle Rekonstruktion gegenüber 3D-Laserscanning oder Photogrammetrie bevorzugt.

□ 03

Kammerkapelle
im Neuen Schloss Schleisheim.

N.3 Aufbereitung für VR

Nach der Bearbeitung des 3D-Modells war der nächste Schritt, die Räume für den Einsatz in VR vorzubereiten. Ein Schwerpunkt lag auf der Immersion **06** im virtuellen Raum: Betrachter und Forscher sollen in der VR-Anwendung das Gefühl haben, als wären sie tatsächlich in den barocken Räumen. Dafür wurde der Fokus auf eine realistische Darstellung des Raumes gesetzt. Mit der **Unreal Engine** wurde eine Software eingesetzt, die in der Spiele-Industrie weit verbreitet ist und den Prozess von 3D-Modell zu VR-Anwendung effizienter gestaltet. Derartige Game Engines bieten Entwicklern eine Reihe an hilfreichen Funktionen an, die sonst primär im Unterhaltungsbereich genutzt werden wie Material-Bearbeitung, dynamisches Licht und Aufbereitung für verschiedene VR-Ausgabegeräte.

Im Falle des Kaisersaals war eine Korrektur der Skalierung notwendig: Um dem Betrachter einen möglichst realitätsnahen Eindruck des Kaisersaals zu vermitteln, wurden die Maße des echten Saals in Bamberg auf den virtuellen Zwilling übertragen. In VR ist es dadurch möglich, dass Besucher die Größe des Saals realistisch wahrnehmen können.

Außerdem wurden die Elemente des Kaisersaals anhand der vorhandenen Bilder auf ihre Konsistenz untersucht, um die unterschiedliche Materialität darstellen zu können: Es wurde ein wesentlicher Unterschied zwischen dem gekachelten, spiegelnden Boden und den matten Materialien der Wände und Decke festgestellt. Aus diesen Analysen wurde beim Bodenmaterial neben der Textur auch ein leicht reflektierendes Material eingesetzt, sodass die Lichtspiegelung wiedergegeben wird. Die Sonneneinstrahlung im virtuellen Raum wird anhand der geografischen Lage des realen Saals berechnet. In der VR-Applikation wird der Saal von der niedrigen Abendsonne beleuchtet. Der niedrige Sonnenstand leuchtet den gesamten Raum aus und man kann die Malerei mit guten Lichtverhältnissen betrachten. Die VR-Präsentation soll die Aufmerksamkeit auf den Kaisersaal lenken. Daher wurde auf eine Modellierung der Umgebung außerhalb der Fenster verzichtet und die Umgebung besteht nur aus dem Himmel.

Neben der Darstellung ist es wichtig, dass Besucher sich in der VR-Anwendung durch die Modelle bewegen und alle Details aus der Nähe betrachten können. Die für die Applikation gewählte Navigationsmethode erlaubt es dem Betrachter sich völlig frei im Raum zu bewegen – der Nutzer ist auch nicht an den Boden gebunden und kann im Raum fliegen. **07** Diese Methode eignet sich besonders zur Betrachtung und Untersuchung von Details an Decke oder Wänden, denn der Betrachter kann auf Wunsch direkt zur Decke des virtuellen Raumes schweben.

Dank Einsatz von Game Engines ist die Applikation mit verschiedensten VR-Ausgabegeräten nutzbar: in professionellen Installationen wie der CAVE im Zentrum für Virtuelle Realität und Visualisierung am LRZ **08**, wo Besucher die Installation betreten und von dem virtuellen Raum umgeben sind, aber auch in HMDs, welche an verschiedenen Orten eingesetzt werden können, vom Heimbereich über Präsentation oder Lehre bis hin zu Konferenzen und Ausstellungen.

■ 06

Mel Slater, Martin Usoh, Anthony Steed, *Depth of Presence in Immersive Virtual Environments*, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, MIT Press 3(2), 1994, S. 130–144.

■ 07

Doug Bowman, David Koller, Larry F. Hodges, *Travel in Immersive Virtual Environments: An Evaluation of Viewpoint Motion Control Techniques*, in: *Proceedings of the 1997 Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS 97)*, 1997, S. 45–52.

■ 08

Leibniz-Rechenzentrum, *Installationen des V2C*, <https://doku.lrz.de/display/PUBLIC/Installationen>.

N.4 Einsatzmöglichkeiten

■ 09

Marc Levoy, Kari Pulli, Brian Curless et al., *The digital Michelangelo project: 3D scanning of large statues*, *Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '00)*, (2000), S. 1-14.

■ 10

Chris Evans, *Il Divino: Michelangelo's Sistine ceiling in VR*, *ACM SIGGRAPH 2019 Virtual, Augmented, and Mixed Reality (SIGGRAPH '19)*, Association for Computing Machinery, New York, 11, 2019, S. 1-1.

■ 11

Marcello Carrozzino, Massimo Bergamasco, *Beyond virtual museums: Experiencing immersive virtual reality in museums*, *Journal of Cultural Heritage* 11, 4 (2010), S. 452-458.

Die Erstellung von sehr hochauflösenden und möglichst realitätsnahen 3D-Modellen zur digitalen Dokumentation findet schon seit mehreren Jahrzehnten statt (vgl. »The Digital Michelangelo Project« ⁰⁹). Mit dem Einsatz von MR ergeben sich in den letzten Jahren allerdings völlig neue Wege, um die virtuellen Zwillinge zu präsentieren. Nicht zuletzt kann damit der breiten Masse der Zugang zu historischen Räumen, Gebäuden oder Objekten ermöglicht werden (vgl. auch die VR Darstellung der Sixtinischen Kapelle ¹⁰).

Auch in anderen Bereichen kann die MR-Technologie Anwendung finden. Museen können sich die Technologie für Ausstellungen zunutze machen. ¹¹ Ein Berühren von Artefakten wird in diesem Kontext im Normalfall unterbunden, sodass das Fehlen einer haptischen Komponente in VR oder AR keine Auswirkung hat. Darüber hinaus können Gegenstände so für Wissenschaftler oder Besucher zugänglich gemacht werden, die besonders schützenswert sind oder durch menschliche Einwirkung beschädigt würden.

Ein weiterer Ansatz beschäftigt sich nicht nur mit der digitalen Erhaltung bzw. Dokumentation, sondern auch mit der digitalen Rekonstruktion. Am 3D-Modell können beispielsweise Fresken gefahrlos und mit verhältnismäßig einfachen Methoden digital rekonstruiert werden. VR und AR Anwendungen erlauben die gleichzeitige Darstellung des Originals und der Rekonstruktion und ermöglichen den Vergleich oder Korrekturen.

Bei Einsatz von VR in der Raumgestaltung ist auch die interaktive Anpassung von Lichtquellen und Lichtverhältnissen hervorzuheben. Moderne Game Engines berechnen die Darstellung in Echtzeit. Lichtquellen können beliebig positioniert, die Tageszeit und der Sonnenstand nach Belieben angepasst werden. So kann die Umgebung auf Knopfdruck bei verschiedensten Lichtverhältnissen erlebt werden.

Die AR-Technologie beschäftigt sich nicht nur mit der Darstellung von 3D-Modellen, sondern behandelt auch die Interaktion mit der realen Welt: Objekte oder Bilder werden erkannt und können mit Objekten überlagert oder Informationen annotiert werden. Die Einsatzszenarien reichen damit von der Unterstützung von Wissenschaftlern oder Besuchern mit Zusatzinformationen bis hin zum Vergleich der realen Welt mit digitalen Rekonstruktionen oder Modellen.

N.5 Fazit und Ausblick

Während VR und AR als Technologien schon seit Jahrzehnten erforscht werden, haben technologische Fortschritte der letzten Jahre vor allem im VR-Bereich eine neue Generation an Ausgabegeräten und Einsatzbereichen ermöglicht. AR-Geräte sind noch nicht so weit entwickelt wie ihre VR-Gegenstücke, das Potenzial der Technologie ist aber auch hier erkennbar. Die Einsatzszenarien im Massenmarkt beschränken sich aktuell primär auf die Unterhaltungsindustrie. Dabei birgt die Technologie auch für den Einsatz im wissenschaftlichen Bereich massives Potenzial.

Aktuell kann eher der Mangel an Datensätzen als einschränkender Faktor identifiziert werden. Moderne Softwaretechnologien und Ausgabegeräte würden eine virtuelle, interaktive Begehung von großen Gebäuden oder ganzen Schlössern erlauben. Gleichzeitig können virtuelle Zwillinge benutzt werden, um originale Artefakte zu schützen und sie den Besuchern zugänglich zu machen. Diese Technologien können für die Forschung aber auch für virtuelle Museen ein großer Vorteil sein.

N.6 Danksagungen

- Corpus der barocken Deckenmalerei Deutschlands
- Bayerische Akademie der Wissenschaften
- Bayerische Schlösserverwaltung
- Deutsches Dokumentationszentrum für Kunstgeschichte – Bildarchiv Foto Marburg
- Kaisersaal (Bernhard Strackenbrock, illustrated architecture), Kammerkapelle (Ute Engel, Karin Guminski sowie Studierende der Studienrichtungen Kunstgeschichte und Kunst und Multimedia)