

Konzeption und Verifikation eines Auswahlverfahrens für 3D-Scantechnologien

Gregor Tallig¹, Raphael Zender¹ und Ulrike Lucke¹

Abstract: Virtuelle Umgebungen sind am Arbeitsplatz und insbesondere für kritische Produktionsplätze wertvolle Lernorte. In ihnen können gefahrlos Abläufe trainiert und simuliert werden, bevor sie in die Realität übertragen werden. Aktuelle Entwicklungen um VR-Brillen und 3D-Drucker erhöhen den Bedarf nach effizienten Mechanismen um Artefakte dreidimensional zu digitalisieren. Aufgrund der breiten Auswahl an 3D-Scannern und deren unterschiedlichen Verfahrensweisen müssen Entwickler und Anwender dieser Systeme viel Zeit in den Vergleich investieren, bevor sie eine fundierte Entscheidung für ein System treffen können. Dieser Beitrag bietet nicht nur einen Überblick über eine Vielzahl relevanter Kriterien in Bezug auf 3D-Scanner, sondern schlägt zudem ein Verfahren zur Auswahl eines geeigneten 3D-Scansystems anhand individueller Anwendungsszenarien vor. Ein erster Test zeigt die Anwendbarkeit des Selektionsverfahrens.

Keywords: 3D-Scanner, 3D-Modelle, Selektionsprozess

1 Einleitung

Technologien für die Erstellung und den Konsum von Anwendungen der Virtuellen Realität (VR) werden zunehmend erschwinglich und in der Breite nutzbar. Dadurch gewinnen VR-Anwendungen in verschiedenen Kontexten an Bedeutung – z.B. für simulierte Lernumgebungen, insbesondere an Arbeitsplatz- und Produktionsequipment, dessen unsachgemäße Bedienung zu kostenintensiven Ausfällen führen würde. Dafür müssen reale Umgebungen und Objekte in virtuellen Welten möglichst realistisch nachgestellt werden. Dies ist nach wie vor ein aufwendiger Prozess. Vor allem drei Ansätze und deren Hybride werden derzeit verfolgt:

- (1) Virtuelle Räume und Modelle werden aufwendig manuell modelliert [A114].
- (2) Reale Umgebungen werden von einer 360°-Kamera filmisch aufgenommen [HZ08]. Der Konsument kann diese anschließend bei freier Wahl der Blickrichtung beispielsweise mit einem Head Mounted Display (HMD) betrachten.
- (3) Reale Umgebungen und Artefakte werden mit einem 3D-Scanverfahren abgetastet und automatisiert in ein virtuelles 3D-Objekt überführt [BM02].

¹ Universität Potsdam, Institut für Informatik und C.S., August-Bebel-Str. 89, 14482 Potsdam, vorname.nachname@uni-potsdam.de

Vor allem Variante 3 überzeugt potentiell durch eine hohe Automatisierbarkeit, einen geringen zeitlichen Aufwand für Laien und Flexibilität bei der späteren Nutzung des Modelles. 3D-Scans sind somit vielversprechend für die zukünftige Nachbildung realer Artefakte für virtuelle Umgebungen. Daher gibt es inzwischen eine Vielzahl von Hardwarelösungen, die zum Scannen verwendet werden können. Je nach Anwendungsszenario und dessen Rahmenbedingungen sind bestimmte Systeme besser oder schlechter für den erforderlichen Scanvorgang geeignet.

Ziel dieses Beitrags ist es, für konkrete Anwendungsfälle eine Hilfestellung zur Auswahl eines oder mehrerer Scanner bzw. Scan-Ansätze zu geben. Dafür wurde unter Auswertung der Fachliteratur sowie einer Analyse aktueller Produkte auf dem 3D-Scan-Markt ein umfassender Kriterienkatalog zur Unterscheidung der Lösungen erarbeitet. Dieser Katalog kann über ein in diesem Beitrag vorgestelltes Selektionsverfahren mit den jeweiligen Anforderungen eines Szenarios abgeglichen werden, um die Kaufentscheidung für ein konkretes Gerät zu erleichtern.

2 Technische Grundlagen

Unter einem 3D-Scanner wird ein System bestehend aus Hard- und Software verstanden, das mithilfe eines Mediums Abstandsinformationen zu realen Objekten gewinnt. Diese Informationen werden zur Erstellung einer digitalen, dreidimensionalen Repräsentation des physischen Originals genutzt. Dabei werden unterschiedliche Medien zur Erfassung eingesetzt und demzufolge auch verschiedene Grade der Übereinstimmung von Original und erfasster Kopie erreicht. Insbesondere optische Verfahren zeichnen sich durch eine kostengünstige Umsetzung, unkompliziertes Setup und geringe Invasivität aus und werden daher in diesem Beitrag fokussiert.

2.1 Genauigkeit und Auflösung

Übereinstimmung bezieht sich im 3D-Scanning-Kontext vor allem auf zwei Messgrößen: Genauigkeit und Auflösung. Genauigkeit bezeichnet die Abweichung eines physischen Punktes zum digitalen, gescannten Pendant. Zusätzlich zur Genauigkeit entscheidet auch die Auflösung eines Scanners über die Übereinstimmung des digitalen Objektes mit dem physischen. Auflösung beschreibt die räumliche Abtastungsdichte, mit der der Sensor die Abstandsinformationen erhebt [Wa04].

2.2 Verfahrensweisen

Die Erfassung von geometrischen Formen durch die Messung von Abständen ist von einer Vielfalt unterschiedlicher Vorgehensweisen geprägt, die sich im Laufe der Entwicklung von 3D-Scannern herauskristallisiert haben.

Die Menge der optischen Verfahren spaltet sich in aktiven und passiven Verfahren auf [Ov15]. Je nachdem, ob ein System aktiv ein optisches Medium ausstrahlt – um davon reflektierte, also zurück zum Sensor gesandte, Strahlen aufzunehmen – oder das bereits in der Scanumgebung vorhandene lediglich passiv aufnimmt, zählt es zur einen oder anderen Kategorie. Für einen Überblick empfehlen sich [OV15] und [Be88].

3 Verfahren für die Auswahl eines 3D-Scanners

Das entwickelte Auswahlverfahren fußt auf einem Vergleich von insgesamt 31 kontaktlosen, optischen 3D-Scannern. Dieser umfasst Geräte wie zum Beispiel DAVID- SLS-2, Creafom HandySCAN 700, Kinect v2, Csiro Zebedee, Makerbot Digitizer oder auch den Structure Sensor. Die Auswahl der 3D-Scansysteme orientiert sich an aktuell verfügbaren und genutzten Systemen. Dabei werden Lösungen für Endkonsumenten aber auch für industrielle Anwendungen betrachtet, wobei das Augenmerk auf Ersteren liegt. Die Systeme wurden hauptsächlich auf Basis zweier Webseiten, die 3D-Scanner Übersichten bieten, ausgewählt: 3druck.com und aniwaa.com. Durch die Angaben der Hersteller und gezielte Nachfragen konnten die Kriterien erhoben werden. Die Webseiten wurden aufgrund ihres angebotenen Umfangs und ihrer Detailliertheit ausgewählt. Zum Vergleich der verschiedenen 3D-Scanner wurden vor allem Kriterien erarbeitet, die möglichst solche Merkmale beschreiben, die für Anwendungsszenarien besonders von Bedeutung sind und diese gut voneinander abgrenzbar machen.

Die erhobenen Kriterien werden erläutert, um darauf aufbauend an einem Beispiel die Anwendung des Auswahlverfahrens zu demonstrieren.

3.1 Kriterienkatalog

Nachfolgend werden alle Kriterien samt ihrer Werte, die sie in diesem Vergleich annehmen können, kurz erläutert. Zur besseren Übersicht wurden sie in drei Gruppen eingeteilt: Superkriterien, Basiskriterien und technische Kriterien. In Tab. 1 werden die Superkriterien beschrieben. Anschließend folgen die Basiskriterien in Tab. 2. Die technischen Kriterien umfassen Geschwindigkeit, Genauigkeit, Auflösung, minimale sowie maximale Reichweite, vertikales und horizontales Sichtfeld eines 3D-Scanners.

3.2 Anwendung am Beispiel

Das entwickelte Auswahlverfahren wurde mit einem exemplarischen Anwendungsszenario einem ersten Test unterzogen. Hierbei sollte ein ca. 8,8m x 6,7m x 2,8m großes Labor inkl. Einrichtung durch eine beliebige Person ohne Vorkenntnisse gescannt werden. Aus dem Anwendungsszenario lassen sich Anforderungen in Form der Kriterien des Vergleichs extrahieren.

Superkriterien		
<i>Kriterium</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Mögliche Werte</i>
Oberklasse	Da ausschließlich kontaktlose, optische Verfahren betrachtet wurden, wird nur in „Aktiv“ und „Passiv“ unterschieden.	Aktiv / Passiv
Vorgehensart	Hier wird eine Unterteilung anhand von Unterkategorien der aktiven und passiven Verfahren vorgenommen.	Triangulation, Imaging Radar, Inferometrie (vgl. [OV15] und [Be88])
Verarbeitungssynchronität	Können Daten in Echtzeit visualisiert werden?	Ja / Nein
Multi-perspektive	Beschreibt, wie der 3D-Scanner im Raum bewegt werden kann. Freie Systeme weisen den höchsten Grad der Bewegungsfreiheit auf, zentriert und statisch-offen unterscheidet sich nur anwendungsspezifisch. Statisch-zentriert beschränkt die Bewegungsfreiheit am stärksten.	Frei / Zentriert / Statisch-offen / Statisch-zentriert / nicht multi-perspektiv
Reichweite	In welchen Abständen zum Objekt kann ein Scanner betrieben werden.	Nah / Mittel / Weit / Uneingeschränkt
Simultaner Scanbereich	Welchen Bereich kann der Scanner mit einer Messdatenerhebung gleichzeitig erfassen?	Punkt / Linie / Fläche
Mobilität	Gibt die Möglichkeit an, das System während der Scanoperation zu bewegen.	Mobil / Eingeschränkt / Nicht mobil

Tab. 1: Die Superkriterien und ihre möglichen Werte

Basiskriterien		
<i>Kriterium</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Mögliche Werte</i>
Kosten	Hier werden die Kosten in Euro angegeben.	Kosten in €
Benutztes Medium	Welches Medium verwendet das System um Abstände zu realen Objekten zu messen? Hieraus lassen sich erste Aussagen darüber treffen, welche Oberflächen mit welcher Beschaffenheit nicht erkannt werden.	Licht / Infrarot
Scanvolumen	In welchem Bereich kann das System ohne Nutzer-eingriff Messdaten erheben? Dies muss nicht das Volumen sein, das der Scanner zeitgleich erfasst, z.B. wenn der Sensor motorisiert ist.	Scanvolumen [m ³]
Texturen	Erfasst der Scanner zusätzlich zur Objektgeometrie auch dessen farbliches Aussehen? Somit liegt das digitale Modell mit einer Textur vor.	Ja / Nein
Zugänglichkeit	Die Zugänglichkeit des Systems für den Benutzer gliedert sich in 4 Stufen: 4: programmierbar 3: Software (z.B. SDK) und Anschluss vorhanden 2: lediglich Hardware-Anschluss vorhanden 1: keine mitgelieferte Software und kein Anschluss	4 / 3 / 2 / 1

Tab. 2: Die Basiskriterien und ihre möglichen Werte

Somit kann der in Abb. 1 dargestellte Selektionsprozess exemplarisch durchgeführt werden, wobei 3D-Scanner aufgrund unpassender Kriterienbelegungen schrittweise aussortiert werden. Der beschrittene Pfad ist im Diagramm hervorgehoben. Die Kriterienklassen finden hierbei in absteigender Mächtigkeit Anwendung auf die 31 verschiedenen 3D-Scanner. Tab. 3 zeigt drei von sechs der für dieses Szenario eingeschränkten Kriterien und ihre zulässigen Werte sowie je eine kurze Begründung.

Kriterium	Zulässige Werte	Kurze Begründung
Multiperspektive	Frei / Statisch-offen	Drehung um eigene Achse erforderlich
Reichweite	Mittel / Weit / Uneingeschränkt	„Nah“ aufgrund von Zeitaufwand
Mobilität	Ja / Eingeschränkt	Zeitsparender Scanprozess ohne Umbaumaßnahmen gewünscht

Tab. 3: Einige für das Szenario eingeschränkte Kriterien, ihre zulässigen Werte und eine Begründung für die Einschränkung

Das Ziel, einen Raum einzuscannen, wurde mit dem gewählten Scanner (Kinect v2) erreicht. Abb. 2 gibt einen Einblick in die Qualität des erzeugten Raummodells. Es existiert eine Vielzahl von Löchern, an deren Stellen keine Scandaten erhoben wurden.

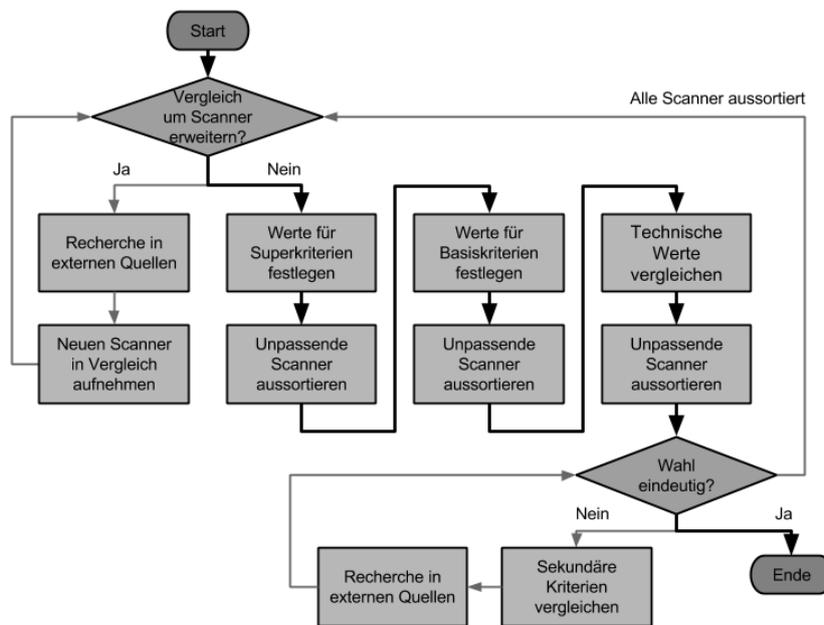


Abb. 1: Prozess zur Auswahl eines 3D-Scanners auf Basis der erhobenen Scanner (der im Beispiel genommene Pfad wurde hervorgehoben)



Abb. 2: Das erzeugte 3D-Modell des Labors mit Löchern

Die erforderliche Nachbearbeitung stellte eine anspruchsvolle Aufgabe dar und verdeutlicht, dass im Gegensatz zur ursprünglichen Anforderung, doch Multimedia- Kenntnisse vorhanden sein müssen, um einen 3D-Scan vollständig durchzuführen.

Im Hinblick auf den Scanvorgang ergeben sich weitere Aspekte, die eingangs anders

erwartet wurden. Beispielsweise wies der Vorgang eine geringe Intuitivität auf, da der kabelgebundene 3D-Scanner wackelarm bewegt werden musste.

Die gewählten Kriterien spiegelten in diesem Szenario Anforderungen hinsichtlich großem Scanbereich und hoher Intuitivität wider. Andere Szenarien, wie zum Beispiel ein automatisiertes Scannen kleiner Figuren, können hier den Fokus auf hohe Genauigkeit, Texturerfassung und Programmierschnittstellen richten.

4 Diskussion

Im Folgenden wird das Auswahlverfahren reflektiert. Dabei wird darauf eingegangen, inwieweit der in dieser Arbeit vorgestellte Vergleich die trotz des erfolgreichen Erfüllens des exemplarischen Anwendungsszenarios aufgetretenen Probleme verhindern hätte können und warum diese nicht bereits vor der Festlegung auf den ausgewählten Scanner zu erkennen waren.

Das Operieren des 3D-Scanners im durchgeführten Anwendungsszenario mit lediglich einer Person war problembehaftet. Allerdings hätten diese Schwierigkeiten womöglich durch die Eingrenzung der Mobilität auf ausschließlich „mobil“ ausgeschlossen werden können. Fraglicher sind hier die nötigen Kenntnisse zum Anfertigen eines Scans. Denkbar wäre ein Maß für die Benutzerfreundlichkeit des Systems und insbesondere der Software. Diesen Wert für alle 3D-Scanner zu erheben, ist jedoch schwierig und kaum objektiv machbar, da ohne Herstellerangaben jedes System einzeln getestet werden müsste.

Ebenfalls hilfreich könnte ein Kriterium sein, das Aufschluss über die Fehlerrate der Scandaten gibt, die z.B. falsch gesetzte oder auch ausgelassene Punkte einschließt. Aber auch hierzu fehlen zumeist Informationen, weshalb zeit- und ressourcenlastige Selbstversuche erforderlich sind. Alternativ könnten unabhängig erstellte Beispiel- Scandaten zur Verfügung gestellt werden, anhand derer vor der finalen Auswahl ein subjektiver Eindruck gewonnen werden könnte. Diese sind in einigen Fällen bei ausreichender Recherche zu finden und wurden direkt von Nutzern angefertigt. Fragwürdig sind hier Qualität und somit Aussagekraft der einzelnen Scandaten.

Allgemeiner und unabhängig vom beschriebenen Anwendungsszenario bleibt abzuwägen, ob die Genauigkeit eines Systems zu wenig Beachtung fand. Bisher findet sie als technisches Kriterium als letzte Instanz Einzug in die Auswahl eines Systems und lässt sich aufgrund der Gerätevielfalt nur eingeschränkt vergleichen. Eine Vielzahl von Szenarien mag aber auf dieses Kriterium besonderes Augenmerk legen. Trotzdem kann davon ausgegangen werden, dass zunächst die zulässigen Super- und Basiskriterien-Werte zutreffen müssen, da das System sonst generell nicht zum Szenario passt.

Gravierender ist der Umstand, dass beispielsweise das System Zebedee von Csiro nicht

beim Auswahlverfahren für das exemplarische Anwendungsszenario hervortrat. Das System wurde unter anderem zum 3D-Abbilden von Höhlen konzipiert. Es mangelte ihm an der Verarbeitungssynchronität sowie am linien- bzw. flächenweisen simultanen Scannbereich. Das Ausscheiden aufgrund dieser zwar zutreffenden Tatsachen ist korrekt, jedoch würde sich dieser Scanner vermutlich ebenso zum Scannen eines Raumes eignen wie die ausgewählte Kinect. Hier hätte auf das synchrone Verarbeiten verzichtet werden können, da der Scanner weitgehend automatisiert die Umgebung abtastet. Daher würde die punktweise Erhebung von Abstandsdaten nach derzeitigem Erkenntnisstand keine Beeinträchtigung hinsichtlich Intuitivität und Schnelligkeit des eigentlichen Vorhabens darstellen. Vor dem Aussortieren anhand der Kosten, hätte dieses System zur Auswahl stehen müssen. Dies stellt durchaus eine Schwachstelle des Vergleichs und des Auswahlverfahrens dar und könnte sich durch ein weiteres Kriterium mit Aussage über die Automatisierung eines 3D-Scanners und ein entsprechend angepasstes Vorgehen bei der Auswahl beheben lassen. Auch eine Verkettung von vorhandenen Kriterien zur Abbildung derartiger, neuer Kriterien ist denkbar. Andererseits ist dieses spezielle Kriterium bereits implizit im Scanvolumen enthalten. Hierdurch könnte daher eine Anpassung des Auswahlverfahrens genügen.

Trotz der diskutierten Herausforderungen und der Notwendigkeit die Kriterien hinsichtlich des Anwendungsszenarios einzuschätzen, bietet das vorgestellte Verfahren durch den vorgegebenen Selektionsprozess und die erarbeitete Datenbasis von 31 in die verschiedenen Kriterien eingeordneten 3D-Scannern bereits jetzt einen Mehrwert.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Durch das Abtasten realweltlicher Objekte können VR-Erfahrungen mit physischen 3D-Artefakten und Orten verbunden werden. Aufgrund der aktuellen technologischen Vielfalt im Bereich der 3D-Scanner ist es jedoch für Entwickler und Anwender eine Herausforderung für einen konkreten Fall eine geeignete 3D-Scantechnologie zu wählen. In diesem Beitrag wurde ein Selektionsverfahren auf Grundlage eines aktuellen Kriterienkatalogs sowie den Anforderungen aus den jeweiligen Szenarien vorgeschlagen. Die Anwendbarkeit des Verfahrens wurde in einer Fallstudie für den Scan eines Laborraums nachgewiesen und offene Herausforderungen und Probleme diskutiert. Weitere Anwendungen des Verfahrens sind erforderlich um die Güte der Lösung zu erheben und die Anwendbarkeit des Verfahrens fundiert zu verifizieren. Beispielsweise hat sich während der Fallstudie herausgestellt, dass weitere Kriterien sinnvoll sind, auch wenn diese oft nicht ohne konkreten Test einer Technologie bestimmt werden können (z.B. Fehlerrate).

Ein wesentlicher Ansatz für weitere Arbeiten auf diesem Gebiet ist, dass die einzelnen Kriterien/Systeme aufgrund des schnellen technologischen Fortschritts schnell veraltet sind – auch wenn die grundsätzlichen Ansätze bisher beibehalten wurden. Kriterien und Scanner-Systeme müssten daher regelmäßig gepflegt und aktualisiert werden, um auch längerfristig eine Hilfestellung geben zu können. Dies ist beispielsweise über eine Onli-

ne-Community zum Thema möglich. Diese könnte durch eine Art Crowd-Sourcing-Ansatz auch dabei helfen Eigenschaften einzelner Systeme durch Nutzertests zu untermauern und somit die Zuverlässigkeit der Auswahl zu steigern.

Literaturverzeichnis

- [Al14] Ali, N. et al.: The Effect of Multimodal Virtual Chemistry Laboratory on Students' Learning Improvement. In: *Augmented and Virtual Reality, LNCS 8853*, Springer, S. 65-76, 2014.
- [Be88] Besl, P. J.: Active optical range imaging sensors. *Machine Vision and Applications 1/88*, Springer, Berlin, S. 127-152, 1988.
- [BM02] Boehler, W.; Marbs, A.: 3D scanning instruments. In: *Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording, FH Mainz*, S. 9-12, 2002.
- [HZ08] Huang, F.; Zhi-Hao, L.: Stereo Panorama Imaging and Display for 3D VR System. In: *Congress on Image and Signal Processing 2008 (CISP '08)*, IEEE Computer Society, S. 796-800, 2008.
- [Ov15] Overview of active vision techniques, <http://www.cs.cmu.edu/~seitz/course/Sigg00/slides/curless-active.pdf>, Stand: 10.06.2015.
- [Wa04] Waldruff, T.: *Digitale Bildauflösung. Grundlagen, Auflösungsbestimmung, Anwendungsbeispiele*. Springer, Berlin, 2004.