



HUC | FUTURE THINKING

Informatics Inside
Frühjahr 2023

Tagungsband

Herausgeber*innen:
Uwe Kloos, Hochschule Reutlingen
Natividad Martinez, Hochschule Reutlingen
Gabriela Tullius, Hochschule Reutlingen

Impressum



Hochschule Reutlingen
Reutlingen University

Anschrift:

Hochschule Reutlingen
Reutlingen University
Fakultät Informatik
Human-Centered Computing
Alteburgstraße 150
D-72762 Reutlingen



Telefon: +49 7121 / 271-4002
Telefax: +49 7121 / 271-4032

E-Mail: informatics.inside@reutlingen-university.de
Website: <https://infoinside.reutlingen-university.de/>



Organisationskomitee:

Prof. Dr. rer. nat. Uwe Kloos, Hochschule Reutlingen
Prof. Dr.-Ing habil. Natividad Martinez, Hochschule Reutlingen
Prof. Dr. rer. nat. Gabriela Tullius, Hochschule Reutlingen

B. Sc. Adrian Schwab
B. Sc. Saskia Wesseler
B. Sc. Ahmad Salah
B. Sc. Salah Alobid
B. Sc. Jonas Winkler
B. Sc. Sahel Jalalzai
B. Sc. Rebecca Müller
B. Sc. René Wiskow
B. Sc. Michael Stych
B. Sc. Markus Egler

Verlag: Hochschule Reutlingen
ISBN 978-3-00-075235-3



©2022 bei den Autoren. Lizenznehmer Hochschule Reutlingen, Deutschland. Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel unter den Bedingungen und Konditionen der Creative Commons Attribution (CC BY)-Lizenz. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	III
Datenaustausch von Video-Devices mittels IEEE 11073 SDC	
Bertsch, L.	1
Entwicklungsverlauf der elektronischen Patientenakte in Deutschland bis 2023	
Schmutz, P.	13
Prozedurale Generierung von neigungsabhängigen 3D-Straßenmodellen aus Open-StreetMap für OpenDS	
Hackh, P.	25
State of the art: Design Patterns für Augmented Reality Anwendungen	
Engler, P.	37
Untersuchung der Gültigkeit von Fitt's Law in AR mithilfe der HoloLens 2	
Pollok, A.	51
Autorenverzeichnis	63

Datenaustausch von Video-Devices mittels IEEE 11073 SDC

Lukas Bertsch
Hochschule Reutlingen
Reutlingen, Deutschland
Lukas.Bertsch@student.reutlingen-university.de

Zusammenfassung

In diesem Text wird erläutert, wie Videoübertragungen im medizinischen Kontext möglich sind und welche Optionen es für Übertragungen gibt, die in Echtzeit geschehen müssen. Zusätzlich wird untersucht, wie eine Steuerung des Videostreams im Netzwerk unter Nutzung des IEEE SDC 11073 Standards möglich ist, und untersucht, ob dieser Echtzeitfähig ist. Ferner wird eine mögliche Architektur im Demonstration-Operationssaal der Hochschule Reutlingen gezeigt, mit der Videodaten der Operationslampe marLED, Series X übertragen und die Kameraeinstellungen gesteuert werden können.

CCS Concepts

• **Networks** → **Network protocols; Programming interfaces.**

Keywords

IEEE SDC 11073, medical video transmission, medical video control, OR.NET, integrated operating room, intraoperability

1 Einleitung

Der klinische Operationssaal (OP) wird durch zunehmende Verbesserung von Technik [8] zu einem komplexen Umfeld, in dem Workflows zu wichtigen Faktor bei der Qualität von Operationen werden [2]. Diese Komplexität wächst auch durch den steigenden Bedarf an Interoperabilität, welche durch interdisziplinäre Teams und durch die Verwendung von verschiedenen Geräten gewährleistet werden soll [6, 8, 11]. Die Fehlervermeidung ist im OP von hoher Relevanz [14]. Interoperabilität, welche zu einer Fehlervermeidung beitragen kann, ist noch nicht gewährleistet, da es viele Hersteller von Medizingeräten gibt, die eigene Protokolle nutzen, um die Kommunikation zwischen Geräten zu ermöglichen [7]. Der SDC 11073 Standard, der vom OR.NET¹ entwickelt wurde, hilft, dass die Kommunikation von medizinischen Geräten unabhängig der Protokolle und Software der Hersteller funktionieren kann [7]. Der Standard wird auf verschiedene Teile des medizinischen Gerätenetzwerks ausgeweitet und stetig weiterentwickelt [14].

Im OP und in dessen Umfeld wird die Übertragung von Videodaten immer wichtiger. Diese Videodaten können im OP oder für telemedizinische Anwendungen im Krankenhaus gezeigt werden. Im OP selbst wird versucht, das Risiko für die Patienten und Patientinnen sowie den Aufwand der Operation zu minimieren. Dies ist zum Beispiel mithilfe von minimalinvasiver

Betreuer/-in Hochschule	Oliver Burgert Hochschule Reutlingen Oliver.Burgert@reutlingen-university.de Denise Junger Hochschule Reutlingen Denise.Junger@reutlingen-university.de
-------------------------	--

Informatics Inside Frühjahr 2023
03. Mai 2023, Hochschule Reutlingen
Copyright 2023 Lukas Bertsch

¹<https://ornet.org/>

Chirurgie möglich. Hierbei wird versucht, nur durch wenige und kleine Schnitte im Körper, Instrumente und Kameras in den Patienten einzuführen, um die Operation durchzuführen [10]. Hier zeigt sich der Nutzen von Kameras, denn der Körper muss nicht komplett aufgeschnitten werden, um eine Sicht auf die zu operierenden Areale zu erhalten. Vielmehr reicht eine Kamera, wie ein bei einer Laparoskopie, die durch eine der Öffnungen eingeführt wird, aus, um ein Bild zu erhalten [10]. Die Vorteile dieser Methode liegen in geringeren Verletzungen, wenigen Schmerzen nach der OP sowie eine schnellere Erholung des Patienten, weniger Blutverlust und auch bessere optische oder kosmetische Ergebnisse [18]. Es gibt aber auch andere Anwendungsgebiete für Kameras und Videoübertragung im OP. Beispielsweise können OP-Lampen mit Kameras ausgestattet sein, um eine Dokumentation zu erlauben.

Im Bereich der Telemedizin ist es notwendig, Bilder für die Nutzung von Robotersystemen zu übertragen, mit deren Hilfe der Operateur aus einem anderen Raum und ohne direkten Kontakt zum Patienten operieren kann. Diese Systeme können Bewegungen der Chirurgen korrigieren und es gibt eine räumliche Entfernung zum Patienten, was von Vorteil ist, falls im OP Geräte notwendig sind, die Strahlung aussenden [10]. Zusätzlich können Patienten mithilfe von Videos überwacht werden und auch zu Lehrzwecken können Videodaten in andere Räume übertragen werden, um den Verlauf einer Operation zu sehen, ohne direkt im Raum zu sein [4].

Die Videodaten selbst sind hierbei nicht unbedingt auf eine fest konfigurierte Kamera reduziert. Die Geräte, die Videodaten liefern, können meist gesteuert werden. Beispiele für die Steuerungsmöglichkeiten sind Zoom, Fokus oder Rotation der Kamera. Der

Videostream kann gestartet, gestoppt und pausiert werden. Viele Geräte bieten diese Steuerung, allerdings sind die Schnittstellen nicht geräteübergreifend beziehungsweise herstellerübergreifend. In vielen Fällen werden von den Herstellern von Medizingeräten proprietäre Protokolle ausgeliefert [14]. Das bedeutet, dass eine Nutzung der Geräte nur dann möglich ist, wenn die vom Hersteller definierte Schnittstelle genutzt wird, was es schwierig macht generische Software für die Geräte verschiedener Hersteller zu entwickeln. Ein Ansatz, um von den proprietären Protokollen, hin zu einer einheitlichen Standardisierung zu kommen, ist das Protokoll IEEE SDC 11073 [6]. Da das Protokoll noch sehr jung ist, muss eine Umsetzung für verschiedene Gerätetypen getestet werden. Zusätzlich muss geprüft werden, wie das Zusammenspiel von mehreren Geräten aussehen kann, wenn diese über den SDC 11073 Standard kommunizieren. Aus diesem Grund ist das Ziel dieser Arbeit ein Konzept zur Videoübertragung im OP mit einer Steuerung über den SDC 11073 Standard.

Diese Arbeit ist wie folgt gegliedert: Zunächst wird der Standard IEEE SDC 11073 dargestellt. Sodann wird die Methodik erläutert und die Ergebnisse der Literaturrecherche aufgezeigt. Anschließend folgt die Konzeption im Demonstration-OP der Hochschule Reutlingen, die Diskussion sowie eine Zusammenfassung der Arbeit.

2 IEEE SDC 11073

Der IEEE SDC 11073 Standard basiert auf der Service-Oriented Medical Device Architecture (SOMDA), die wiederum auf der Service-Oriented Architecture (SOA) basiert [7]. Das OR.NET² war maßgeblich an der Entwicklung von SOA zu SOMDA/SDC 11073 beteiligt [7]. Die Architekturen

²<https://ornet.org/>

machen es möglich, verteilte Services unabhängig der Betriebssysteme zu betreiben. SOA folgt einer Provider/Consumer Struktur, wobei der Provider einen Service anbietet, der vom Consumer genutzt werden kann [7]. In SOA gibt es noch einen Broker, der zwischen Consumer und Provider agiert. Durch SOMDA und damit auch im SDC 11073 Standard liegt der Fokus auf der Kommunikation zwischen Consumer und Provider und der Broker entfällt [7].

Zur SDC 11073 Normenfamilie gehören drei Normen:

- IEEE 11073–20702 (Medical Devices Communication Profile for Web Services)
- IEEE 11073–10207 (Domain-Information- and Service- Model)
- IEEE 11073–20701 (Service-Oriented Medical Device Exchange Architecture and Protocol Binding)

Durch den Standard IEEE 11073–20702 (Medical Devices Communication Profile for Web Services) wird der grundlegende Austausch als Basis für die Interoperabilität gewährleistet. Der Standard IEEE 11073–10207 (Domain-Information- and Service- Model) definiert ein Informationsmodell, durch das sich medizinische Geräte selbst beschreiben können und in dem Informationen über die Möglichkeiten und Voraussetzungen der Nutzung hinterlegt werden können [14]. Der Standard IEEE 11073–20701 (Service-Oriented Medical Device Exchange Architecture and Protocol Binding) beschreibt das Protokoll und wie die anderen Standards umgesetzt werden [14].

Der Standard IEEE 11073–10207 (Domain Information and Service Model) bedarf der näheren Betrachtung: Der Standard besteht aus zwei Teilen. Das Domain Information Model definiert die Struktur der Daten, die ausgetauscht werden und das Service

Model definiert, wie Daten ausgetauscht werden. Zum Domain Information Model gehören einerseits die Medical Device Description sowie der Medical Device State. Die Medical Device Description definiert, welche Eigenschaften auf das Gerät zutreffen und welche Funktionen es anbieten kann. Der Medical Device State gibt die konkrete Ausprägung der Eigenschaften und Funktionen an. Zusätzlich können Kontextinformationen, wie Daten der Patienten und Patientinnen, abgespeichert werden. Dieses Domain Information Model wird auch Medical Data Information Base (MDIB) genannt. Ein Beispiel für eine MDIB ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Medical

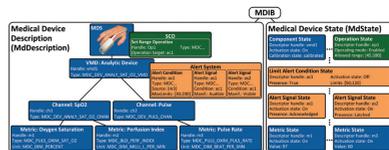


Abbildung 1: Beispiel einer MDIB für ein Pulsoximeter [7]

Device Description wird unterteilt. Das Medical Device System (MDS) ist das medizinische Gerät. Das Virtual Medical Device (VMD) ist eine Untergruppe von logisch getrennten medizinischen Geräten, wie zum Beispiel Elektrokardiogramm-Messgerät und Pulsoximeter, innerhalb eines Patientenmonitors [7]. Die VMDs können weiter in Channels unterteilt werden. Ein Channel besteht aus Metriken, die Messungen, Status, oder Daten zu Patient oder Gerät sein können [7]. Alerts können MDS, VMD oder Channel zugewiesen sein und durch das Gerät ausgelöst werden [7]. Ein Alert wird dann vom Gerät ausgelöst, wenn kritische Messwerte vorliegen, oder das Gerät nicht mehr eingesetzt werden kann. Ein Service and Control Object (SCO) kann auch MDS, VMD und Channel zugewiesen werden und repräsentiert eine Funktion, die ausgeführt

werden kann, wie zum Beispiel das An- oder Ausschalten [7].

Eine Echtzeitübertragung mittels des SDC 11073 Standards ist von der Netzwerklast abhängig, aber grundsätzlich möglich [17].

3 Methodik

Diese Arbeit besteht aus einer Literaturrecherche, um herauszufinden, wie Videodaten im OP übertragen werden und wie der SDC 11073 Standard dazu beitragen kann. Die Literaturrecherche ist Grundlage einer Konzeption im Demonstration-OP der Hochschule. Durch eine Umsetzung der Konzeption sollen Videodaten übertragen und der Videostream mithilfe SDC 11073 gesteuert werden. Zum Zeitpunkt dieser Arbeit, gibt es im Demonstration-OP zwar ein Gerät, das es erlaubt Videodaten zu steuern, jedoch ist eine Videoübertragung nicht möglich. Die Konzeption kann aus diesem Grund nicht implementiert und getestet werden, richtet sich aber nach den Ergebnissen der Literaturrecherche.

Für die systematische Literaturrecherche wurden die Datenbanken IEEE-Xplore³, Science Direct⁴ und ACM⁵ verwendet. Diese Datenbanken wurden aufgrund ihrer thematischen Nähe zur Informatik ausgewählt. Es werden die folgenden Forschungsfragen definiert:

- **RQ1:** Wie können medizinische Videodaten im OP übertragen werden?
- **RQ1.1:** Wie können medizinische Videodaten mittels User Datagram Protocol (UDP) ausgetauscht werden?
- **RQ2:** Wie können Videodaten mithilfe des Standards IEEE SDC 11073 gesteuert werden?

Aus den Forschungsfragen werden drei Suchterme abgeleitet:

- **ST1:** medical AND "video transmission" AND ("operating room" OR "or")
- **ST1.1:** medical AND video AND UDP
- **ST2:** 11073 AND Video

Für die Forschungsfragen RQ1 und RQ1.1 wurde keine Beschränkung des Suchzeitraums gewählt. Da der SDC 11073 Standard als neu angesehen wird[6], ist auch hier keine zeitliche Beschränkung bei der Forschungsfrage RQ2 notwendig. Es wurden nur Artikel berücksichtigt, die über den Zugang der Hochschule Reutlingen frei verfügbar sind. Alle gefundenen Veröffentlichungen wurden anhand ihres Titels und der Zusammenfassung bewertet und ausgewählt. Da der SDC 11073 Standard neu ist, wurde hier keine große Anzahl an Literatur erwartet, trotzdem wurden die Suchterme so eng definiert, da eine klare Abgrenzung zu anderen SDC 11073 Anwendungen gemacht werden soll. Die Forschungsfragen werden in Form eines Literatur-Reviews beantwortet. Zusätzlich zur Beantwortung der Forschungsfragen, werden die Ergebnisse, vor allem von RQ2, genutzt, um die Anwendbarkeit auf die Gegebenheiten im Demonstration-OP an der Hochschule Reutlingen zu überprüfen.

4 Videoübertragung im Operationssaal

Für die Videoübertragung im Operationssaal gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die kabelgebundene Übertragung von der Quelle zu einem dafür vorgesehenen Bildschirm ist die sicherste und schnellste Art der Übertragung. Diese Art der Verbindung hat aber auch Nachteile, da für jede Verbindung zwischen einem Anzeigergerät und einer Videoquelle ein Kabel notwendig ist. Ist diese deduzierte Verbindung nicht verfügbar oder soll diese durch Netzwerkverbindungen wie ein Local Area Network (LAN) oder eine kabellose Verbindung ersetzt werden, so muss gewährleistet sein, dass

³<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

⁴<https://www.sciencedirect.com/>

⁵<https://dl.acm.org/>

die Datenübertragung der Videodaten in Echtzeit stattfindet [17, 19]. Hier werden verschiedene Ansätze gezeigt, wie Videodaten unabhängig der Verbindung zwischen Videoquelle und Anzeigegerät übertragen werden können.

Die Arbeit von Li et al. [9] zeigt einen Aufbau für eine laparoskopischen Eingriff, bei dem die Videoübertragung und die Kamerasteuerung kabellos stattfindet. Die Kamerasteuerung und das Verteilen des Videosignals kann über einen entfernten Computer stattfinden. Der Aufbau für den Eingriff kann anhand der Abbildung 2 nachvollzogen werden. Die Steuerung der

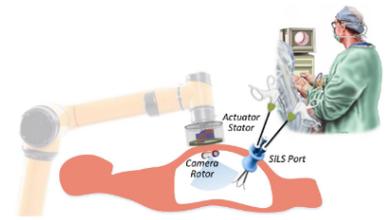


Abbildung 2: Aufbau des von Li et al. vorgestellten Konzepts für die Durchführung eines laparoskopischen Eingriffs [9].

Kamera findet über Bluetooth statt, während die Übertragung der Kameradaten über eine Funkverbindung stattfindet. Hierfür wurde ein neues Bluetooth Anwendungsprofil, spezifisch für diese Kamera, entwickelt. Die Kamera kann damit bewegt und rotiert werden. In Abbildung 3 ist der Aufbau der Hardware sowie die Verbindungen zwischen den einzelnen Komponenten dargestellt. Lediglich die Verbindung zwischen Computer und Anzeigegerät ist über ein HDMI-Kabel realisiert. Die Machbarkeit

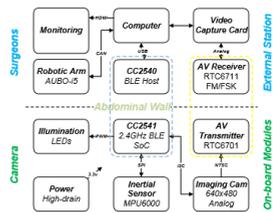


Abbildung 3: Hardwareaufbau, mit Bluetooth-Verbindungen (links gestrichelt) und Funk-Verbindung (rechts gestrichelt) [9].

des Aufbaus wurde von Li et al. überprüft [9].

Eine Übertragung der gesamten Videodaten ist auch komplett kabellos möglich. Dai et al. [3] zeigen, dass mithilfe von Secure Digital Input Output (SDIO) eine Übertragung eines Ultraschallsignals kabellos möglich ist. Die Übertragung verläuft in Echtzeit und funktioniert bis zu einer Entfernung von neun Metern mit einer Datendurchsatzrate von 367 Mbps. Zusätzlich hat das System einen geringen Stromverbrauch.

Uitto et al. [15] zeigen ein System, das es ermöglicht, ein 360 Grad Video über ein 5G Netzwerk zu übertragen. Das Ziel der Arbeit ist, eine möglichst niedrige Verzögerung bei der Videoübertragung zu erreichen. Das Video wird kodiert und über ein 5G Netzwerk, in dem sich ein Content Delivery Network und ein Live Packetizer befindet, übertragen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 und 5 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Verzögerung von 5G und LTE beim Uplink wesentlich größer ist als die Verzögerung bei WLAN und einer LAN Verbindung. Die Verzögerung des Downlink ist wesentlich kleiner, insgesamt ist die Verzögerung bei ungefähr einer Sekunde. Für Uitto et al. sind Verzögerungen hauptsächlich auf die notwendige Kodierung und den Live Packetizer zurückzuführen. Trotzdem ist

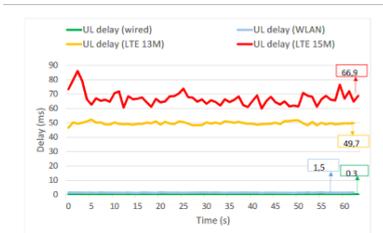


Abbildung 4: Uplink Delay von Uitto et al. [15]

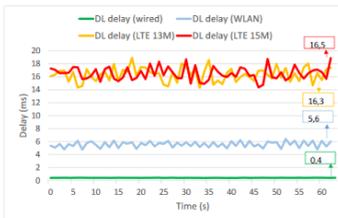


Abbildung 5: Downlink Delay von Uitto et al. [15]

eine Anwendung zu Lehrzwecken möglich, da die Übertragung dafür ausreichend ist. Fan et al. [5] zeigen auch, dass die Nutzung von 5G für die Videoübertragung in Lehrräumen für medizinische Studierende ausreicht und sinnvoll sein kann.

Die Videoübertragung kann auch über die Ethernet Infrastruktur durchgeführt werden, die für den SCD 11073 Standard verwendet wird. Für eine Kommunikation innerhalb eines OPs kann das OP-Netzwerk verwendet werden. Soll eine Kommunikation mit klinischen Systemen wie einem Patientenmanagementsystem oder einem Krankenhausinformationssystem stattfinden, so müssen sich diese aus Sicherheitsgründen

in einem anderen Netzwerk befinden[14]. Unter Nutzung des von Rockstroh [14] vorgestellten Modells kann eine Steuerung der Quellenauswahl für Displays mittels SDC 11073 Standard im OP stattfinden. Hierbei wird ein Video Network Routing genutzt, um das Videosignal auf die korrekten Bildschirme zu leiten. Da der SDC 11073 Standard auch auf dem Ethernetprotokoll basiert, kann hier die Steuerung der Geräte mittels SDC 11073 Standard stattfinden.

In der Arbeit von Voruganti et al. [16] wird ein Dual-Channel System vorgestellt, mit dem eine Kamera bei einem laparoskopischen Eingriff in Echtzeit gesteuert und die Videodaten in Echtzeit übertragen werden. Die Übertragung der Videodaten erfolgt über einen Channel über UDP, wobei die Videodaten komprimiert werden müssen, um Echtzeit Standards zu erreichen. Die Verzögerung des Systems liegt bei $90 \pm 10ms$.

Für die Übertragung von Echtzeitdaten über ein Netzwerk wird UDP verwendet[1, 12, 19]. Die Nutzung von TCP ist von Vorteil, wenn sich Firewalls zwischen den Geräten befinden, die Videodaten austauschen wollen, da das Öffnen von Ports als unsicher gilt[13]. Da die Übertragung der Videodaten echtzeitfähig ist, ist es vom SDC 11073 Standard abhängig, ob die Übertragung und Steuerung eines Videostreams in Echtzeit möglich ist.

5 Umsetzung an der Hochschule Reutlingen

Der OP an der Hochschule Reutlingen ist mit zwei Geräten für die Videoübertragung, einer OP-Lampe mit integrierter Kamera und einem Ultraschallgerät ausgestattet. Keines der beiden Geräte kann den SDC 11073 Standard nutzen oder ist in der Lage, in ein Local Area Network (LAN) eingebunden zu werden. Das Ultraschallgerät erlaubt es lediglich, das Videosignal, das auch auf dem Display dargestellt wird,

über USB weiterzuleiten. Eine Steuerung des Videostreams von außerhalb ist nicht notwendig. Eine Nutzung des SDC 11073 Standards für den Datenaustausch wird hier nicht weiter betrachtet, da die Steuerung des Datenstroms nicht möglich ist. Das Ultraschallgerät kann in Betracht gezogen werden, wenn ein Video-Routing Netzwerk zur Verfügung steht, das über den SDC 11073 Standard gesteuert werden kann.

Die OP-Lampe im Demonstration-OP der Hochschule Reutlingen ist vom Typ marLED, X-Series mit integrierter Kamera (Surgicam) vom Hersteller KLS Martin⁶ und auf Abbildung 6 dargestellt. Zu der OP-Lampe gehören zwei Leuchten, wobei nur eine mit der Kamera surgicam ausgestattet ist. Der



Abbildung 6: OP-Lampe MarLED, Series X mit SurgiCam (links) und Lampe ohne Kamera.⁷

Status der OP-Lampe kann über eine serielle Kommunikation abgefragt werden. Auch die OP-Lampe kann über diese Schnittstelle gesteuert werden. Die Videodaten können über eine Composite Video Verbindung oder über eine Funkverbindung der Lampe zu einer Empfängerbox mit HDMI-Anschluss übertragen werden.

Es existiert ein OP-Netzwerk im Demo-OP, in dem die Kommunikation zwischen allen Geräten, die sich im OP befinden, stattfindet. Im Netzwerk befindet sich ein

⁶<https://www.klsmartin.com/de/produkte/operationsleuchten/marled-x-serie/marled-x/>

⁷<https://rusmedcompany.ru/upload/iblock/19d/19d4c0942072ab997a5a895ef8dfa42d.jpg>

Raspberry PI 3⁸, als Schnittstelle zwischen dem OP-Netzwerk und nicht SDC-fähigen Geräten. Das Videosignal wird in diesem Fall separat über UDP oder über ein Kabel an das Display übertragen. Hierbei werden die Übertragungsmethoden aus 4 anstelle des SDC 11073 Standards genutzt.

Um das Videosignal der Kamera zu steuern, gibt es die in folgenden Befehle:

- MOTION_STOP
- CAMERA_WHITEBALANCE
- IRIS_AUTO/MANUAL (Toggle)
- FOCUS_AUTO/MANUAL (Toggle)
- OSD_ON/OFF
- FREEZE (Toggle)
- SPOT_AE/INTEGRAL (Toggle)
- CAMERA_ROTATE_CLOCKWISE
- CAMERA_ROTATE_CNTCLOCKWISE
- ZOOM_IN
- ZOOM_OUT
- IRIS_MINUS
- IRIS_PLUS
- FOCUS_MINUS
- FOCUS_PLUS

Die Steuerung des Videostreams kann über den SDC 11073 Standard ablaufen. Hierzu agiert eine Software auf dem Raspberry PI als Provider. Um die Lampe in SDC zu repräsentieren, ist die Medical Device Description notwendig, die Teil der MDIB ist. Eine solche Medical Device Description für die surgicam ist in Abbildung 7 abgebildet. In der Abbildung ist die Repräsentation der OP-Lampe marLED X selbst vernachlässigt. Diese würde zusätzlich aus Channels, Metriken und SCOs bestehen. Eine Medical Device Description für die OP-Lampe ist vorhanden und die Steuerung mithilfe des SDC 11073 Standards ist umgesetzt und dient als Vorlage. Der SDC-Provider muss so implementiert werden, dass der Aufruf der SCOs die entsprechenden seriellen Befehle

⁸<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>

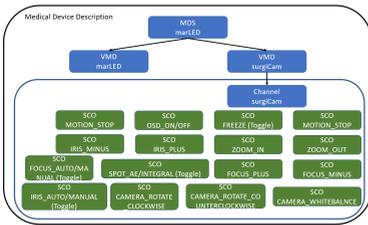


Abbildung 7: Medical Device Description der marLED OP-Lampe, mit Fokus auf der surgiCam.

auslöst, um die surgiCam zu steuern.

Für die Architektur im Demo-OP gibt es zwei Möglichkeiten. Die Unterschiede beziehen sich auf die Übertragung des Videosignals. Das Signal kann direkt über die Composite Video Verbindung oder über die Funkverbindung in Kombination mit einem HDMI-Kabel an ein Display angeschlossen werden. Diese Architektur wird in Abbildung 8 dargestellt. Davon losgelöst ist die Steuerung der OP-Lampe über den SDC-Provider auf dem Raspberry PI 3 aufrufbar. Der SDC-Provider kann die surgiCam sodann über die serielle Schnittstelle steuern. Hierbei ist man auf

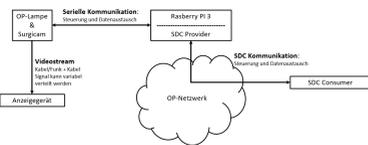


Abbildung 8: Netzwerkarchitektur für eine direkte Verbindung zwischen surgi-Cam und Anzeigesystem. Die Steuerung findet mittels SDC 11073 Standard statt.

die Kabelverbindung zwischen Composite Video Ausgang oder auf den Ausgang des Funkempfängers angewiesen.

Um mehr Flexibilität zu erreichen, lässt sich die Kabelverbindung direkt mit dem Raspberry PI 3 verbinden. Der Videostream wird über UDP übertragen. Die Steuerung des Videostreams übernimmt auch der SDC-Provider auf dem Raspberry PI 3. Diese Architektur kann in Abbildung 9 nachvollzogen werden. Diese

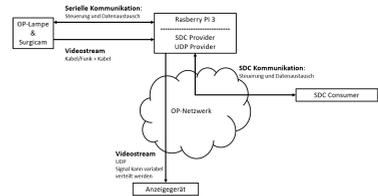


Abbildung 9: Netzwerkarchitektur für eine UDP-Verbindung zwischen Raspberry PI und Anzeigesystem. Die Steuerung findet mittels SDC 11073 Standard statt.

Architekturen orientieren sich, bezüglich der Videoübertragung an den Ergebnissen der Literaturrecherche. Die Architektur der SDC-Verbindung orientiert sich an einer bereits umgesetzten Architektur für die OP-Lampe, in der die surgiCam nicht berücksichtigt wurde. In der bereits umgesetzten Architektur ist die Steuerung der OP-Lampe über das Protokoll SDC 11073 möglich und funktionsfähig.

6 Diskussion

Die Integration des IEEE SDC 11073 Standards in den OP ist ein Schritt in Richtung Interoperabilität. Im Bereich der Videoübertragung im OP kann der Standard für die Steuerung genutzt werden. In dieser Arbeit wurden Möglichkeiten gezeigt, wie die Architektur für ein solches System aussehen kann. Für die Übertragung der Videodaten selbst wurden durch die Literaturrecherche mehrere Optionen aufgezeigt, wobei die Nutzung einer direkten Verbindung oder einer Ethernet-Lösung, vor allem unter Nutzung von UDP, die sinnvollste Lösung für Anwendungen in Echtzeit ist. Zusätzlich zeigte sich

in der Literaturrecherche, dass die Übertragung der Daten über UDP sich als effektiv erwiesen hat, solange sich keine Firewalls zwischen Quelle und Empfänger befinden. Für Anwendungen, die nicht zeitkritisch sind, kann eine Übertragung über verschiedene kabellose Wege funktionieren. Die Steuerung der Videodaten über den SDC 11073 Standard kann in jedem Szenario eingesetzt werden, da er echtzeitfähig ist. Deswegen ist auch die Steuerung des Video Routing Netzwerks über den SDC 11073 Standard zusätzlich zur Steuerung der Videodaten denkbar. Der Standard ist noch sehr jung. Mit den wachsenden Anwendungen im Echtzeitbereich muss auch die Übertragung der Videodaten näher betrachtet werden. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit ist dieser Bereich noch relativ unerforscht und es gibt wenige Veröffentlichungen. Diese Arbeit zeigt aber das Potenzial des SDC 11073 Standards im Bereich der Videoübertragung im medizinischen Kontext. Der Demonstration-OP der Hochschule Reutlingen bietet die Netzwerkinfrastruktur, um die Konzeption umzusetzen, es ist lediglich momentan keine Videoübertragung möglich. Die Weiterverfolgung des Themas kann lohnenswert sein, um die Konzeption zu überprüfen, sobald die Videoübertragung der OP-Lampe möglich ist.

bildgebenden Systeme zu steuern. Es wurde abschließend eine mögliche Architektur für die Steuerung und Bildübertragung der OP-Lampe marLED, Series X im Demonstration-OP an der Hochschule Reutlingen gezeigt.

7 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde untersucht, wie die Videoübertragung zur Interoperabilität im OP beitragen kann. Es wurden Methoden gezeigt, wie Videodaten im OP übertragen werden können. Kabelgebundene Verbindungen haben die geringste Verzögerung und sind für Echtzeit-Anwendungen am besten geeignet. Kabellose Verbindungen sind in der Lage einen hohen Datendurchsatz zu generieren, haben aber eine größere Verzögerung als kabelgebundene Verbindungen. Der SDC 11073 Standard ist in der Lage, medizinische Geräte über ein Netzwerk zu steuern und kann eingesetzt werden, um Videosignale oder die

Literatur

- [1] Aygün Baltacı u. a. „Analyzing real-time video delivery over cellular networks for remote piloting aerial vehicles“. In: *Proceedings of the 22nd ACM Internet Measurement Conference*. Hrsg. von Chadi Barakat. ACM Digital Library. New York, NY, United States: Association for Computing Machinery, 2022, S. 98–112. ISBN: 9781450392594. DOI: 10.1145/3517745.3561465.
- [2] Peter Dadam, Manfred Reichert und Klaus Kuhn. „Clinical Workflows – The Killer Application for Process-oriented Information Systems?“ In: *BIS 2000*. Hrsg. von Witold Abramowicz. London u. a.: Springer, 2000, S. 36–59. ISBN: 978-1-85233-282-2. DOI: 10.1007/978-1-4471-0761-3_3.
- [3] Jiang Dai, Xuemei Lei und Fengqi Yu. „High Speed Wireless Video Transmission for Handheld Ultrasonic System“. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Biological Information and Biomedical Engineering*. Hrsg. von Bin Chen und Habib Zaidi. ICPS. New York, New York: The Association for Computing Machinery, 2021, S. 1–4. ISBN: 9781450389297. DOI: 10.1145/3469678.3469709.
- [4] Charalampos N. Doukas, Ilias Maglogiannis und Thomas Pliakas. „Advanced medical video services through context-aware medical networks“. In: *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference 2007 (2007)*, S. 3074–3077. DOI: 10.1109/IEMBS.2007.4352977.
- [5] Ching-Ling Fan u. a. „A Survey on 360° Video Streaming“. In: *ACM Computing Surveys* 52.4 (2020), S. 1–36. ISSN: 0360-0300. DOI: 10.1145/3329119.
- [6] Martin Kasparick u. a. „New IEEE 11073 Standards for interoperable, networked Point-of-Care Medical Devices“. In: *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference 2015 (2015)*, S. 1721–1724. DOI: 10.1109/EMBC.2015.7318709.
- [7] Martin Kasparick u. a. „OR.NET: a service-oriented architecture for safe and dynamic medical device interoperability“. In: *Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik* 63.1 (2018), S. 11–30. ISSN: 1862-278X. DOI: 10.1515/bmt-2017-0020.
- [8] Heinz U. Lemke und Michael W. Vanier. „The operating room and the need for an IT infrastructure and standards“. In: *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* 1.3 (2006), S. 117–121. ISSN: 1861-6410. DOI: 10.1007/s11548-006-0051-7.
- [9] Ning Li u. a. „Initial design and results of an untethered insertable laparoscopic robotic surgical camera system“. In: *IEEE ROBIO 2017*. [Piscataway, New Jersey]: IEEE, 2017, S. 959–964. ISBN: 978-1-5386-3742-5. DOI: 10.1109/ROBIO.2017.8324541.
- [10] Olatunji Mumini Omisore u. a. „A Review on Flexible Robotic Systems for Minimally Invasive Surgery“. In: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems* 52.1 (2022), S. 631–644. ISSN: 2168-2216. DOI: 10.1109/TSMC.2020.3026174.
- [11] Nicolas Padoy u. a. „Statistical modeling and recognition of surgical workflow“. In: *Medical image analysis* 16.3 (2012), S. 632–641. DOI: 10.1016/j.media.2010.10.001.

- [12] Stephan Pöhlens u. a. „A concept for a medical device plug-and-play architecture based on web services“. In: *ACM SIGBED Review* 6.2 (2009), S. 1–7. DOI: 10.1145/1859823.1859829.
- [13] Ronnie Muthada Pottayya, Jean-Christophe Lapayre und Eric Garcia. „An Adaptive Videoconferencing Framework for Collaborative Telemedicine“. In: *IEEE AINA 2017*. Hrsg. von Leonard Barolli und IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Piscataway, NJ: IEEE, 2017, S. 197–204. ISBN: 978-1-5090-6029-0. DOI: 10.1109/AINA.2017.28.
- [14] M. Rockstroh u. a. „OR.NET: multi-perspective qualitative evaluation of an integrated operating room based on IEEE 11073 SDC“. In: *International journal of computer assisted radiology and surgery* 12.8 (2017), S. 1461–1469. DOI: 10.1007/s11548-017-1589-2.
- [15] Mikko Uitto und Antti Heikkinen. „Exploiting and Evaluating Live 360° Low Latency Video Streaming Using CMAF“. In: *2020 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*. IEEE, uuuu-uuuu, S. 276–280. ISBN: 978-1-7281-4355-2. DOI: 10.1109/EuCNC48522.2020.9200954.
- [16] Arun Kumar Raj Voruganti u. a. „A modular video streaming method for surgical assistance in operating room networks“. In: *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* 5.5 (2010), S. 489–499. ISSN: 1861-6410. DOI: 10.1007/s11548-010-0409-8. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11548-010-0409-8>.
- [17] Manuel Vossel u. a. „Integrating a Tracking Camera in the OR Using the IEEE 11073-SDC Communication Standard“. In: *EPiC Series in Health Sciences*. EasyChair, null. ISBN: 2398-5305. DOI: 10.29007/j83k.
- [18] Lok Yi Wu und Dominic Chi Chung Foo. „Single-incision laparoscopic surgery: an update of current evidence“. In: *Annals of Laparoscopic and Endoscopic Surgery* 1 (2016), S. 45. DOI: 10.21037/ales.2016.11.18.
- [19] Fan Zhang und Bo Li. „Medical Video Stream Transmission in Telemedicine“. In: *2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics*. IEEE, 2007. DOI: 10.1109/ical.2007.4338614.



Entwicklungsverlauf der elektronischen Patientenakte in Deutschland bis 2023

Patrick Schmutz
Hochschule Reutlingen
Reutlingen, Deutschland

Patrick.Schmutz@Student.Reutlingen-University.de

Abstract

Im Jahr 2021 wurde die elektronische Patientenakte (ePA) deutschlandweit eingeführt. Diese cloudbasierte Akte dient der Speicherung und Einsicht medizinischer Daten eines Patienten. Dafür ist eine Telematikinfrastruktur (TI) erforderlich, dessen Schnittstellen von der Nationalen Agentur für Digitale Medizin (Gematik) festgelegt werden. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Infrastruktur, die wegweisenden Gesetze, die Entwicklung sowie den aktuellen Stand der einzelnen Dienste zu beschreiben. Im Jahr 2023 nutzten weniger als 1% der Versicherten die ePA. Nur wenige Ärzte verwenden die ePA, und die meisten der damit verbundenen Dienste werden nicht breit im praktischen Betrieb eingesetzt. Insgesamt besteht eine große Discrepanz zwischen der Literatur der Gematik und den Berichten einzelner Anwenderverbände. Es ist jedoch klar, dass beide Parteien in engem Austausch stehen müssen, um die

geplanten Dienste der Gematik in die Versorgung zu integrieren.

CCS Concepts

- **Applied computing** → life and medical sciences → health informatics
- **Networks** → Network Protocols
- **Information systems** → data management systems

Keywords

Elektronische Patientenakte, Telematikinfrastruktur, Gematik, Telematik

1 Einleitung

In Deutschland altert die Gesellschaft und der demografische Wandel setzt seit einigen Jahren ein. Experten prognostizieren, dass im Jahr 2060 jeder dritte deutsche Bürger mindestens 65 Jahre alt sein wird [4]. Da mit zunehmendem Alter die Krankheitshäufigkeit steigt, wächst der Bedarf nach einer durchgängigen Dokumentation des Gesundheitszustandes einer Person [4]. Eine Möglichkeit diese Dokumentation übersichtlich zu gestalten bietet die elektronische Patientenakte. Diese dient der Digitalisierung medizinischer Daten und soll die klassische Papierakte komplett ablösen. Der Patient hat die Möglichkeit, seine Daten einzusehen und diese für die Versorger freizugeben.

Betreuer Hochschule: Prof. Dr. rer. Med. Christian Thies
Hochschule Reutlingen
Christian.Thies@Reutlingen-
University.de

Informatics Inside Frühling 2023
03. Mai 2023, Hochschule Reutlingen
Copyright 2023 Patrick Schmutz

Entwicklungsverlauf der elektronischen Patientenakte in Deutschland bis 2023

Das Ziel der elektronischen Patientenakte ist, die Versorgungsqualität und die Dokumentation zu verbessern [7]. Die zentrale Erfassung von Patientendaten in einer elektronischen Patientenakte kann dazu beitragen, Doppeluntersuchungen zu vermeiden. Dies bringt sowohl für den Patienten als auch für die Krankenkasse eine Entlastung. Es existieren bereits viele Pilotprojekte und Insellösungen einzelner Einrichtungen. Ein Standard für diese elektronische Patientenakte wurde von der Gematik erarbeitet. Im Folgenden wird bei der ePA die Auslegung der Gematik angesprochen. Am 01. Januar 2021 wurde die ePA deutschlandweit eingeführt und alle öffentlichen Krankenversicherungen müssen ab diesem Datum eine ePA-App anbieten. Durch diese können die von der Gematik geplanten Dienste in Anspruch genommen werden. Die Entwicklung der vergangenen 5 Jahre hat mehrere neue Erkenntnisse zur elektronischen Patientenakte, deren Aufbau und dessen Umfeld gefördert. In diesem Artikel werden die Herausforderungen für die elektronische Patientenakte, die benötigte Infrastruktur für die elektronische Patientenakte sowie der aktuelle Stand genauer beschrieben.

2 Methodik

Die erste Recherche erfolgte hauptsächlich über die Webseiten der Gematik und angrenzender Webseiten der Bundesrepublik Deutschland zum Thema "Elektronische Patientenakte". Weitere Informationen wurden über Google Scholar gesucht, wobei Keywords wie *elektronische Patientenakte*, *Gematik*, *Telematikinfrastruktur* und *Gesundheits-IT* verwendet wurden. Anschließend wurden die Forschungsfragen formuliert und der Aufbau dieser Arbeit erstellt. In den folgenden Abschnitten wird die Vorgehensweise der Recherche näher erläutert.

2.1 Forschungsfragen

Die ursprüngliche Recherche hat ergeben, dass vor allem das zusätzliche Stichwort

"Telematikinfrastruktur" eine hohe Informationsdichte aufweist. Nach der Sichtung der Literatur gestellte Forschungsfragen werden in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1. Forschungsfragen

RQ1	Welche Dienste der elektronischen Patientenakte wurden seit dem "Digitalen Versorgungsgesetz" in Deutschland eingeführt?
RQ2	Werden die für die elektronische Patientenakte nötigen Komponenten von den Anwendern angenommen?
RQ3	Funktioniert die elektronische Patientenakte in Deutschland?

2.2 Suchstrategie und Literaturauswahl

Nach Festlegung der Forschungsfragen wurden die relevanten Datenbanken ausgewählt. Die gewählten Datenbanken sind *WISO*, *PUBMED*, *EDDI-Katalog* und *Google Scholar*. Um die Forschungsfragen zu beantworten, wurde eine strukturelle Literaturrecherche durchgeführt. Die Primärliteratur für diese Arbeit besteht aus Berichten, Gesetzen und Vorgaben der Bundesrepublik Deutschland, sowie der Gematik. Hinzu kommen Berichte und über Konferenzen erstellte Veröffentlichungen von Berufsverbänden der Medizin. Klassische wissenschaftliche Arbeiten gibt es in diesem Kontext wenige. Im Folgenden wird der systematisch erhobene Teil der klassischen wissenschaftlichen Literatur anhand eines Suchbefehls genauer beschrieben. Bei der Durchführung der Recherche kamen die nachfolgenden Suchbegriffe zum Einsatz:

- *Elektronische Patientenakte*
- *Telematikinfrastruktur*
- *Gematik*
- *Telematik*
- *Akzeptanz*

- *Status*
- *Datenschutz*
- *Digitalisierung*

Eine Verknüpfung der obigen Suchbegriffe mit AND und OR-Operatoren ermöglicht die Verknüpfung der Themenbereiche. Die Literatur wurde beispielsweise mit dem Ausdruck: ("elektronische Patientenakte") AND ("Telematikinfrastruktur" OR "Telematik" OR ("Datenschutz" AND "Gematik") OR "Digitalisierung") erhoben. Hierbei entstehen allein bei WISO 5.441 mögliche Treffer. Diese werden durch Ein- und Ausschlusskriterien weiterhin spezifiziert.

2.3 Kriterien der Literaturauswahl

Für die Auswahl der Literatur wurden Ein- und Ausschlusskriterien festgelegt (s. Tabelle 2 und Tabelle 3). Da die Entwicklung der elektronischen Patientenakte einen weiten Zeitraum abdeckt, wird die Entwicklung seit der Verabschiedung des Digitalen-Versorgung-Gesetzes im September, 2019 als Startzeitpunkt für die Literatur verwendet. Für die Ermittlung des aktuellen Standes wurde Literatur aus den letzten 2 Jahren verwendet. Die Artikel müssen jedoch alle in Deutsch verfasst sein. Damit werden viele Artikel ausgeschlossen, die andere elektronische Patientensysteme aus dem Ausland bewerten. Neben den Artikeln werden offizielle Quellen der Bundesrepublik Deutschland zu dem Thema miteingeschlossen. Des Weiteren wurden die Kriterien aus Abbildung 2 und Tabelle 3 angewendet.

Tabelle 2. Einschlusskriterien

E1: Zeit- raum	Ab dem Jahr 2019 veröffentlicht
E2: Quelle	Wissenschaftliche Zeitschriften, Fachbücher, Gesetzestexte, Positionspapiere, Webseiten der Bundesrepublik Deutschland, Whitepaper der zuständigen Behörden

Tabelle 3. Ausschlusskriterien

A1: Sprache	Nicht Deutsch
A2: Thematik	Fokus auf elektronische Patientenakten, die nicht die Ansprüche der Gematik erfüllen

Nach Anwenden der Kriterien wurden 54 Quellen durch den EDDI-Katalog für den in Kapitel 2.2 gestellten Ausdruck gefunden.

3 Voraussetzungen für die elektronische Patientenakte

Die Einführung der elektronischen Patientenakte benötigt sowohl eine rechtliche als auch standardisierte Grundlage. Versorger und Hersteller der Systeme müssen wissen, welche Dienste die elektronische Patientenakte bereitstellen muss. Des Weiteren muss geklärt sein, wie die in der ePA abgelegten Daten behandelt werden müssen.

3.1 Gesetzgebung

In der Regel bedarf es in der Industrie und der Forschung gesetzliche Vorgaben und Anreize, um Projekte umzusetzen. Diese können mithilfe von Regulierungen oder Förderprogrammen die Innovationskraft fördern. Dabei spielt die Gesetzgebung eine wichtige Rolle, da diese Gesetze einen Handlungsspielraum vorgeben, in dem agiert werden kann. Die ePA ist an dieser Stelle keine Ausnahme. Sie erscheint bereits im Jahr 2004 im fünften Sozialgesetzbuch (SGB V § 291a Abs. 3 Nr. 4 SGB V i. d. F. vom 01.01.2004). Die für die elektronische Patientenakte zwingende Gesetzgebung erfolgte mit dem "Digitale-Versorgung-Gesetz" 2019 (DVG). Das DVG trat im Dezember 2019 in

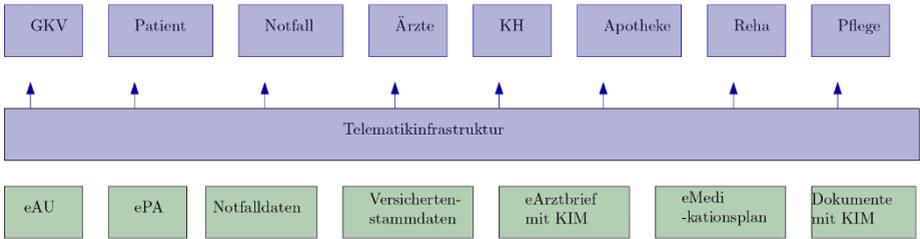


Abbildung 1. Skizzierung der Telematikinfrastruktur nach [6]

Kraft und enthält Regelungen zur Einföderung und Förderungen der ePA in Deutschland. Unter anderem wurde die Verpflichtung der Krankenkassen eingeführt, ihren Versicherten bis spätestens Ende 2020 eine interoperable ePA anzubieten. Dies ist im "Terminservice- und Versorgungsgesetz" (TSVG) geregelt [3]. Die gesetzlichen Anforderungen des Datenschutzes zur ePA wurden 2020 im Patientendaten-Schutz-Gesetz (PDSG) festgelegt. Das PDSG enthält Regelungen zum Schutz von Patientendaten in der ePA. Beispielsweise ist die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung als auch die Speicherung der Daten auf deutschen Servern vorgeschrieben [3]. Das "Digitale-Versorgungs- und -Pflege-Modernisierungs-Gesetz" beschreibt die Grundlagen zur Förderung der Digitalisierung. Diese schließt auch Projekte zur Erstellung einer ePA mit ein [3]. Die Patientenrechte wurden im "Patientenrechtegesetz" (PatRG) genauer festgelegt. Hierbei sticht vor allem das Recht auf Einsicht der eigenen Gesundheitsdaten in der ePA heraus [9].

3.2 *Infrastruktur und Softwarekomponenten*

Die ePA benötigt eine standardisierte Infrastruktur, um interoperabel agieren zu können. Für das Bestimmen dieser Standards ist die Gematik. Die Gesellschafteranteile der

Gematik bestehen aus 51 % Bundesministerium für Gesundheit, 22,05 % dem GKV-Spitzenverband, wobei die restlichen 26,95 % auf Kassenzentrale Bundesvereinigung, Deutsche Krankenhausgesellschaft, Deutscher Apothekenverband, Verband der Privaten Krankenversicherung, Bundesärztekammer und "Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung" fallen ¹. Die Gematik trägt die Verantwortung für die Telematikinfrastruktur(TI), die zentrale Plattform für digitale Anwendungen im deutschen Gesundheitswesen. Die Gematik und die TI sind das Resultat aus dem Gesetz zur Modernisierung der gesetzlichen Krankenversicherung ². Eine grobe Skizzierung der TI kann in Abbildung 1 eingesehen werden. Diese Struktur muss jedoch sicher angesteuert werden. Durch die TI können die Teilnehmer (Patient, Krankenkassen, Versorger) auf die ePA zugreifen oder auch über andere Dienste über die TI kommunizieren [6]. Die dafür nötigen Komponenten sind in den folgenden zwei Unterkapiteln aufgeführt.

3.2.1 Elektronische Gesundheitskarte

Die elektronische Gesundheitskarte (eGK) wurde im Jahr 2011 in Deutschland eingeführt. Im Vergleich zur Krankenversicherungskarte sind auf der eGK zusätzliche Informationen wie Name und Geburtsdatum ge-

¹ <https://www.gematik.de/ueber-uns/struktur>

² <https://www.gematik.de/ueber-uns/gesetzliche-grundlagen>

speichert [3]. Laut PDSG gilt die elektronische Gesundheitskarte ebenfalls als Mittel zur Abrechnung im Rahmen der vertragsärztlichen Versorgung [3]. Die elektronische Gesundheitskarte ermöglicht es, medizinische Daten sicher zu speichern und freizugeben. Ebenfalls wird die elektronische Gesundheitskarte als Authorisierungswerkzeug für den Patienten verwendet [3].

3.2.2 Konnektor

Neben dem Kartenlesegerät wird ein Konnektor als Zugang zur Telematikinfrastruktur benötigt. Der Konnektor ist das Bindeglied zwischen der IT-Infrastruktur der Ärzte und Apotheker sowie der zentralen Telematikinfrastruktur des Gesundheitswesens [2]. Der Konnektor ermöglicht die Umsetzung der gesetzlichen Anwendungen, wie Versichertenstammdatendienst, elektronisches Rezept, Notfalldaten und gewährleistet den sicheren Zugriff auf die Patientendaten. Die Hardware-Box verfügt über einen Anschluss zu den verfügbaren Netzzugangskomponenten der Einrichtung und kann dort eingebunden werden [2]. Bis 2025 muss nach heutigem Stand der Konnektor oder zentrale Bestandteile ausgetauscht werden, um die Entwicklungen in der Infrastruktur umzusetzen [13]. Erste Entwürfe für einen reinen Software-Konnektor werden derzeit besprochen ³.

3.3 Versichertenstamdatenmanagement

Das Versichertenstamdatenmanagement (VSDM) wird durch die Verbindung von elektronischer Gesundheitskarte und Konnektor ermöglicht. Ziel des VSDM ist es, zu jedem Zeitpunkt die korrekten Stammdaten eines Patienten einsehen zu können. Der Konnektor prüft und aktualisiert die Stammdaten auf der elektronischen Gesundheitskarte. Dafür erfragt der Konnektor die eingetragenen Daten im Versichertenstammdatendienst durch die TI. Dadurch ist es nicht

mehr erforderlich, eine neue Versichertenkarte auszustellen, sobald sich die Stammdaten ändern. Die Verlässlichkeit dieser Stammdaten ist ein essenzieller Teil der ePA. Diese Daten sind auf der eGK abgelegt. Bis Ende 2023 soll der kartengebundene VSDM auch online angeboten werden.⁴

4 Elektronische Patientenakte

Die elektronische Patientenakte wurde in vielen Pilotprojekten schon vor dem offiziellen Start umgesetzt und vereinzelt angeboten. Die medial am stärksten thematisierten Pilotprojekte sind die ePA-Systeme der allgemeinen Ortskrankenkassen (AOK) und die der Techniker Krankenkasse (TK) [4]. Viele dieser Insellösungen orientieren sich nicht an den in den letzten 5 Jahren erlassenen Gesetzen, sondern nach den schon zuvor gestellten Anforderungen an eine ePA [4]. Dementsprechend sind nicht alle Insellösungen im Sinne der Gematik standardisiert. Im folgenden Text wird bei der Erwähnung der ePA nur von der Gematik-Version der ePA gesprochen. Diese Standards wurden von der Gematik in Verbindung mit den Krankenkassen beschlossen. Die verpflichtende Einführung der ePA muss den Schnittstellen und Standards der Gematik entsprechen.

4.1 Die Entwicklung

Die Entwicklung der elektronischen Patientenakte orientiert sich stark an den in den letzten Jahren beschlossenen Gesetzen. Die Einführung der elektronischen Patientenakte bleibt den Anbietern laut DVG überlassen [3]. Das bedeutet, dass es mehrere Ansätze gibt, diese in den Alltag zu implementieren. Bei der Einführung kann man zwei Blöcke unterscheiden: Die ePA-App und das ePA-Aktensystem. Die ePA-App, die von den Krankenkassen den Versicherten zur Verfü-

³<https://www.gematik.de/datensicherheit/konnektortausch>

⁴<https://fachportal.gematik.de/anwendungen/versichertenstamdatenmanagement>

Entwicklungsverlauf der elektronischen Patientenakte in Deutschland bis 2023

gung gestellt wird, muss mit dem ePA-Akten-system kompatibel sein.⁵ Beide können als Blackbox betrachtet werden. Wichtig ist primär die Umsetzung der Schnittstellen. Diese Schnittstellenanforderungen sind in der Spezifikation Fachmodul ePA der Gematik einsehbar ⁵. Es gibt ebenfalls Vorschriften zur Verwaltung der Daten, sowie deren Speicherort und Verfahren. Diese Spezifikationen entwickeln sich mit der Zeit. Eine Übersicht der anzubietenden Dokumente und Funktionen ist in Tabelle 4 dargestellt.

ePA 2.5	eAU Telemedizinisches Monitoring Daten aus strukturierten Behandlungsprogrammen (DMP) Pflegeüberleitungsbogen	Datenfreigabe zu Forschungszwecken Einbindung von DiGA-Daten Kopplung mit gesund.bund.de Digitale Identität (IDP)
----------------	---	--

Tabelle 4. ePA-Versionierung ⁶

ePA-Version	Dokumenttypen	Funktionsumfang
ePA 1.1	Notfalldatensatz (NFD-Satz) Elektronische Medikationsplan Elektronischer Arztbrief	Verwalten erster Dokumente Einfache Berechtigungsvergabe Protokollfunktion
ePA 2.0	Impfpass Mutterpass Zahnbonusheft Kinderuntersuchungsheft	Feingranulares Berechtigungskonzept Desktopversion Vertreterfunktion Aktenumzug bei Versicherungswechsel Auf Wunsch: Abrechnungsdaten der Kassen

⁵https://fachportal.gematik.de/fachportal-import/fi-les/gemSpec_FM_ePA_V1.4.4.pdf

⁶<https://www.gematik.de/anwendungen/e-patientenakte>

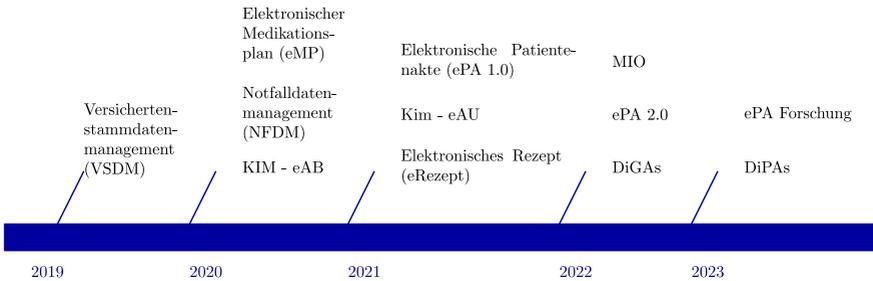


Abbildung 2. Verfügbarkeit der geplanten Telematik-Fachanwendungen nach [6]

Der Zeitpunkt der Einführung einzelner ePA-Versionen ist an die Verfügbarkeit der Telematik Fachanwendungen gekoppelt. Die aktuelle Version der ePA ist 2.0, wobei Funktionalitäten der ePA 2.5 schon einzeln eingeführt wurden⁶. In dem obigen Zeitstrahl (Abbildung 2) sind sowohl die Fachdienste als auch deren geplante Einführung abgebildet. Die Anwendung der ePA wird im folgenden Abschnitt behandelt.

4.2 Anwendung

Die Freigabe und das Bereitstellen der Daten in der ePA wird durch den Patienten, dem Eigentümer der Daten, verwaltet. Diese Inhalte werden durch den Versicherten mit Hilfe der elektronischen Gesundheitskarte und eines personalisierten Pins freigeschaltet. Ärzte und Zugriffsberechtigte müssen an die Telematikinfrastruktur angeschlossen sein, um die ePA einsehen zu können. Für diese Kommunikation ist ein eHealth-Kartenterminal und der PTV4-Konnektor vonnöten⁷. Die ePA beinhaltet alle wichtigen Informationen zum Gesundheitsstand und zur Krankengeschichte des Patienten. Dementsprechend ist es wichtig, dass die Datenhoheit bei dem Patienten liegt. Nur dieser darf den Zugriff autorisieren. Eine Differenzierung der weiterzugebenden Daten ist möglich und teilweise vorgeschrieben [5]. Beispielsweise erhalten medizinische Fachangestellte einen elektronischen Berufsausweis (eBA), mit diesem

haben sie nur lesende Zugriffe auf die elektronische Patientenakte⁷. Dies ist jedoch eine reine benutzerorientierte Sichtweise auf die Zugriffsrechte. Eine weitere Verwahrung der Zugriffsrechte wurde erst in der ePA 2.0 eingeführt. Die Befüllung der Daten in der ePA kann direkt beim Arzt vorgenommen werden. Für das persönliche Verwalten und zur Einsicht der Daten durch den Patienten müssen die Krankenkassen Apps bereitstellen. In der App können Dokumente auch von zu Hause aus eingesehen werden. 2022 benutzte jedoch weniger als 1 % der gesetzlich Versicherten die ePA [5]. Ein Grund dafür kann die fehlende Information über den Start der ePA sein. Bis Ende 2020 hatten rund 40 % der Versicherten nie etwas von der elektronischen Patientenakte gehört. Damit die elektronische Patientenakte auch weitestgehend genutzt wird, wurde 2021 die Implementierung eines Opt-Out-Verfahrens beschlossen⁸. Im Gegensatz zum bisherigen Opt-In-Verfahren erhalten nun alle Patienten automatisch bei Geburt eine elektronische Patientenakte, es sei denn, es wird widersprochen. Angedacht ist ebenfalls die Verschattung von einzelnen Dokumenten und Datensätzen und somit nur eine Teilmenge der Daten freizugeben⁷. Ein explizites Beispiel für die Anwendungsmöglichkeiten der ePA ist in einer

⁷ <https://www.dut-report.de/2022/04/20/epa-uns-eda-aktueller-stand-und-zukunftige-entwicklung/>

⁸ <https://www.gematik.de/newsroom/news-detail/pressemitteilung-gesellschafter-beschliessen-opt-out-epa>

User Story der Gematik Webseite einzusehen ⁹. Der aktuelle Stand der elektronischen Patientenakte sowie derer Dienste aus Tabelle 4 wird im folgenden Abschnitt genauer beschrieben.

4.3 *Aktueller Stand*

Nach der Vorstellung der verfügbaren Komponenten und ihrem theoretischen Stand muss nun überprüft werden, ob die vorhandene Technik und Anwendungslogik auch einen Gebrauch in der tatsächlichen Alltagspraxis Anwendung finden kann. Bei der ePA handelt es sich um eine an die TI angebundene Cloud-Anwendung, in der die Dokumente eingepflegt werden müssen. Der Aufbau dieser Dateien kann hoch strukturiert sein, wie z.B. im Falle der "Medizinischen Informationsobjekte" (MIO), oder auch als reine PDF abgelegt werden. PDF-Dateien sind unstrukturiert und weisen nur wenige notwendige Metadaten auf [8]. Nur wenige der Dokumente können tatsächlich in strukturierter Form in der ePA abgelegt werden. Die "Medizinischen Informationsobjekte" sind noch nicht für alle angebotenen Daten definiert. Der Impf- und Mutterpass sind bereits fertig, während andere wie das MIO e-Rezept und der MIO Laborbefund noch nicht komplett fertiggestellt sind. Laborbefunde werden nicht automatisch gespeichert, sondern als Papierbefund eingescannt und abgelegt [11]. Der Notfalldatensatz wird in der ePA aufgeführt, jedoch wird dieser auf der elektronischen Gesundheitskarte gespeichert und fällt somit aus den Kerndiensten der ePA ¹⁰. Die Nutzung der elektronischen Patientenakte ist auch an anderen Stellen begrenzt. Der Bitkom ist der Digitalverband Deutschlands. In einer deutschlandweiten Umfrage, die 2022 von Bitkom durchgeführt wurde,

gaben lediglich 6% der Ärzte an eine elektronische Patientenakte bereits genutzt zu haben. 29% der Ärzte können diese aufgrund fehlender technischer Ausrüstung nicht nutzen. Somit kommt für diese Ärzte die Kommunikation mit anderen Praxen per ePA nicht infrage. Selbst E-Mails werden zur überwiegenden Kommunikation mit anderen Praxen nur in 30 % der Fälle genutzt ¹¹. Die Ergebnisse dieser Umfrage und der dazugehörigen Pressemitteilung zeigen eine geringe Nutzung der ePA auf. Die Analyse von Statusberichten aus medizinischen Fachdisziplinen zeigt, dass es zahlreiche Berichte über Unzufriedenheit der Versorger gibt. Ein Beispiel hierfür stammt von dem Berufsverband der Deutschen Hämostaseologen e.V.(GTH), der die Digitalisierung als „überhastet“ bezeichnet [10]. Dies liegt sowohl an dem geringen Nutzen in der Praxis als auch an technischen Fehlern. Das elektronische Rezept (eRezept) wurde seit der geplanten Einführung 2021 in Deutschland bis zum 28.02.2022 nur 2.738 mal genutzt [10]. Diese Zahl war ebenfalls im TI-Dashboard der Gematik verzeichnet ¹². In dem Dashboard lag die Zahl Ende März bei 1.496.266. An dieser Stelle ist ebenfalls vermerkt, dass momentan 13.529 Apotheken eRezept fähig sind. Davon lösen 57% der Apotheken auch eRezepte ein ¹². Die Bundesvereinigung der Deutschen Apothekenverbände e.V gab 2021 an, dass die Zahl der Apotheken bei 18.461 liegt ¹³. Laut der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) nutzen nur 4% der befragten Praxen Mitte 2022 das eRezept. Ein möglicher Grund dafür könnte darin liegen, dass 47% der eRezept-Anwender Probleme bei der Einlösung der e-Rezepte in

⁹ <https://www.gematik.de/>

¹⁰ <https://fachportal.gematik.de/anwendungen/versichertenstammdatenmanagement>

¹¹ <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Digitalisierung-Medizin-2022>

¹² <https://www.gematik.de/telematikinfrastruktur/ti-dashboard>

¹³ <https://www.abda.de/aktuelles-und-presse/newsroom/detail/apothekenzahl-in-deutschland-auf-tiefstand/>

der Apotheke hatten ¹⁴. Um Dienste der Gematik zu nutzen, müssen Anforderungen wie der eingerichtete TI-Konnektor, ein eHealth-Kartenterminal und auch der Zugang zur TI und somit dem Kommunikation-im-Gesundheitswesen-Dienst (KIM) funktionieren. Die Akteure werden mit der eGK und dem elektronischen Heilberufsausweis (eHBA) authentifiziert. Jedoch kommt es bei der Anschaffung des eHBA zu erheblichen Kosten seitens der Versorger. Ebenfalls muss die elektronische Gesundheitskarte der Version 2.1 vorhanden sein. Dies ist laut GTH Anfang 2022 nicht der Fall gewesen. Vorhandene eGK können sich statisch aufladen und zur Unlesbarkeit der Karten bis zum Absturz der EDV-Systeme der Gesundheitseinrichtungen führen [10]. Auch bei den Urologen konnte festgestellt werden, dass die Umstellung der Infrastruktur, zur Einführung der ePA mehrere Nachteile mit sich brachte. Dies stellten zwei Arbeitskreise der Deutschen Gesellschaft für Urologie fest. Hier liegen die Hauptkriterien bei zu langsamer Software (43%) und Unübersichtlichkeit der Informationen (31%), sowie Zeitverlust/Mehraufwand (29%). Insgesamt beantworteten 82 Urologen den Fragebogen dieser Umfrage. (Borkowetz, et al., 2022) Für privat Versicherte gibt es bisher nur von der Allianz eine ePA [12]. Somit ist die ePA nur für einen kleinen Teil der Privatversicherten nutzbar. Eine Erfolgsgeschichte dahingegen sind die elektronischen Arbeitsunfähigkeitsbescheinigungen. Nach KBV haben 2022 87% der befragten Praxen die eAU schon verwendet. Dennoch gibt es bei Verfahren wie der Signatur oder mit der Telematikinfrastruktur weiterhin viele Probleme. Die Hauptprobleme in der Umfrage sind laut KBV „häufige Abstürze der Konnektoren und Kartenlesegeräte“, „Probleme mit PVS und KIM-Diensten“ und „Komponenten unterschiedlicher Anbieter können häufig nicht zum Funktionieren gebracht werden“ ¹⁴. Am

29.03.2023 haben 0,766% der deutschen Bevölkerung eine elektronische Patientenakte ¹².

5 Diskussion

Trotz vieler Ansätze läuft die elektronische Patientenakte nur langsam an. Es gibt nur wenige wissenschaftliche Beiträge zum aktuellen Stand der elektronischen Patientenakte. Diese zeigen in Verbindung mit Pressemitteilungen und Konferenzberichten der medizinischen Verbände einen komplett anderen Status als die offiziellen Webseiten. Diese Diskrepanz muss in weiteren wissenschaftlichen Facharbeiten untersucht werden. Viele der Einföhrungstermine einzelner Dienste können nur theoretisch erfüllt werden. Die neue Opt-Out-Variante der elektronischen Patientenakte wird die Zahl der angelegten ePAs erhöhen. Zumindest auf dem Papier ließe sich damit die Anzahl der Nutzer drastisch erhöhen. Das Thema elektronische Patientenakte ist in der Literatur umstritten. Es gibt Fachartikel, die die Konzeption und Einführung loben, aber auch viele Webseiten und Erfahrungsberichte, die ein düsteres Bild in der Realität zeichnen. Anschaffungskosten und Aufwand sind hemmende Faktoren in der Digitalisierung der Patientendaten, obwohl die Vorteile einer ePA klar auf der Hand liegen. Worüber sich alle einig sind, ist, dass man noch viel über das Thema reden muss, vor allem mit den Anwendern der TI. Die Gematik hat bereits eine ePA 4.0 geplant und ist an der Stelle der Realität in den Arztpraxen weit voraus. Wie sich die ePA genau entwickeln wird, zeigen die nächsten Jahre.

6 Beantwortung der Forschungsfragen

Dieser Absatz befasst sich mit dem Beantworten der Forschungsfragen. Seit 2019 wurde der Notfalldatensatz, der elektronische Medikationsplan, der elektronische Arztbrief, der Impfpass, der Mutterpass, das

¹⁴ <https://www.kbv.de/html/59598.php>

Zahnbonusheft, das Kinderuntersuchungsheft sowie die elektronische Arbeitsunfähigkeitsbescheinigung eingeführt. Nachweislich findet sich der Notfalldatensatz und die elektronische Arbeitsunfähigkeitsbescheinigung, sowie das eRezept im breiten Einsatz. Die elektronische Patientenakte selbst ist weiterhin mit weniger als einem Prozent der Bevölkerung nicht in der Breite verankert. (RQ1) Sowohl der Konnektor als auch das eHealth-Kartenterminal samt eGK werden von den Fachverbänden kritisiert. Der Konnektor wegen der erneuten Forderung seitens Regierung diesen austauschen zu lassen, die eHealth Kartenterminals und elektronische Gesundheitskarte seien nicht technisch ausgereift und fehleranfällig. Die Komponenten werden von den Anwendern auch wegen der vielen Änderungen (wie die Politik zum Konnektortausch) nicht angenommen. (RQ2) Die elektronische Patientenakte funktioniert auf dem Papier. Eine breite Abdeckung in der Bevölkerung gibt es nicht. Somit ist die Digitalisierung durch die elektronische Patientenakte noch weit am Anfang. Von einer funktionierenden Patientenakte kann somit nicht gesprochen werden. (RQ3)

7 Fazit

Insgesamt ist es schwierig, den aktuellen Stand der elektronischen Patientenakte zu bewerten. Von offizieller Seite sind die meisten Versorger an die TI angeschlossen. Im Gegensatz dazu finden sich in den Jahresberichten der Verbände, die vorgestellt wurden, viele Hinweise auf technische sowie Anwendungsfehler. Dennoch ist die geringe Nutzung der elektronischen Patientenakte auch seitens der Gematik dokumentiert. Stand 30.03.2023 nutzen immer noch weniger als 1% der Bevölkerung in Deutschland die elektronische Patientenakte. Dies lässt sich aus dem Dashboard der Gematik klar entnehmen. Kritisch ist auch die Verteilung der Gesellschafter in der Gematik. Viele Fachverbände fordern eine erhöhte Beteili-

gung dieser bei der Planung der Telematikinfrastruktur sowie der Umsetzung der angebotenen Dienste. Durch das Einbringen der Versorgerverbände können Fehler frühzeitig erkannt werden. Der vorgestellte GTH berichtet beispielsweise von dem selbst eingebrachten Einwand bei den MIO-Laborobjekten, deutsche Fachbegriffe in den Fundus mit aufzunehmen. Dies war bis zur gemeinsamen Arbeit mit der Gematik nicht der Fall. Zusammenfassend muss die Gematik mehr mit den Versorgerverbänden kooperieren, um die Telematik an die Prozesse der Versorger anzupassen. Damit könnte die Digitalisierung der Daten anwenderorientiert umgesetzt werden und somit auch im breiten Feld verwendet werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Borokowetz A., Leitsmann M., Baunacke M, et al., Akzeptanz und Stand der Digitalisierung in Klinik und Praxis. *Die Urologie*. (2022). 61(12),1365-1372. doi: 10.1007/s00120-022-01889-2
- [2] Brockhaus H., Basiswissen Telematikinfrastruktur: Schutz per Konnektor. *Deutsches Ärzteblatt*. (2005). 103(45). 14.
- [3] Dochow C., Das Patienten-Daten-Schutz-Gesetz (Teil 1): Die elektronische Gesundheitskarte und Telematikinfrastruktur. *Medizinrecht*. (2020). 38(12). 979-993. Doi:10.1007/s00350-020-5725-6
- [4] Fischer P., Digital Health: Untersuchung zur Akzeptanz der elektronischen Gesundheitsdatenspeicherung in Form der elektronischen Patientenakte (ePA) in Deutschland. (2019). MA Akademie Verlags- und Druck-Gesellschaft mbH, Essen
- [5] Kus K., Kajüter P., Arlinghaus T., et al. Die elektronische Patientenakte als zentraler Bestandteil der digitalen Transformation im deutschen Gesundheitswesen – Eine Analyse von Akzeptanzfaktoren aus Patientensicht. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*. (2022). 59(6). 1577-1593. Doi: 10.1365/s40702-022-00921-5

[6] Lux T., Koberlein-Neu J., Müller-Mielitz S. E-Health-Ökonomie II: Evaluation und Implementierung. (2022) Springer Gabler, Wiesbaden. Doi: 10.1007/978-3-658-35691-0

[7] Lüring C., Kroll M., Cibura J. Unser Weg zur elektronischen Patientenakte. *Orthopädie*. (2022). 51(9). 694-698. Doi: 10.1007/s00132-022-04283-0

[8] Stachewitz P., Debatin J. F. Digitalisierung im Gesundheitswesen: heute und in Zukunft. *Bundesgesundheitsblatt*. (2023). 66(2). 104-113. Doi: 10.1007/s00103-022-03642-8

[9] Steffens J., Anheuser P., Kranz J. Komplikationen in der Urologie Risiken erkennen und vermeiden. (2021) Springer. Heidelberg. Doi: 10.1007/978-3-662-60625-4

[10] Sucker C., Koscielny J., Kapert G., Veranstaltung des BDDH am 03.03.2022 im Rahmen der 66. Jahrestagung der Gesellschaft für Thrombose- und Hämostaseforschung (GTH) in Leipzig. *Hamostaseologie*. (2022). 42(2). 153-165. Doi: 10.1055/a-1743-7931

[11] Wiegel B., Adler J., Orth M., Starkes Tandem. *Trillium Diagnostik*. (2023). 21(1). 10-12. Doi: 10.47184/td.2023.01.01



©2023 Patrick Schmutz. Lizenznehmer Hochschule Reutlingen, Deutschland. Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel unter den Bedingungen und Konditionen der Creative Commons Attribution (CC BY)-Lizenz. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Prozedurale Generierung von neigungsabhängigen 3D-Straßenmodellen aus OpenStreetMap für OpenDS

Philipp Hackh

Hochschule Reutlingen

Reutlingen, Deutschland

Philipp.Hackh@student.Reutlingen-University.de

Zusammenfassung

Die Anwendungsfälle von Fahr simulatoren sind vielfältig und reichen von der Ausbildung von Fahr schülern bis hin zum Testen von autonomen Fahrzeugfunktionen. Damit das Fahrerlebnis im Simulator so realistisch wie möglich ist, bedarf es unter anderem einer virtuellen Umgebung. Diese Arbeit konzentriert sich auf die Generierung von digitalen Zwillingen anhand von realen Straßen. Höheninformationen sind ein wichtiger Aspekt bei der Generierung von 3D-Straßenmodellen, da sie den Realitätsgrad erhöhen. Durch die realistische Darstellung von 3D-Straßenmodellen kann beispielsweise die Entwicklung von autonomen Fahrzeugen sicherer gestaltet sowie beschleunigt werden. Der Fahr simulator der Hochschule Reutlingen soll um ein solches System, welches in der Lage ist realistische 3D-Straßenmodelle zu erstellen, erweitert werden. In dieser Arbeit wird hierfür ein Konzept anhand einer Pipeline vorgestellt, welche in der Lage ist, aus OpenStreetMap Kartendaten und digitalen Höhenmodellen 3D-Straßenmodelle zu erzeugen.

CCS Concepts

• **Human-centered computing** → **Visualization systems and tools.**

Keywords

OpenDS, OpenStreetMap, Digitale Höhenmodelle, OpenDRIVE, Fahr simulatoren, 2D-Modelle, 3D-Modelle

1 Einleitung

In den letzten Jahren hat die Entwicklung von Fahr simulatoren zunehmend an Bedeutung gewonnen, da sie unter anderem eine sichere, kostengünstige und umweltschonende Möglichkeit repräsentieren, unterschiedliche Szenarien im Straßenverkehr zu simulieren [1]. Einerseits werden Sie in Fahr schulen verwendet, um verschiedene Situationen im Verkehr zu üben. Andererseits kommen sie auch in der Industrie zum Einsatz, um beispielsweise Funktionen des autonomen Fahrens zu testen, ohne dabei im Vergleich zu realen Probefahrten Passanten oder andere Verkehrsteilnehmer zu gefährden. Des Weiteren bieten viele Fahr simulatoren den Vorteil, verschiedene Wetterverhältnisse oder Verkehr darzustellen, wodurch auch schwierige Szenarien simuliert werden können [1, 2]. Durch die Entwicklung von Technologien im Automobilbereich und dem einhergehenden Risiko, andere Verkehrsteilnehmer beim Testen zu verletzen, werden viele Tests in Simulationen ausgelagert [3]. Um diese so realistisch wie möglich zu gestalten, werden verschiedene Daten aus der echten Welt benötigt.

Betreuer/-in
Hochschule

Prof. Dr. rer. nat. Uwe Kloos
Hochschule Reutlingen
Uwe.Kloos@Reutlingen-
University.de

Informatics Inside Frühjahr 2023
03. Mai 2023, Hochschule Reutlingen
Copyright 2023 Philipp Hackh

1.1 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Konzept für ein System zu entwerfen, welches in der Lage ist, 3D-Straßenmodelle inklusive ihrer Neigung aus 2D-Kartendaten zu generieren. Als Datengrundlage sollen dafür OpenStreetMap Kartendaten in Kombination mit Höheninformationen dienen. Für die Höheninformationen wird ein digitales Geländemodell benötigt. Dieses beinhaltet die Angaben zur Höhe der verschiedenen geografischen Bereiche, die generiert werden sollen. Dabei sollen die Höheninformationen helfen, die Steigung und das Gefälle einer Straße realistisch zu repräsentieren. Des Weiteren sollen die daraus entstandenen 3D-Straßenmodelle mit dem Fahrsimulator der Hochschule Reutlingen unter OpenDS befahrbar sein. Die Neigung der Straße soll dabei Einfluss auf das Fahrerlebnis haben. Erste Ansätze in diesem Bereich wurden bereits durch die Bachelor-Thesis von Pietschmann [4] entwickelt. Dabei werden bestehende Ansätze wieder aufgegriffen und weiterentwickelt sowie neue Ansätze vorgestellt, um verschiedene Methoden zur Realisierung des Ziels aufzuzeigen.

1.2 Forschungsfragen

Um die Ziele aus Kapitel 1.1 genauer zu definieren, wurden folgende Forschungsfragen aufgestellt, welche durch die Arbeit beantwortet werden sollen:

- RQ1** Welche neuartigen Ansätze oder Programme zur Generierung von 3D-Straßenmodellen mit Neigungen existieren?
- RQ1.1** Wie können 3D-Modelle für OpenDS automatisch oder prozedural generiert werden?
- RQ1.2** Welche frei zugänglichen Quellen bieten Höheninformationen an?
- RQ1.3** Wie können OpenStreetMap Daten und Höheninformationen miteinander verknüpft werden?

1.3 Methodik

Für die Beantwortung der Forschungsfragen wurde neben der Suche nach Übersichtsarbeiten für die wichtigsten Themen auch eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Hierfür wurde aus den wichtigsten Begrifflichkeiten der Forschungsfragen sowie der Anforderungen (siehe Kapitel 3.1) passende Suchabfragen pro Forschungsfrage definiert. Die Suchabfragen wurden bei den Datenbanken IEEE Xplore, ACM Digital Library, EBSCO und Google Scholar durchgeführt. Als weiteres Kriterium wurde das Datum der Veröffentlichung berücksichtigt, um nur neue Literatur angezeigt zu bekommen, die nicht älter als fünf Jahre ist.

2 Stand der Technik

In diesem Kapitel wird der aktuelle Stand der Technik hinsichtlich Fahrsimulatoren im Allgemeinen sowie der Fahrsimulator OpenDS, das Datenformat OpenDRIVE und die Datenquellen näher beschrieben. Des Weiteren werden verwandte Arbeiten vorgestellt.

2.1 Fahrsimulatoren

Das Hauptziel von Fahrsimulatoren ist die Erschaffung einer Illusion des Fahrerlebnisses [1]. Sofern er für Prüfzenarien vorgesehen ist, benötigt er eine der Realität nachempfundene Verkehrsinfrastruktur sowie Fahrbedingungen. Deshalb setzten viele Fahrsimulatoren auf Funktionen wie Fotorealismus, realistische Straßennetze, Umgebungseffekte oder andere Verkehrsteilnehmer [2]. Damit das Hauptziel realisiert werden kann, müssen verschiedene Systeme aus dem Hard- und Softwarebereich miteinander kombiniert werden [1]. Im Softwarebereich gehört dazu unter anderem die Möglichkeit, verschiedene Szenarien in einer virtuellen Umgebung zu durchlaufen. Hierbei handelt es sich um ein Ereignis, beispielsweise ein sich mit dem Fahrzeug kreuzender Fußgänger, das in einer virtuellen Umgebung dargestellt wird [1].

2.2 OpenDS

Bei OpenDS handelt es sich um einen vom Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) entwickelten Open-Source Fahrsimulator. Ziel der Entwicklung ist es, ein grundlegendes und kostenloses visuelles Fahrsimulator Toolkit der Forschungsgemeinschaft zur Verfügung zu stellen. Der Fahrsimulator basiert auf Java-Code und der szenengraphbasierte Spielengine jMonkeyEngine, wodurch er plattformunabhängig eingesetzt werden kann¹. Seit der Erstveröffentlichung 2013 ist die Anzahl der Nutzer auf über 4.500 angestiegen¹. Gefördert wird die Entwicklung durch die Europäische Union [5]. OpenDS ermöglicht die Simulation von benutzerdefinierten Simulationsumgebungen. Dafür werden Konfigurationsdateien im XML-Format verfasst und definieren die Beschreibung statischer und dynamischer Szenenobjekte sowie vordefinierter Ereignisse¹. Des Weiteren können dort auch Eingabe- und Ausgabegeräte konfiguriert, die Kommunikation mit externen Anwendungen gesteuert sowie die Art der Protokollierung festgelegt werden¹. In Tabelle 1 werden die einzelnen Dateien und ihre Funktionen genauer beschrieben. Zusätzlich zu den Lenkrädern, die für Spiele gedacht sind, bietet OpenDS auch eine CAN-Schnittstelle, über welche die Hardware von echten Autos genutzt werden kann. Hinzu kommen verschiedene Funktionen wie beispielsweise die Simulation von Ampeln, Fußgängern und Fahrradfahrern sowie die Anpassung des Fahrerlebnisses bei Straßen mit Neigungen. Darüber hinaus wird das Datenformat OpenDRIVE (siehe Kapitel 2.3) bis Version 1.5 sowie die 3D-Formate Wavefront (.obj) und OgreXML (.scene oder .j3o) unterstützt¹.

¹Rafael Math. OpenDS Dokumentation - An Open-Source Driving Simulation Software for Research (nicht öffentlich zugänglich). Version 4.9. Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz. 2020.

2.3 OpenDRIVE Standard

Bei OpenDRIVE handelt es sich um ein standardisiertes Datenformat zur Beschreibung von Straßen- und Verkehrsinformationen, welche meist Anwendung im Bereich der Fahrzeugsimulation und dem autonomen Fahren findet. Entwickelt und gepflegt wird der Standard von der Association for Standardization of Automation and Measuring Systems (ASAM)². Er wurde entwickelt, um die Verbindungsmöglichkeiten von Systemen zu verbessern, die mit Straßen- und Verkehrsdaten arbeiten. Durch das Datenformat können verschiedene Systeme, die ebenfalls auf OpenDRIVE basieren, miteinander kommunizieren und Daten untereinander austauschen². Das erleichtert die Entwicklung von Anwendungen, wie beispielsweise Simulationen von Verkehrsströmen oder Navigationssysteme für selbstfahrende Autos. Der OpenDRIVE-Standard ist in der Lage, die meisten Eigenschaften der Straßen- und Verkehrsumgebungen zu beschreiben. Dazu gehören beispielsweise die Geometrie der Straßen, die Art der Fahrbahnen, die Beschaffenheit der Fahrbahn, die Begrenzungen der Fahrbahn, die Straßenmarkierungen und Verkehrsschilder sowie andere Elemente wie Straßenlampen oder Ampeln². Er kann auch Informationen über die Verkehrsregeln und -vorschriften in einer bestimmten Region enthalten, wie zum Beispiel Geschwindigkeitsbegrenzungen einer Straße².

2.4 OpenStreetMap

OpenStreetMap (OSM) ist eine offene Kartendatenbank, die geografische Informationen über Straßen, Gebäuden, Flüsse, Wälder und andere Objekte zur Verfügung stellt. Ziel ist es, eine internationale, für jeden frei zugängliche Karte zu schaffen. Realisiert wird das Projekt durch Crowdsourcing - dem

²https://releases.asam.net/OpenDRIVE/1.6.0/ASAM_OpenDRIVE_BS_V1-6-0.html, 19.04.2023

Tabelle 1: OpenDS - Driving Task XML-Dateien nach¹

Datei	Funktionen
openDRIVE.xodr	Straßennetzwerk (Geometrien, Fahrspuren, Kreuzungen)
scene.xml	Straßenobjekte (Form, Translation, Rotation, Maßstab, Masse), Umwelt (Sonne, Himmel)
scenario.xml	Umwelt (Wetter, Fahrer, Verkehr, Ampeln)
interactions.xml	Auslöser (Bedingungen, Handlungen)
settings.xml	Kamera-, CAN-, Spiegel-Einstellungen, Tastenbelegungen
drivingTask.xml	Name und Speicherort der XML- und OpenDRIVE-Dateien

Sammeln, Pflegen und Bereitstellen von Daten durch Benutzer³ [6]. Die Daten können für unterschiedliche Zwecke genutzt werden, wie beispielsweise dem Navigieren oder dem Erstellen von 3D-Modellen. Im Gegensatz zu Google Maps stellt OSM die rohen Geodaten zur Verfügung. Dadurch können die Daten je nach Use-Case angepasst werden. Die Daten in OpenStreetMap werden in OSM XML Form gespeichert und beinhalten deren geometrische Grundelemente sowie deren Relationen⁴ [6]. Diese werden durch node (Punkt), ways (Linie) und relations (Relation) repräsentiert und können bestimmte tags (Attribute) zugewiesen bekommen. Diese wiederum bestehen aus einem key (Schlüssel) und einem value (Wert)⁵ [6]. Dadurch kann beispielsweise eine Autobahn mit highway=motorway beschrieben werden⁶ [6]. Die Karten können über die OSM-Website abgerufen oder über die Exportfunktion als OSM-Datei heruntergeladen werden.

³<https://www.openstreetmap.de/faq>, 19.04.2023

⁴https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:OSM_XML, 19.04.2023

⁵<https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Elemente>, 19.04.2023

⁶<https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Key:highway>, 19.04.2023

2.5 Digitale Höhenmodelle

Ein digitales Höhenmodell (engl. digital elevation model, kurz: DEM) bildet die topografische Oberfläche der Erde ab [7]. Dabei kommen sie in verschiedenen Anwendungen wie unter anderem der Geländeanalyse oder dem Infrastruktur-Design zum Einsatz. Aber auch Daten wie Gefälle oder Steigung können aus einem DEM extrahiert werden [7]. DEM's haben im Allgemeinen die Form eines Rasters. Der Wert jedes Rasterpunktes repräsentiert ihre Höhe über Meeresspiegel [7]. Die dafür benötigten Daten werden für gewöhnlich aus Luftbildern oder Laserscanning Daten gewonnen. Abschließend werden die Daten durch Algorithmen verarbeitet, um das Rasterbild der Höheninformationen des Geländes zu generieren. Dabei gibt es verschiedene Quellen für DEM-Daten, wie zum Beispiel das Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) [8], das Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) [7] oder regional das digitale Geländemodell (DGM200)⁷ von Deutschland. Dabei wurde bei der Entwicklung des Konzepts die Daten des SRTM (1 Arc-Second Global) mit einer räumlichen Auflösung von ~30m [8] verwendet, da

⁷<https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/digitale-gelandemodelle/digitales-gelandemodell-gitterweite-200-m-dgm200.html>, 19.04.2023

sie frei zugänglich sind, eine konsistente Qualität aufweisen und eine hohe Auflösung bieten. Dabei wurde sich bewusst gegen die Daten des SRTM Void Filled entschieden. Diese beinhalten zwar eine zusätzliche Verarbeitung, wodurch Bereiche mit fehlenden Daten geschlossen wurden, allerdings beträgt die räumliche Auflösung der Daten bei globaler Abdeckung ~90m [8]. Es können theoretisch aber auch andere DEM's verwendet werden, sofern diese im richtigen Dateiformat (siehe 3.3) vorliegen.

2.6 Verwandte Arbeiten

In der Arbeit von Kawai *et al.* wurde eine kostengünstige virtuelle Umgebung geschaffen, um Steuerungsalgorithmen für autonome und elektrische Fahrzeuge zu entwickeln. Dies wurde erreicht, indem offene Daten und eine Spiel-Engine verwendet wurden. Um das System praktisch umzusetzen, wurde ein großes dreidimensionales städtisches Straßenmodell mit Höhenunterschieden erstellt und mit Hardware-in-the-Loop-Simulationen als Fahrzeugmodell verbunden. Die Studie betont den Bedarf an der Automatisierung des Modellentwicklungsprozesses aufgrund der hohen Kosten für den Einsatz von realen Fahrzeugen zur Erprobung von Steuerungsalgorithmen [3].

Der Artikel von Gao *et al.* beschäftigt sich mit der Generierung von städtischen Straßen. Durch Vorverarbeitung der OpenStreetMap-Daten wird ein Netzwerk städtischer Straßen mit topologischen Beziehungen, welche letztlich mithilfe einer prozeduralen Syntax 3D-Straßenmodelle erzeugen. Die vorgestellte Methode schafft einen robusten Rahmen zur Generierung städtischer Straßen, derer Verkehrsinformationen sowie den Straßenoberflächen und Straßenkomponenten. Das Experiment zeigt, dass es möglich ist, realistische Stadtlandschaften auf der Basis von realen Orten zu erstellen [9].

Der Beitrag von Mondal *et al.* stellt eine Pipeline vor, die eine automatische Generierung von neuen Stadtplänen für Fahrsimulationumgebungen aus OpenStreetMap ermöglicht. Mit der beschriebenen Methode ist es möglich Stadtmodelle zu generieren. Diese weisen bei einer Abtastung mit LiDAR einen ähnlichen Fußabdruck auf wie real gesammelte Datensätze [10].

3 Konzeption

In dieser Arbeit wird ein Konzept zur Generierung von 3D-Straßenmodellen aus OpenStreetMap vorgestellt. Dafür werden zu Beginn Anforderungen an das System definiert. In den folgenden Kapiteln wird der Systemaufbau sowie die einzelnen Schritte der Generierung des 3D-Straßenmodells vorgestellt.

3.1 Anforderungen

In diesem Kapitel werden die Anforderungen an das System definiert. Dazu wurde eine Anforderungsanalyse durchgeführt. Dafür haben Rupp *et al.* [11] Satzschablonen entwickelt, welche die Formulierung von Anforderungen vereinfachen. Diese helfen, Anforderungen klar, präzise und für alle Beteiligten verständlich zu definieren [11]. Um einen besseren Überblick zu haben, wurden die Anforderungen in funktionale (FA) und nicht funktionale Anforderungen (NFA) unterteilt. Im Weiteren werden aufgrund des Umfangs der Arbeit nur grundlegende Anforderungen aufgeführt. Die aus den Schablonen resultierenden Anforderungen können aus Tabelle 2 und 3 entnommen werden.

3.2 Systemaufbau

Aufgrund der verschiedenen Prozesse, welche benötigt werden, um ein solches Modell zu erstellen, wird der Ansatz einer Pipeline passend zu den Anforderungen aus Kapitel 3.1 vorgeschlagen. Diese wird in vier Schritte unterteilt: Generierung des Straßennetzes (FA_1), Verknüpfung des Straßennetzes und

Tabelle 2: Funktionale Anforderungen

ID	Name	Beschreibung
FA_1	3D-Straßenmodell Generierung	Das System muss ein 3D-Straßenmodell durch die verfügbaren Daten erstellen können, sofern der Abschnitt eine Straße enthält.
FA_2	Verknüpfung OSM und DEM	Das System muss die DEM und OSM Daten anhand der Koordinaten aneinander ausrichten können.
FA_3	3D-Straßenmodell Neigung	Das System muss die 3D-Straßenmodelle mithilfe der Höheninformationen hinsichtlich ihrer Neigung generieren.
FA_4	3D-Geländemodell Generierung	Das System muss ein 3D-Geländemodell anhand eines DEM erstellen können.
FA_5	Driving Task -Dateien	Das System muss für den Import der 3D-Modelle unter OpenDS die benötigten Driving Task-Dateien (siehe Tabelle 1) erstellen können.

Tabelle 3: Nicht funktionale Anforderungen

ID	Name	Beschreibung
NFA_1	Befahrbarkeit	Die generierten 3D-Straßenmodelle müssen unter OpenDS be-fahrbar sein.
NFA_2	Aktualität	Das System muss neue OSM- und DEM-Daten verarbeiten können.
NFA_3	OpenDRIVE Version	Die verwendete OpenDRIVE Version des Straßennetzes darf nicht neuer als Version 1.5 sein.

DEM (FA_2 und FA_3), Generierung des 3D-Geländemodell (FA_4) und Generierung der Driving Task-Dateien (FA_5). Für die ersten drei Schritte werden im folgenden je zwei verschiedene Vorgehensweisen vorgestellt. Dazu wird zum einen das Tool SUMO verwendet, welches bereits in der Arbeit von Pietschmann [4] zum Einsatz kam und solide Ergebnisse erzielte. Zum anderen wird die Software RoadRunner von Mathworks verwendet, welche von Rafael Math, einem Mitarbeiter des DFKI, zur näheren Betrachtung vorgeschlagen wurde. Diese wurde dort intern bereits zur manuellen Modellierung von Fahrscenarien eingesetzt wurde.

3.3 Schritt 1 - Straßennetz aus OSM

Bei der Generierung eines Straßennetzes aus OSM-Daten wird üblicherweise mit spezieller GIS-Software gearbeitet. Mithilfe dieser können die OSM-Daten entweder automatisch extrahiert und umwandelt werden oder durch manuelle Anpassung der OSM-Datei erstellt werden.

1. Methode - SUMO netconvert

Um ein Straßennetzwerk aus einer OSM-Datei zu generieren, wird in diesem Konzept die Software SUMO verwendet. SUMO steht für "Simulation of Urban Mobility" und ist eine kostenlose, Open-Source-Verkehrssimulation, die für die Modellierung von Verkehrssystemen in Städten verwendet wird. SUMO wird vom Institut für Verkehrssysteme des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt entwickelt [12]. Zum Beginn der Generierung wird ein Ausschnitt in Form einer OSM-Datei benötigt, welche von beispielsweise von OpenStreetMap⁸ heruntergeladen werden kann. Diese kann im Anschluss mit dem Tool netconvert⁹ [13] in eine .net.xml-Datei konvertiert werden, welche unser Straßennetz beinhaltet. Der Nachteil dieser Methode ist, dass so alle Wege, also auch beispielsweise Fahrradwege, mit in das Straßennetz miteinfließen. Da allerdings nur Straßen modelliert werden sollen, muss die OSM-Datei vorverarbeitet werden, da ansonsten auch nicht relevante Daten bei der Generierung berücksichtigt werden.

2. Methode - SUMO osmWebWizard

Darüber hinaus stellt SUMO das Tool osmWebWizard zur Verfügung, welches ebenfalls in der Lage ist, Straßennetze aus OSM zu erzeugen¹⁰ [13]. Im Gegensatz zu netconvert können die Daten vor dem Export gefiltert werden. Um ein Straßennetz aus OSM mithilfe von osmWebWizard zu generieren, muss zuerst das Tool gestartet werden. In dem sich anschließend öffnenden Browserfenster kann der gewünschte Abschnitt, der exportiert werden soll, auf einer Karte herausgesucht werden. Dies kann entweder über das Suchfeld mit einer Abfrage nach einem Ort oder durch die Angabe von Koordinaten geschehen. Bevor der Export gestartet wird, muss noch die Einstellung

Car-only Network aktivieren werden. Dadurch werden ausschließlich Netzwerkdaten von Straßen geladen, die für den öffentlichen Pkw-Verkehr zugänglich sind. Unter dem Reiter Road-Types können die Straßentypen optional noch detaillierter für den Export gefiltert werden. Anschließend kann der Abschnitt mit Generate Scenario exportiert werden. Im Exportordner befindet sich unter anderem ein Archiv, welches das generierte Straßennetz in einer .net.xml-Datei beinhaltet.

3.4 Schritt 2 - Verknüpfung OpenDRIVE-Daten und digitales Höhenmodell

Eine Möglichkeit, Höheninformationen mit OSM-Daten zu verknüpfen, ist die Verwendung von Höhendaten aus einem digitalen Höhenmodell (siehe Kapitel 2.5). Um Höheninformationen mit OSM-Daten zu verknüpfen, kann man die Höhendaten aus dem DEM mit den Geodaten von OSM vergleichen und die Höhenwerte den entsprechenden Elementen in OSM zuweisen. Dies kann mit speziellen Tools oder mithilfe von GIS-Software durchgeführt werden. Im nächsten Schritt der Pipeline werden zwei verschiedene Methoden zum Verknüpfen der Daten vorgestellt.

1. Methode - Mathworks RoadRunner

Die erste Methode in diesem Schritt verwendet die Software RoadRunner. Bei RoadRunner handelt es sich um eine Software von MathWorks, welche speziell für die Modellierung und Simulation von Straßen und Städten entwickelt wurde. Dadurch können virtuelle Umgebungen erstellt werden, in welchen autonome Fahrzeuge getestet werden können¹¹. Außerdem bietet die Software die Möglichkeit, OpenDRIVE-Dateien¹²

⁸<https://www.openstreetmap.org/export>, 19.04.2023

⁹<https://sumo.dlr.de/docs/netconvert.html>, 19.04.2023

¹⁰<https://sumo.dlr.de/docs/Tutorials/OSMWebWizard.html>, 19.04.2023

¹¹<https://de.mathworks.com/products/roadrunner.html>, 19.04.2023

¹²<https://de.mathworks.com/help/roadrunner/ug/importing-opendrive-files.html>, 19.04.2023

sowie digitale Geländemodelle (DEM)¹³ zu importieren, wodurch es möglich ist, die Straßen an das Geländemodell anzupassen. Dazu wird zuerst eine neue Szene erstellt und die OpenDRIVE-Datei sowie das Geländemodell importiert. Unterstützt werden dabei die Dateiformate DEM, IMG oder GeoTIFF¹³. Anschließend muss die Szene an die Größe des importierten Straßennetzes angepasst werden. Abschließend können die Straßen und Kreuzungen nacheinander mit einem Auswahlwerkzeug selektiert und an das Geländemodell mit der Funktion Project Roads angepasst werden.

2. Methode - SUMO netconvert

Die zweite Methode basiert auf der bereits verwendeten Software SUMO. Hierbei wird die generierte .net.xml-Datei des Straßennetzes aus Schritt 3.3 verwendet. Mithilfe von netconvert kann eine .net.xml-Datei an ein DEM angepasst werden [12]. Dabei unterstützt SUMO entweder ArcGIS shapefiles oder GeoTIFFs¹⁴. Dabei wird eine neue Datei, welche die Verknüpfung der Daten des Straßennetzes und den Höheninformationen des DEM's enthält. Die neu generierte Datei kann abschließend ebenfalls mit dem Tool netconvert in eine OpenDRIVE-Datei exportiert werden.

3.5 Schritt 3 - Generierung eines 3D-Geländemodells

Durch die bisherigen Schritte wurde ein Straßennetz inklusive Neigung anhand eines DEM's generiert. Da es sich bei bisherigem Modell ausschließlich um Straßen handelt, würden diese bei einem Import unter OpenDS in der Luft liegen. Deshalb wird zusätzlich noch ein 3D-Geländemodell benötigt, damit man während den Fahrten in der Simulation nicht abstürzen kann. Des Weiteren

wird mit diesem Schritt die Umgebung realistischer. Auch hier gibt es Möglichkeiten, welche mit spezieller GIS-Software umgesetzt werden können.

1. Methode - Blender und BlenderGIS

BlenderGIS ist ein Open-Source-Plugin für Blender. Bei Blender handelt es sich um eine Open-Source 3D-Grafiksuite zur 3D-Modellierung^{15 16}. Das Plugin stellt eine Sammlung von Werkzeugen und Funktionen bereit, um geografische Daten in Blender zu importieren, zu visualisieren und zu bearbeiten¹⁷. Das Plugin ist speziell für die Arbeit mit Geodaten wie Geländemodellen, Karten, Luft- und Satellitenbildern, Vektoren und anderen räumlichen Daten konzipiert. Mit diesem Plugin können 3D-Geländemodelle erstellt werden. Hierzu wird zu Beginn eine Basemap erstellt. Als Datenquelle stehen hierfür unter anderem OSM oder Google Maps zur Verfügung sowie deren verschiedenen Ebenen wie beispielsweise einer Satellitenebene. Anschließend kann der gewünschte Abschnitt über die Suche nach beispielsweise Orten, Straßen oder auch Koordinaten ausgewählt und importiert werden. Anschließend kann durch die ins Plugin integrierte API OpenTopography [14] ein DEM geladen werden, wodurch das 2D-Objekt der Karte mit den Höheninformationen angereichert wird. Alternativ kann hier auch eine lokale DEM-Datei angegeben werden. Für den letzten Schritt muss das 3D-Geländemodell in das Wavefront-Format exportiert werden. Beim Export können verschiedene Parameter hinsichtlich Skalierung und Textur gesetzt werden.

2. Methode - Mathworks RoadRunner

Bei der Erstellung einer an ein DEM angepassten OpenDRIVE-Datei (Siehe Kapitel 3.4 - 1. Methode) wird automatisch ein 3D-Geländemodell mit generiert. Das Modell

¹³<https://de.mathworks.com/help/roadrunner/ref/elevationmapassets.html>, 19.04.2023

¹⁴<https://sumo.dlr.de/docs/netconvert.html>, 19.04.2023

¹⁵<https://www.blender.org/about/>, 19.04.2023

¹⁶<https://blender-addons.org/blendergis-addon/>, 19.04.2023

¹⁷<https://github.com/domlysz/BlenderGIS>, 19.04.2023

kann in Roadrunner als Wavefront-Datei exportiert werden, wobei hier allerdings im Gegensatz zu Blender keine Parameter zum Export zur Verfügung stehen. Darüber hinaus kann es vorkommen, dass das Modell größere Lücken aufweist, was je nach verwendetem Abschnitt der OSM-Datei auftritt.

3.6 OpenDS - Driving Task-Dateien

Letztlich müssen noch die erforderlichen Driving Task-Dateien erstellt werden (siehe Tabelle 1). Zur Erleichterung des Schrittes wird die Verwendung eines automatisierten Skripts empfohlen. Zu Beginn müssen die Standardparameter des Fahr-simulators definiert werden, die hauptsächlich in der `settings.xml` beschrieben werden. Diese Parameter müssen auf die verwendete Hardware aus dem Fahr-simulator abgestimmt werden. Um das generierte 3D-Geländemodell zu importieren, muss in der `scene.xml` auf die entsprechende Datei verwiesen werden. Selbiges gilt für den Import der OpenDRIVE-Datei. Hierbei muss zum einen in der `drivingTask.xml` auf die Datei verwiesen werden. Zum anderen muss in der `scenario.xml` ein OpenDRIVE-Tag hinzugefügt werden, welcher Angaben zur Start- und Zielposition innerhalb des Streckennetzes beinhaltet.

4 Evaluation

Um das Konzept zu evaluieren, wurden die generierten 3D-Modelle unter OpenDS hinsichtlich ihrer Befahrbarkeit sowie in der OpenDRIVE Ansicht unter RoadRunner hinsichtlich ihrer Qualität und Realitätsgrad bewertet. Darüber hinaus wurde das Konzept hinsichtlich der gestellten Anforderungen an das System (siehe Tabelle 2, 3) und deren Erfüllung evaluiert. Dazu wurden die generierten 3D-Modelle in OpenDS importiert und durch Testfahrten evaluiert. Dabei wurde in erster Linie überprüft, ob die Straßen und

das Gelände befahrbar sind und Einfluss auf das Fahrerlebnis bei Steigungen und Gefällen haben. Unter RoadRunner wurden die Modelle importiert und auf Fehler bei der Generierung durch den Abgleich mit dem Abschnitt der OSM-Datei untersucht. Darüber hinaus wurde auch das Aussehen der Straßen und Kreuzungen auf Unregelmäßigkeiten untersucht. Zu einem der identifizierten Probleme gehören Kreuzungen, bei welchen die verschiedenen Höhenprofile der Straßen zu einer falschen Darstellung führen können. Dies hat nicht nur Einfluss auf die Ästhetik, sondern sorgt auch für Probleme bezüglich der Befahrbarkeit der Straße unter OpenDS. Um das Problem zu lösen, wurde intern beschlossen, die Kreuzungen durch ein Skript hinsichtlich ihrer Höheninformationen anzupassen und diese als gerade Fläche darzustellen, auch wenn dadurch ein gewisser Realitätsgrad verloren geht. Des Weiteren treten Probleme beim Export der Modelle aus 3.5 auf. Zum einen werden die Modelle aus der ersten Methode beim Import unter OpenDS nicht erkannt, sofern beim Export die Texturen mit abgespeichert werden sollen. Als Alternative kann beispielsweise auf bereits vorhandene Texturen von OpenDS zurückgegriffen werden. Darüber hinaus muss beim Import des Modells auch der Ursprung sowie die Skalierung des 3D-Geländemodells angepasst werden, damit beide Modelle gleich ausgerichtet sind und somit korrekt übereinander liegen. Dies kann über eine Anpassung der `scene.xml` erfolgen. Zum anderen werden die exportierten Modelle von RoadRunner in der falschen Orientierung abgespeichert. Deshalb muss nach dem Export eine Anpassung der Rotation der x-Achse vorgenommen werden.

5 Diskussion

Die vorliegende Arbeit verdeutlicht, dass die Konzeption eines derartigen Systems keine simple Aufgabe ist. Von der OSM-Datei bis hin zum fertigen und befahrbaren 3D-Modell

sind viele Schritte zum Anpassen der Daten nötig, welche mit der vorliegenden Arbeit vorgestellt werden. Die konzipierte Pipeline ermöglicht das Generieren von realistischen 3D-Straßenumgebungen. Dazu wurden Höheninformationen des DEM's SRM (1 Arc-Second Global) verwendet, um die Neigung der Straßen zu repräsentieren. Innerhalb der Pipeline werden die Straßennetzdaten extrahiert und an die Daten des DEM's mit verschiedener Software angeglichen. Die 3D-Straßenmodelle wurden bereits lokal in OpenDS importiert und befahren. Trotzdem sollte berücksichtigt werden, dass diese Methode nur eine bestimmte Wahl von Tools berücksichtigt und lediglich auf der Basis von OSM-Daten beruht. Gleichmaßen sollte der Faktor berücksichtigt werden, dass die Daten des SRM (1 Arc-Second Global) nicht in allen Regionen gleich gut sind, da sie Lücken enthalten können, welche sich auf die Ergebnisse auswirken. Da es sich hierbei um ein Konzept handelt, wurde es noch nicht ausreichend angewandt und evaluiert. Dennoch stellt die Methode ein Konzept dar, was ausführlichen Tests eine solide Basis bietet. Im nächsten Schritt ist geplant, die Modelle in einen der Fahrsimulatoren der Hochschule Reutlingen zu importieren und zu befahren. Um weitere Erkenntnisse zu gewinnen, soll das ausgearbeitete Konzept in einer Master-Thesis implementiert werden, wobei weitere Tests folgen. Bei den Tests sollen unter anderem verschiedene Abschnitte mit schwierigen Objekten wie Brücken oder Autobahnkreuzungen näher betrachtet werden. Darüber hinaus wird eine automatische Lösung der Evaluierung der 3D-Straßenmodelle angestrebt. Letztlich soll auch eine Evaluierung der einzelnen Methoden der Pipeline erfolgen, um die Effizientesten zu implementieren.

6 Fazit

Diese Arbeit befasst sich mit der Konzeption eines Systems zur Generierung von

realistischen und neigungsabhängigen 3D-Straßenmodellen aus OpenStreetMap Daten. Dabei sollte anhand von Forschungsfragen untersucht werden, welche neuartigen Ansätze oder Programme zur Generierung von 3D-Straßenmodellen mit Neigungen existieren, wie 3D-Modelle für OpenDS automatisch oder prozedural generiert und wie OpenStreetMap Daten und DEM-Höheninformationen miteinander verknüpft werden können. Hierfür wurde im ersten Kapitel eine Einleitung in das Thema gegeben sowie die Motivation für die Konzeption zugrunde gelegt. Im anschließenden Kapitel 2 wurde der Stand der Technik näher beschrieben sowie verwandte Arbeiten in diesem Bereich vorgestellt. Die Konzeption des Systems wurde im dritten Kapitel behandelt. Zu Beginn wurde eine Anforderungsanalyse an das System durchgeführt und entsprechende Anforderungen herausgearbeitet. Das darauffolgende Kapitel behandelt den daraus resultierenden Systemaufbau. Anschließend wurden die vier Schritte der Pipeline sowie die verschiedenen Methoden der einzelnen Schritte vorgestellt. Schritt 1 der Pipeline befasst sich mit dem Generieren eines Straßennetzes aus OpenStreetMap. Der zweite Schritt beinhaltet die Verknüpfung der Straßennetzdaten mit einem digitalen Höhenmodell. In Schritt 3 wird das 3D-Geländemodell generiert. Der letzte Schritt der Pipeline erstellt die dazugehörigen und von OpenDS benötigten Driving Task-Dateien. Durch die Anwendung dieser vier Schritte sowie der Lösungsansätze aus dem Kapitel der Evaluation können die generierten Modelle direkt unter OpenDS importiert und befahren werden. In Kapitel 5 wurde eine Diskussion angestoßen, bei welcher das Endergebnis der Arbeit hinterfragt und reflektiert wurde. Die vorgestellte Pipeline stellt eine günstige, unkomplizierte und effektive Möglichkeit dar, 3D-Straßenmodelle für OpenDS zu generieren, die Potenzial für zukünftige Forschung bietet.

Literatur

- [1] Lucas Bruck, Bruce Haycock und Ali Emadi. „A Review of Driving Simulation Technology and Applications“. In: *IEEE Open Journal of Vehicular Technology* 2 (2021), S. 1–16. DOI: 10.1109/OJVT.2020.3036582.
- [2] Emilian Galazka, Teo T. Niemirepo und Jarno Vanne. „CiThruS2: Open-source Photorealistic 3D Framework for Driving and Traffic Simulation in Real Time“. In: *2021 IEEE International Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*. IEEE, 2021, S. 3284–3291. ISBN: 978-1-7281-9142-3. DOI: 10.1109/ITSC48978.2021.9564751.
- [3] Yasuo Kawai u. a. „Construction of Virtual Large-Scale Road Environment for Developing Control Algorithms for Autonomous and Electric Vehicles“. In: *SIGGRAPH Asia 2020 Posters*. New York, NY, USA: ACM, 2020, S. 1–2. ISBN: 9781450381130. DOI: 10.1145/3415264.3425459.
- [4] Michael Pietschmann. „Automatische Generierung von 3D Fahrsimulaturumgebungen aus 2D Karteninformationen“. (nicht öffentlich zugänglich). Bachelorarbeit. Reutlingen: Hochschule Reutlingen, 2021.
- [5] Rafael Math u. a. „OpenDS: A new open-source driving simulator for research“. In: *AutomotiveUI 2012 - 4th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. Bd. 4, S. 7–8.
- [6] Frederik Ramm und Jochen Topf. *OpenStreetMap: Die freie Weltkarte nutzen und mitgestalten*. Lehmanns Media, 2010. ISBN: 3865413757.
- [7] Michael Abrams, Robert Crippen und Hiroyuki Fujisada. „ASTER Global Digital Elevation Model (GDEM) and ASTER Global Water Body Dataset (ASTWBD)“. In: *Remote Sensing* 12.7 (Apr. 2020), S. 1156. DOI: 10.3390/rs12071156. URL: <https://doi.org/10.3390/rs12071156>.
- [8] Earth Resources Observation And Science (EROS) Center. *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global*. 2017. DOI: 10.5066/F7PR7TFT. URL: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1>.
- [9] Tianhan Gao, Qi Gao und Tingting Yu. „A Procedural Generation Method of Urban Roads Based on OSM“. In: *2022 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT)*. IEEE, 2022, S. 242–248. ISBN: 978-1-6654-5126-0. DOI: 10.1109/IAICT55358.2022.9887441.
- [10] Avishek Mondal, Panagiotis Tigas und Yarin Gal. „Real2sim: Automatic generation of open street map towns for autonomous driving benchmarks“. In: *Machine Learning for Autonomous Driving Workshop at the 34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*. 2020.
- [11] Chris Rupp. *Requirements-Engineering und -Management: Das Handbuch für Anforderungen in jeder Situation*. 7., aktualisierte und erweiterte Auflage. München: Hanser, 2021. ISBN: 3446455876.
- [12] Daniel Krajzewicz u. a. „Recent Development and Applications of SUMO - Simulation of Urban Mobility“. In: *International Journal On Advances in Systems and Measurements* 34 (Dez. 2012).
- [13] Pablo Alvarez Lopez u. a. „Microscopic Traffic Simulation using SUMO“. In: *The 21st IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*. IEEE, Nov. 2018, S. 2575–2582. URL: <https://elib.dlr.de/127994/>.

- [14] C. P. Scott u. a. „On-Demand 3D topographic differencing hosted by OpenTopography“. In: Bd. 2019. Dez. 2019, T51B-06. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019AGUFM.T51B.06S>.



© 2023 Philipp Hackh. Lizenznehmer Hochschule Reutlingen, Deutschland.
Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel unter den Bedingungen und Konditionen der Creative Commons Attribution (CC BY)-Lizenz. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

State of the art: Design Patterns für Augmented Reality Anwendungen

Philip Engler

Hochschule Reutlingen
Reutlingen, Deutschland

Philip.Engler@Student.Reutlingen-University.de

Abstract

Beim Ausgestalten von Augmented Reality (AR) Anwendungen bestehen allein durch die breit gefächerten Anwendungsgebiete und unterschiedlichen Technologien zur Umsetzung diverse Herausforderungen, denen es sich für Designer*innen und Entwickler*innen anzunehmen gilt. Anders als beispielsweise für Graphical User Interfaces von Webanwendungen besteht jedoch für das Design von AR-Anwendungen kein wissenschaftlicher oder praxisbasierter Konsens bzgl. Design Patterns; also wie es wiederkehrende Problemstellungen optimal zu lösen gilt. Zwar bestehen bereits Reviews mit dem Ziel allgemeingültige Design Patterns für AR-Anwendungen zu formulieren, oftmals liefern diese jedoch nur wenig Handlungsempfehlungen zur Lösung der Problemstellungen. In der vorliegenden Arbeit wird durch ein systematisches Literaturreview der aktuelle Stand der Wissenschaft auf formulierte Design Patterns untersucht und diese zu einer Sammlung kuratiert. Anbei werden Guidelines und Best Practices hinterlegt, sodass die Sammlung als Arbeitsgrundlage für die Praxis angewandt werden kann. Darüber hinaus wird geprüft, ob sich anhand

dieser Patterns ein Design System ableiten lässt. Ergeben hat sich dabei, dass die gesammelten Patterns einen zu hohen abstraktionsgrad besitzen, um ein anwendbares Design System aufzustellen.

CCS Concepts

• **Human-centered computing** → *Human computer interaction (HCI)* → Interaction paradigms → **Mixed / augmented reality.**

Keywords

Design Patterns, Augmented Reality, Application Design, Interaction Design, Design System, Human Computer Interaction

1 Einleitung

Nach wie vor gilt Augmented Reality (AR) als aufstrebende neue Technologie. Den Einsatzmöglichkeiten sind dabei keine Grenzen gesetzt. Ob im Einsatz als Lernspiel [9, 18], zur Steuerung von Systemen [21], in Umkleidekabinen [1] oder auch in vielen weiteren Bereichen konnten Studien bisher schon die Anwendungsmöglichkeiten und bestehende positive Auswirkungen aufzeigen. AR kann dabei von Fall zu Fall individuell und kreativ ausgearbeitet und umgesetzt werden. Ob durch ein mobiles Endgerät (MAR), via Head-Mounted Display (HMD), per Head-up-Display (HUD) oder durch gänzlich für bestimmte Anwendungsfälle eigens geschaffene AR-Interaktionsmöglichkeiten beschreibt die Technologie vor allem die Anreicherung der realen Welt um virtuelle Informationen [15]. Wie diese aufbereitet und

Betreuer Hochschule: Prof. Dr. Gabriela Tullius
Hochschule Reutlingen
Gabriela.Tullius@Reutlingen-
University.de

Informatics Inside Herbst 2023
03. Mai 2023, Hochschule Reutlingen
Copyright 2023 Philip Engler

für Anwender*innen zugänglich gemacht werden, kann dabei unterschiedlich aussehen. Damit jedoch zu jeder Zeit, für möglichst alle AR-Anwendungen eine gewisse positive Bedienfähigkeit und zielführende Interaktionsmöglichkeiten angeboten werden können, kann es für Designer*innen und Entwickler*innen oftmals hilfreich sein, auf eine Sammlung bekannter, wiederkehrender Problemstellungen zurückgreifen, um eben diesen auf etablierte Art und Weise vorzubeugen und Nutzer*innen eine funktionale Lösung anzubieten. Ein möglicher Weg dabei ist die Formulierung von Design Patterns und Design Guidelines für AR-Anwendungen.

1.1 Ziel der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit werden bestehende Design Patterns für die Ausgestaltung von AR-Anwendungen zusammengetragen, um diese innerhalb einer Sammlung als Arbeitsgrundlage für Designer*innen und Entwickler*innen zugänglich zu machen. Um bestehende Design Patterns zusammenzutragen wird ein systematisches Literaturreview durchgeführt. Dieses soll die beiden Recherchefragen RF1 und RF2 beantworten. Die daraus resultierende Design Pattern Sammlung wird im Anschluss mit (grauer) Literatur und/oder bekannten Beispielen ergänzt, um die Patterns mit Anwendungsbeispielen und Best Practices anzureichern. Zuletzt wird die Forschungsfrage FF1 behandelt. Die Recherche- und Forschungsfragen sind in Tabelle 1 gelistet.

Tabelle 1. Fragestellungen.

ID	Frage
RF1	Was sind gängige Design Patterns beim Design von AR-Anwendungen?
RF2	Welche Guidelines bestehen für diese Design Patterns?
FF1	Lässt sich aus diesen Design Pattern Guidelines ein Design System für AR-Anwendungen ableiten?

1.2 Strukturierung der Arbeit

Nachfolgend wird in Kapitel 2 die Anwendung der verwendeten Forschungsmethode, dem systematischen Literaturreview, erläutert und durchgeführt. Darauf folgend werden in Kapitel 3 die thematischen Grundlagen beleuchtet. Zunächst wird der Kontext von AR erläutert und anschließend der Begriff Design Patterns, für die Anwendung innerhalb der vorliegenden Arbeit, sowie der Begriff der Design Systeme abgesteckt. Kapitel 4 beschäftigt sich mit den Ergebnissen des Literaturreviews, welche in Kapitel 5 anschließend zu einer Sammlung geeigneter Design Patterns ausgearbeitet werden. Abschließend folgt in Kapitel 6 eine Diskussion der Ergebnisse, sowie ein Fazit, indem sowohl die Recherche- als auch die Forschungsfrage abschließend beantwortet werden sollen.

2 Methodik

Im Folgenden wird ein systematisches Literaturreview als Forschungs-, bzw. Recherchemethode angewandt. Mithilfe eines solchen wird all die zugängliche Literatur innerhalb einer Arbeit zusammengetragen und analysiert, um die Forschungsfragen zu beantworten. Dadurch, dass diese Methode einer definierten Suchstrategie folgt, soll abschließend nachvollziehbar sein, dass die durchgeführte Recherche sowohl lückenlos als auch überprüfbar bleibt. Das Vorgehen orientiert sich an der Methode von Kitchenham [14].

Zuallererst wurden, wie in Kapitel 1.1 beschrieben die Recherchefragen RF1 und RF2 definiert. Vor allem RF1 soll mithilfe des Reviews abgedeckt werden. Ob es also gängige Design Patterns für das Design von AR-Anwendungen gibt und welche dies sind, ob darüber in der wissenschaftlichen Literatur zum aktuellen Zeitpunkt Konsens besteht und ob Verallgemeinerungen, bzw. Zusammenführungen solcher Design Patterns möglich sind, wird mithilfe des Reviews geklärt. Um ein möglichst breites Suchfeld abzude-

State of the art: Design Patterns für Augmented Reality Anwendungen

cken, wurden mehrere wissenschaftliche Datenbanken für die Recherche mit einbezogen. Hierbei handelt es sich um Datenbanken, die frei verfügbar sind oder zu denen mit einem Zugang der Hochschule Reutlingen Zugriff besteht. Verwendet wurden hierfür *Springer-Link*¹, *IEEE Xplore*², *ACM Digital Library*³ und *Web Of Science*⁴ sowie ergänzende Suchanfragen in *Google Scholar*⁵. Innerhalb der genannten Datenbanken wurde in einem ersten Schritt mithilfe der in Tabelle 2 definierten Suchterme (ST) allgemein gesucht.

Tabelle 2. Angewandte Suchterme.

ID	Suchterm
ST1	("design pattern" OR "design principle" OR "design guideline") AND ("augmented reality" OR "ar")
ST2	("interaction pattern" OR "interaction principle" OR "interaction guideline") AND ("augmented reality" OR "ar")

Neben ST1, der sich aus den Begriffen definiert, wie sie auch in der RF1 formuliert sind, wird außerdem ST2 angesetzt, um durch die Suche auf Guidelines, Patterns oder Prinzipien zu stoßen, die Human Computer Interaction (HCI) in AR-Anwendungen behandeln. In zwei darauffolgenden Schritten wurde die Suche verfeinert, um den Anforderungen an die Beantwortung von RF1 gerecht zu werden. So wurden Ausschlusskriterien (AK), gelistet in Tabelle 3, und Einschlusskriterien (EK), gelistet in Tabelle 4, definiert, mit deren Hilfe spezifiziert werden konnte.

Tabelle 3. Ausschlusskriterien.

ID	Ausschlusskriterium
AK1	Literatur, die in Datenbanken doppelt vorkommt
AK2	Literatur, die nicht dem ST1 oder ST2 im Titel der Arbeit entsprechen

Im zweiten Suchschritt wurde zuerst AK2 angewandt. Nachdem im ersten Schritt offensichtlich wurde, dass die Datenbanken vielfach Ergebnisse anzeigen, die sich entweder mit dem Thema Design, bzw. Interaction Patterns/Principles/Guidelines oder AR beschäftigen – und nicht mit beidem zugleich – wurde die Suche darauf eingeschränkt, dass nur Literatur gefunden werden sollte, die beide Teilsuchterme von ST1 und ST2 in ihrem Titel tragen. So soll sichergestellt sein, dass die Literatur auch tatsächlich auf das zu behandelnde Thema bezogen ist und nicht nur auf einen der beiden Bereiche, bei denen es sich, jeder für sich betrachtet, um sehr breit gefächerte Themenbereiche handelt. AK1 wurde erst nach Abgleich der verbleibenden Ergebnisse im dritten und letzten Schritt angewandt. Für diesen wurden ebenfalls die folgenden Einschlusskriterien auf die Suchanfrage mit einbezogen.

Tabelle 4. Einschlusskriterien.

ID	Einschlusskriterium
EK1	Literatur der letzten 7 Jahre, zwischen 2017 und 2023
EK2	Literatur, die öffentlich oder durch einen Zugang der Hochschule Reutlingen zugänglich ist
EK3	Literatur, die zur Beantwortung der Recherche- und Forschungsfragen beiträgt
EK4	Inhalt muss ein Forschungsartikel oder Review sein

Sämtliche gelisteten Einschlusskriterien wurden für den dritten und letzten Suchschritt mit in die Suchanfragen einbezogen. EK1 wurde mit aufgenommen, da sich die vorliegende Arbeit auf den *State of the art* beziehen soll; also einen aktuellen Stand der Forschung. Obwohl AR bereits seit einigen Jahren in der Literatur behandelt wird, soll so trotzdem auf moderne und neue Ergebnisse zugegriffen werden, die innerhalb der

¹ <https://link.springer.com/> (Letzter Zugriff: 17.04.2023)

² <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp> (Letzter Zugriff: 17.04.2023)

³ <https://dl.acm.org/> (Letzter Zugriff: 17.04.2023)

⁴ <https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search> (Letzter Zugriff: 17.04.2023)

⁵ <https://scholar.google.de/> (Letzter Zugriff: 17.04.2023)

Tabelle 5. Ergebnisse des systematischen Literaturreviews

Schritt	Eingabe	Anzahl der Suchergebnisse				
		Springer Link	IEEE Xplore	ACM Library	Web Of Science	Gesamt
1	ST1	3062*	1726	702	87	5577
	ST2	2653 *	487	112	15	3267
2	ST1 & AK2	N/A**	8	7	29	44
	ST2 & AK2	N/A**	5	15	9	29
3	ST1 & alle AK & alle EK	-	3	0	8	11
	ST2 & alle AK & alle EK	-	1	4	0	5

* Ergebnisse bereits vorgefiltert auf "Conference Paper"

** Datenbank besitzt unzureichende Möglichkeiten gesamten ST1 und ST2 auf den Titel der zu durchsuchenden Werke zu beziehen, also AK2 zu erfüllen – liefert also keine verwendbaren Ergebnisse. Relevante Artikel aus der Springer Link Datenbank konnten dennoch über das Web Of Science gefunden und aufgenommen werden. AK1 bleibt also berücksichtigt und keine relevanten Werke der Springer Link Datenbank bleiben unbeachtet.

letzten sieben Jahre publiziert wurden. EK2 ist vor allem gelistet, um die Transparenz für die vorliegende Arbeit zu gewährleisten. Neben öffentlich zugänglichen Werken stehen auch jene für das Review zur Verfügung, welche mithilfe eines Zugangs der Hochschule Reutlingen einsehbar sind. EK3 und EK4 wurden überprüft, indem die jeweiligen Abstracts vorliegenden Suchergebnisse geprüft wurden. Hier wurde abgeglichen, ob der Inhalt des Werks zur Beantwortung der Recherche- und Forschungsfragen beiträgt und ob es sich um einen Forschungs-, bzw. Review-Artikel handelt. Die beschriebenen Suchschritte sind in Tabelle 5 gelistet.

3 Grundlagen

Beim Entwurf von Anwendungen, insbesondere der Ausgestaltung der Möglichkeiten wie Anwender*innen dabei mit ihnen interagieren sollen, also der Form der HCI, ist es als Designer*in und Entwickler*in oft hilfreich einem allgemeingültigen und praktisch anwendbaren Katalog von Guidelines zu folgen, der dabei unterstützt gegebene Problemstellungen auf die richtige Art und Weise zu lösen. Diese Design Guidelines können, sinnvoll eingesetzt, wiederkehrende Problemstellungen zielführend lösen. Wie auch für alle anderen Anwendungen, lässt sich

dieses Prinzip auch für AR-Anwendungen übertragen.

3.1 Augmented Reality

Auf dem Kontinuum zwischen Realität und Virtualität tendiert AR in die Richtung der Realität. Mit AR bezeichnet man die Anreicherung realer Umgebungen um virtuelle Informationen, die durch unterschiedliche Typen von Hardware und durch unterschiedliche mediale Inhalte geschehen kann. Die augmentierten Informationen können dabei in zwei- oder dreidimensionaler Form vorliegen [15]. Mittlerweile bestehen bereits etablierte Frameworks zur Implementierung von AR-Anwendungen, wie beispielsweise das ARKit⁶ von Apple oder auch Microsofts Mixed Reality Angebote⁷. Einsatzgebiete der Technologie sind breit aufgestellt. Allein die Ergebnisse des vorliegenden Literaturreviews sammeln Einsätze von AR-Anwendungen im Tourismus [19], als Lernanwendung, bzw. Lernspiele [9, 18], oder auch zur Interaktion mit Robotern [13]. Dabei bestehen immer unterschiedliche technische und kreative Ansätze, wie genau AR eingesetzt werden kann. Drei der etabliertesten Anwendungsformen von AR sind (1) Mobile Augmented Reality (MAR), (2) via Head-

⁶ <https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/> (Letzter Zugriff: 23.03.2023)

⁷ <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/> (Letzter Zugriff: 23.03.2023)

Mounted Display (HMD) oder auch (3) via Head-up-Display (HUD).

1. Für **MAR** wird ein mobiles Endgerät, wie ein Smartphone oder ein Tablet verwendet, um unter Verwendung der integrierten Kamera oder Sensoren die reale Umgebung aufzunehmen und diese auf dem Bildschirm darzustellen. Virtuelle Inhalte, bzw. Informationen werden anschließend beispielsweise kontextabhängig zur aufgenommenen Umgebung direkt im Kamerabild eingeblendet. [7]
2. Für **AR via HMD** werden „AR-Brillen“ (ugs.), also HMD verwendet, wie beispielsweise Microsofts HoloLens⁸, die Anwender*innen auf dem Kopf tragen. Sie besitzen ebenfalls meist Kameras und Sensoren zur Aufnahme der Umwelt, spielen virtuelle Informationen, die augmentiert werden, jedoch direkt vor den Augen der Träger auf meist transparenten Displays aus. [11]
3. Für **AR via HUD**, werden augmentierte Informationen auf ein bestehendes Sichtfeld projiziert, wie beispielsweise ein sich in der Windschutzscheibe eines Fahrzeugs reflektierendes Displays, welches Navigationsanweisungen im realen Fahrtkontext der Straße einblendet. [2]

Für die verschiedenen Anwendungsformen von AR bestehen auch unterschiedliche Möglichkeiten und Einschränkungen für Anwender*innen bspw. mit ihrer Umwelt oder dem Interface zu interagieren. Durch diese Vielseitigkeit entstehen für das Design von AR-Anwendungen besondere Herausforderungen, für deren Bewältigung es hilfreich und sinnvoll sein kann, diese zu generalisieren und Handlungsempfehlungen auszusprechen. [15]

3.2 Design Patterns

Im Kontext der vorliegenden Arbeit beschreiben Design Patterns wiederkehrende Problemstellungen bei der Erstellung und Ausgestaltung (kurz: Design) für AR-Anwendungen (v. a. bzgl. der HCI), für die wiederkehrende (Gestaltungs-) Lösungen, bzw. Lösungsvorschläge (kurz: Design Guidelines) formuliert werden können, die durch etablierte Best Practices oder durch bestehende Studien validiert werden können. Die Formulierung der Design Patterns folgt dabei dem Vorbild von Gamma, Johnson et al. [10] und besteht jeweils aus:

- **Namen.** Dieser sollte beschreibend und von mehreren Systemen verwendet sein.
- **Ziel.** Die angestrebte Verwendung des Patterns.
- **Motivation.** Der Grund für die Erstellung des Patterns.
- **Beschreibung.** Eine informelle Erklärung von Aufgaben und Struktur des Patterns.
- **Usability.** Die Einsatzmöglichkeiten des Patterns.
- **Konsequenzen.** Die Vor- und Nachteile des Patterns.
- **Kollaborationen.** Andere Patterns, die mit dem Beschriebenen kombiniert werden können.
- **Bekannte Verwendung.** Bestehende Projekte und Systeme, die das Pattern verwenden. [10]

Die im Folgekapitel erläuterten Reviewergebnisse formulieren bereits selbst in einigen Fällen in ähnlichen Schemata Design Patterns. Der Konsens ist dabei jedoch die Patterns knapper zu formulieren. Um die Ergebnisse in Kapitel 5 zu einem Design Pattern Katalog auszuformulieren und dabei deckungsgleich dem Konsens der Ergebniswerke zu folgen, wird auf den Punkt *Motivation* verzichtet; dieser erklärt sich anhand des

⁸ https://learn.microsoft.com/en-us/holo-lens/?WT.mc_id=mixedreality_product (Letzter Zugriff: 23.03.2023)

Ziels und der Beschreibung von selbst. Außerdem wird der Punkt *Usability* nicht mit aufgenommen. Da die Sammlung zwischen verschiedenen Abstraktionsgraden der Patterns unterscheidet, ist es entweder nicht möglich genau zu formulieren, wie die Einsatzmöglichkeiten im Einzelnen aussehen (High-Level-Patterns), oder es ist durch die übrigen Punkte bereits ausreichend erklärt (Low-Level-Patterns).

3.3 Design Systeme

Die Anwendung von Design Systemen kann immer dann sinnvoll sein, wenn Anwendungen replizierbar und skalierbar sein sollen, komplexe Probleme beim Design im Fokus stehen sollen, anstatt das Design selbst als Problemstellung zu betrachten, um für ein einheitliches Verständnis zwischen Stakeholdern zu sorgen und auch um visuelle Konsistenz zu gewährleisten.⁹ Design Systeme beschreiben dabei laut Fessenden⁹ zunächst eine Sammlung an formulierten Standards zur Verwaltung von Design in skalierbaren Maßstäben, indem Redundanzen beseitigt werden und gleichzeitig eine gemeinsame Sprache und visuelle Konsistenz über verschiedene Kanäle hinweg etabliert wird.⁹ Design Systeme auch im Kontext von AR-Anwendungen einzusetzen, scheint daher also sinnvoll, wenn auch schwierig umzusetzen, aufgrund der Vielseitigkeit von AR. Ob und inwieweit sich Design Systeme aus der Design Patterns Sammlung der vorliegenden Arbeit ableiten lassen, wird durch die Beantwortung der FF1 im abschließenden Kapitel geklärt.

4 Ergebnisse des Literatur-reviews

Innerhalb dieses Kapitels werden die wichtigsten Werke des systematischen Literatur-reviews aufgearbeitet. Dafür wird die Literatur jeweils kurz zusammengefasst. Alle Kurzzusammenfassungen inklusive kurzer

Einordnungen der weiteren Werke sind online¹⁰ abrufbar. In Tabelle 7 des Appendix sind alle Ergebnisse außerdem nach Kontext und Art der Erkenntnisse aufgeführt, um ihre Diversität hervorzuheben.

Emmerich, Klemke et al. [9] stellen in ihrer Arbeit ein Design Pattern basiertes Framework für AR-Lernspiele auf, um für eine gemeinsame Verständnisgrundlage innerhalb des Fachgebiets zu sorgen und wiederkehrenden Problemstellungen mit Handlungsempfehlungen vorzubeugen. Entstanden ist ihre Liste an Patterns anhand bestehender Literatur, Tests bestehender AR-Spiele und einer Brainstormingsession mit der Projektgruppe des WEKIT Projekts, aus dessen Umfeld die Arbeit erschien. Zwar muss das vorgestellte Proof of Concept (PoC) weiterführend validiert werden, die dargestellten Design Patterns lassen sich aber bereits auch außerhalb der Domäne Lernspiele gut für die vorliegende Arbeit verwenden. [9]

Koch, Ableitner et al. [16] sammeln als einzige Arbeit der zusammengetragenen Ergebnisse Design Guidelines für das barrierefreie Ausgestalten von AR-Anwendungen. Insgesamt tragen sie über 40 praktisch formulierte Guidelines vierer übergeordneter Kategorien aus mehreren bestehenden Standards zusammen, wie beispielsweise, dass der Kontrast von Forder- und Hintergrundfarbe mindestens 4.5:1 betragen sollte, um die visuelle Wahrnehmbarkeit zu gewährleisten. Für die Design Pattern Sammlung sind diese Guidelines von wichtiger Bedeutung. [16]

Börsting, Karabulut et al. [4] ergänzen in dieser weiterführenden Arbeit ihre Design Pattern Sammlung, die bereits zuvor in [3] anhand von *ScribbleAR* durch Nutzertests validiert wurde. Dazu wird weitere Literatur eingebunden und die Design Patterns neu kategorisiert. Die Autoren stellen damit ein holistisches Design Pattern Konzept für AR-Anwendungen auf, das auf einem hohen

⁹ <https://www.nngroup.com/articles/design-systems-101/>
(Letzter Zugriff: 27.03.23)

¹⁰ Kurzzusammenfassung der Review-Ergebnisse:
<http://bit.ly/3TTirXL>

Abstraktionsniveau allgemein in AR genutzt werden kann. Dieses testen und validieren sie durch A/B-Nutzertest ihres Prototypen *colAR*. [4]

Für den Kontext der vorliegenden Arbeit ist das Design Pattern Modell aus [4] von zentraler Bedeutung, da es durch eine Vielzahl bestehender Literatur zusammengetragen und auch bereits validiert ist. Auch weil die Autoren in diesem Werk ihre zuvor bestehende Arbeit spezifiziert haben, sind die hier formulierten Erkenntnisse als am relevantesten zu betrachten. Sie sollen daher als Ausgangspunkt für die im folgenden Kapitel stattfindende Sammlung dienen und gegebenenfalls um wichtige Inhalte aus den anderen Werken ergänzt werden.

5 Design Pattern Sammlung

Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, werden nun die Design Patterns aus den Literaturreviewergebnissen gesammelt und, um RF2 zu beantworten, jeweils mit Design Guidelines angereichert.

5.1 Synthese der Ergebnisse

Wie Tabelle 6 zu entnehmen ist, decken sich die in der Literatur festgehaltenen Design Patterns gut mit dem in [4] definierten Rahmenwerk. Einige Patterns konnten durch die Erkenntnisse mehrerer Werke validiert werden, während andere bereits im Ausgangswerk ausreichend begründet sind [4]. Die Zuordnung bezieht sich dabei auf die inhaltliche Aussage der jeweiligen Erkenntnis des Werks, auch wenn die genaue Formulierung oftmals unterschiedlich ist. Zwar wird sich in [4] auf allgemeingültige Design Patterns für MAR bezogen, jedoch konnten diese durch vielerlei Erkenntnisse aus Werken unterschiedlicher AR-Einsatzgebiete belegt werden. Die Sammlung kann also als allgemein gültig für alle Formen von AR-Anwendungen betrachtet werden.

Die Kategorisierung in (1) *Design*, (2) *Interaktion*, (3) *Information*, (4) *Support* und (5) *Kognition* ist anhand der Bestätigung durch die weiteren Reviewergebnisse, als angewend-

Tabelle 6. Design Pattern Sammlung.

ID	Name	Referenzen
1. Design		
1.1	Ästhetisches & Minimalistisches Design	[4, 5, 20]
1.2	Semantische Entsprechung	[4, 6, 8, 18, 19, 20]
1.3	Welten-Übereinstimmung	[4, 13, 17, 18, 20]
2. Interaktion		
2.1	Feedback	[4, 5, 8, 12, 18, 20]
2.2	Körperliche Anstrengung reduzieren	[4, 8, 18]
2.3	Benutzer-Kontrolle	[4, 6, 13, 18, 21, 22]
3. Information		
3.1	Zugänglichkeit	[1, 4, 6]
3.2	Multimodalität	[4, 12, 17]
3.3	Sichtbarkeit	[4, 6, 8, 12, 20, 22]
3.4	Konsistenz	[4, 22]
4. Support		
4.1	Hilfe & Dokumentation	[4, 19]
4.2	Anpassung & Personalisierung	[4]
4.3	Fehlervermeidung & -management	[4, 18]
5. Kognition		
5.1	Erlernbarkeit & Lernfähigkeit	[1, 4, 5, 8, 19, 22]
5.2	Kognitive Anforderungen reduzieren	[4, 5, 6, 19, 22]
6. Kollaboration		
6.1	Zusammenarbeit & Kommunikation fördern	[12, 18, 22]
6.2	Echtzeit-Wettbewerb	[18]
6.3	Soziale Interaktion	[18]

bar und sinnvoll zu erachten und daher beibehalten worden. Ergänzt werden konnte die Kategorie (6) *Kollaboration*. Diese findet allgemeingültig Anwendung, sobald der Anwendungsfall der zugrundeliegenden AR-Anwendung auf die Verwendung durch mehrere Anwender*innen abzielt. Die darunterfallenden Design Patterns konnten auch durch die Reviewergebnisse validiert werden.

5.2 Beschreibung

Die gesammelten Patterns werden im Folgenden entlang ihrer Kategorien und anhand der in Tabelle 6 gelisteten, zugrundeliegenden Referenzen kurz umrissen. Die ausformulierten Design Patterns, entlang des in Kapitel 3.2 beschriebenen Schemas sind online¹¹ abrufbar.

Design. Innerhalb der Kategorie *Design* wird sich vor allem mit den grundlegenden Gegebenheiten der AR-Anwendung auseinandergesetzt. Neben *Ästhetisches & Minimalistisches Design*, in dem beschrieben wird, dass AR-Ansichten reduziert ausgestaltet werden sollten, um Struktur zu bewahren und Durcheinander vorzubeugen [4, 5, 20], wird in den Patterns *Semantische Entsprechung* und *Welten-Übereinstimmung* vor allem auf die harmonische Koexistenz von realer Welt mit augmentierten Inhalten aufmerksam gemacht. *Semantische Entsprechung* beschreibt dabei, dass virtuelle Objekte ihrer realen Funktion entsprechen sollen [4, 6, 8, 18, 19, 20], während *Welten-Übereinstimmung* das gegenseitige aufeinander Abstimmen von Realität und Virtualität behandelt [4, 13, 17, 18, 20].

Interaktion. Die Kategorie *Interaktion* umfasst Patterns, die sich hauptsächlich auf die HCI zwischen Anwender*in und AR-Anwendung beziehen. *Feedback* beschreibt dabei sämtliche Reaktionen der Anwendung, die Nutzer*innen Informationen über den Systemzustand gewährt – ob Feedback als Reaktion auf Interaktion oder auch als Feedback über sensorische Aktivitäten. Bei Interaktionen sollten innerhalb AR-Anwendungen immer Anstrengungen durch Anwender*innen vermieden werden [4, 5, 8, 12, 18, 20]. Das Pattern *Körperliche Anstrengung reduzieren* beschreibt darüber hinaus auch, dass beim Design der Interaktionen auf mögliche Einschränkungen der Anwenderschaft geachtet werden sollte [4, 8, 18]. *Benutzer-*

Kontrolle beschreibt, dass Anwendungen Nutzer*innen befähigen sollten, alle notwendigen Aktionen durchführen zu können – unabhängig von der gewählten Interaktionsform [4, 6, 13, 18, 21, 22].

Information. *Zugänglichkeit, Multimodalität, Sichtbarkeit* und *Konsistenz* sind Design Patterns, die sich mit der Präsentation und der Verwendbarkeit von *Informationen* beschäftigen. Ersteres beschreibt dabei, dass bereitgestellte augmentierte Inhalte zugänglich sein sollten [1, 4, 6]. Im Werk [16] findet sich hierfür ein gesamter Katalog mit Design Guidelines für die Accessibility von AR-Anwendungen. Dieser ist auch in der online Sammlung¹¹ hinterlegt. *Multimodalität* empfiehlt, die Verwendung unterschiedlicher Interaktionsformen für Nutzer*innen um an Informationen innerhalb der Anwendung zu gelangen. Aber auch auf den Umgang mit vielen gleichzeitig zur Verfügung gestellten Informationen kann sich hierbei bezogen werden [4, 12, 17]. *Sichtbarkeit* beschreibt, dass Inhalte in AR-Anwendungen stets sichtbar und User Interface (UI)-Elemente nicht überladen oder überdeckt sein sollten [4, 6, 8, 12, 20, 22], während *Konsistenz* ausdrückt, dass vor allem innerhalb von UIs, aber auf hinsichtlich der Interaktionen auf eben jene geachtet werden sollte, um für einen höheren Wiedererkennungswert und eine leichtere Erlernbarkeit zu sorgen [4, 22].

Support. Innerhalb dieser Kategorie befassen sich die gelisteten Design Patterns mit der Fähigkeit der AR-Systeme Nutzer*innen im Umgang mit der Anwendung zu unterstützen. *Hilfe & Dokumentation* beschreibt, dass Anwendungen beispielsweise Erstanwender-Touren oder Hilfe-Menüs zur Verfügung stellen sollten, um Unterstützung zu bieten [4, 19]. In *Anpassung & Personalisierung* wird erklärt, dass Anwender*innen sich vor allem UI-Artefakte ihrer persönlichen Präferenz nach anpassen können sollten, um

¹¹ Sammlung der Design Patterns für AR-Anwendungen:
<http://bit.ly/3z9r07b>

die Handhabung zu erleichtern [4]. Außerdem sollten, wie alle Anwendungen, auch AR-Anwendungen *Fehlervermeidung & -management* betreiben, um Unterbrechungen oder ungewünschte Systemzustände zu vermeiden [4, 18].

Kognition. Wie die Anwendung von ihrer Nutzerschaft erlernt, wahrgenommen und bewältigt werden können soll, wird in den Design Patterns der Kategorie *Kognition* beschrieben. Eine sehr zentrale Rolle, gerade bei AR-Anwendungen spielt dabei *Kognitive Anforderungen reduzieren*. Keine Aufgaben oder Informationen sollten die Anwender*innen kognitiv überlasten. Dies muss jeweils auch auf die entsprechende Zielgruppe zugeschnitten sein [4, 5, 6, 19, 22]. Anwendungen sollten außerdem *Erlernbarkeit & Lernfähigkeit* auf möglichst intuitive Weise unterstützen [1, 4, 5, 8, 19, 22].

Kollaboration. Für kollaborative AR-Anwendungen spielt die Kategorie *Kollaboration* eine wichtige Rolle. Die enthaltenen Design Patterns beschreiben dies. *Zusammenarbeit & Kommunikation fördern* soll beispielsweise dazu beitragen, Informationen besser zu teilen und Anwender*innen befähigen gemeinsam Aufgaben zu bewältigen [12, 18, 22]. *Echtzeit-Wettbewerb* kann sinnvoll eingesetzt werden, um die Motivation zu steigern [18]. Wie die *Soziale Interaktion* gestaltet wird, ist dabei Anwendungsfallabhängig und könnte innerhalb von AR-Anwendungen beispielsweise von Angesicht zu Angesicht oder virtuell gestaltet werden [18].

5.3 Abstraktion

Die beschriebenen Design Patterns besitzen allesamt einen hohen Abstraktionsgrad. Das bedeutet, sie liefern zwar Handlungsempfehlungen für das Design von AR-Anwendungen und behandeln wiederkehrende Problemstellungen beim Prozess, jedoch auf einer allgemeinen Ebene. Sie empfehlen dabei kein exaktes Vorgehen, welches sich beispielsweise durch Pixelabstände oder Schriftgrößen messen ließe, oder anhand von UI-Anordnungen oder Interaktionsformen

für bestimmte Aufgaben vorgeschrieben sei. Der Abstraktionsgrad ist also *High-Level*. Die online Design Pattern Sammlung¹¹ listet neben den High-Level Patterns außerdem aber noch *Low-Level* Patterns, entnommen aus nur einem der Ergebniswerke nach [9]. Dieses befasst sich mit klarer formulierten Handlungsempfehlungen als Antwort auf wiederkehrende Problemstellungen. Auch die Low-Level Patterns konnten entlang der bestehenden Kategorien zugeordnet werden, besitzen jedoch zusätzlich eigene Subkategorisierungen, nämlich *Richtungsweisend, Umwelt, Eingabebezogen, Nicht-visuelles Feedback, Medienbezogen* und *Multi-User*. [9] In den dort eingeordneten Design Patterns wird beispielsweise der Umgang mit *Gestenbasierter Interaktion* oder der *Anpassung an die Umwelt* genauer beschrieben. Diese Low-Level Patterns können als Sub-Patterns den bestehenden High-Level Patterns untergeordnet werden und sind online¹¹ entsprechend verlinkt. Für deren Aussagekraft ist jedoch zu erwähnen, dass während die Sammlung der High-Level Patterns durch die Reviewergebnisse validiert werden konnte, entstammen die Low-Level Patterns einem einzelnen Werk, in dem sich speziell auf AR-Spiele bezogen wird. Der Vollständigkeit wegen, alle Reviewergebnisse abzubilden und da sie als Sub-Patterns zugeordnet werden konnten, aber auch weil sie allgemein genug formuliert sind, um für verschiedene AR-Einsatzgebiete zu gelten, sind diese ebenfalls in die Sammlung aufgenommen worden. Als relevantes und belastbares Ergebnis ist jedoch die online Sammlung¹¹ der High-Level Patterns zu betrachten.

5.4 Online-Sammlung

Die vollständige Design Pattern Sammlung aller High- und Low-Level Patterns als Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist online¹¹ abrufbar. Abbildung 1 des Appendix zeigt außerdem eine Bildschirmaufnahme der Einstiegsseite. Auf dieser lässt sich zwischen einer Galerie oder einer Liste aller Patterns unterscheiden, suchen und filtern. Die Design

Patterns haben jeweils ihre eigene Seite, auf der sie entsprechend des in Kapitel 3.2 beschriebenen Schemas beschrieben sind. Für die High-Level Patterns finden sich hier außerdem Design Guidelines und Best Practices, bzw. Beispiele zur Umsetzung. Die Low-Level Patterns beschreiben für sich bereits ausreichend die empfohlene Umsetzung und haben daher keine Beispiele.

6 Diskussion und Fazit

Die online Sammlung bildet einen umfassenden Konsens über allgemein gültige High-Level Design Patterns und spezifischere Low-Level Design Patterns für AR-Anwendungen aller Arten ab. RF1, mit der Frage, welches gängige Design Patterns beim Design von AR-Anwendungen sind, ist dadurch also umfassend beantwortet. RF2, mit der Frage, welche Design Guidelines für die jeweiligen Patterns bestehen, ist ebenfalls beleuchtet. In der online Sammlung¹¹ sind die aus den Reviewergebnissen stammenden oder durch Beispiele ergänzten Design Guidelines jeweils unter dem Punkt *Bekannte Verwendung/Design Guidelines* beschrieben. Die Sammlung bietet dadurch einen Praxisbezug und kann direkt als Rahmenwerk von Designer*innen und Entwickler*innen für die Gestaltung von AR-Anwendungen dienen. Da die Patterns in verschiedenen Studien bereits validiert werden konnten, lassen sich auch Designentscheidungen dadurch fundiert begründen. Um FF1, mit der Fragestellung, ob sich aus den bestehenden Design Patterns ein Design System für AR-Anwendungen ableiten lässt, zu beantworten, ist es vorab notwendig ausreichend Guidelines zu sammeln. Die belastbaren Ergebnisse, also die High-Level Design Patterns sind aufgrund ihres Abstraktionsgrades zu allgemein gültig, um ein anwendbares Design System aufzubauen. Durch die Formulierung eines strikteren Guideline-Katalogs, durch den alle High-Level Patterns abgedeckt würden, könnten Low-Level Patterns für AR-Anwendungen aufgestellt wer-

den. Anhand derer wäre es möglich ein allgemein anwendbares Design System aufzubauen. Die bereits in Kapitel 3.3 beschriebenen Vorteile eines solchen, sind auch für den Einsatz in AR-Systemen weitreichend. Es ist also sinnvoll sich dem zu widmen. Neben dem Aufbau eines Design Systems lässt sich aus der vorliegenden Arbeit außerdem noch ein weiterer Gegenstand zukünftiger Arbeiten ableiten. Die Sammlung beruft sich auf den *State of the art*, also in diesem Falle Fachliteratur der letzten sieben Jahre. Außerdem standen entsprechend der EK für die systematische Literaturrecherche nur Werke zur Verfügung, die durch einen Zugang der Hochschule Reutlingen abrufbar sind. Um die Ergebnisse weiter auszubauen, würde es sich anbieten sowohl den Zeitraum als auch die Datenbasis zu erweitern. Obwohl auch das aktuelle Ergebnis als anwendbar und belastbar anzusehen ist, würden die Erkenntnisse somit noch weitere Tragfähigkeit erlangen. Außerdem ist es angebracht, die geschaffene Arbeitsgrundlage in der Praxis anzuwenden, um sie im Anschluss durch Nutzertests beispielsweise auf die Auswirkung hinsichtlich der Usability zu untersuchen. Obwohl die Werke, aus denen sich die Sammlung ergibt, selbst ihre Ergebnisse durch Studien validiert haben, sollte in jedem Fall die Gültigkeit der Design Pattern Sammlung, wie sie abschließend vorliegt validiert werden. Grundsätzlich unterscheiden sich – gerade die High-Level Design Patterns für AR-Anwendungen – nicht bemerkenswert von wiederkehrenden Problemstellungen, die es auch im Kontext herkömmlicher digitaler Systeme zu bewältigen gilt. Die Technologie besitzt dennoch Besonderheiten, die sich vor Allem aus der Vermischung von Realität und Virtualität ergeben. Um sich diesen Besonderheiten zu widmen und dadurch Nutzer*innen hilfreiche und zufriedenstellende Anwendungen zur Verfügung stellen zu können, die sie dabei unterstützen, ihr Ziel zu erreichen, ist die vorliegende Sammlung ein viables und anwendbares Ergebnis.

Referenzen

- [1] Pietro Battistoni, Marianna Di Gregorio, Marco Romano, Monica Sebbillo, Giuliana Vitiello, and Alessandro Brancaccio. 2022. Interaction Design Patterns for Augmented Reality Fitting Rooms. *Sensors (Basel, Switzerland)* 22, 3. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22030982>.
- [2] Adam Bolton, Gary Burnett, and David R. Large. 2015. An investigation of augmented reality presentations of landmark-based navigation using a head-up display. In *AutomotiveUI '15: Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, Gary Burnett, Ed. ACM Digital Library. ACM, New York, NY, 56–63. DOI: <https://doi.org/10.1145/2799250.2799253>.
- [3] Ingo Börsting, Bastian Fischer, and Volker Gruhn. 2021. AR Scribble: Evaluating Design Patterns for Augmented Reality User Interfaces. In *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics. AVR 2021. Lecture Notes in Computer Science*, 12980. Springer, Cham, 169–177. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-87595-4_13.
- [4] Ingo Börsting, Can Karabulut, Bastian Fischer, and Volker Gruhn. 2022. Design Patterns for Mobile Augmented Reality User Interfaces—An Incremental Review. *Information* 13, 4, 159. DOI: <https://doi.org/10.3390/info13040159>.
- [5] Nan Chao, Shengge Yang, Yuxian Qin, Zeming Song, Zhaofan Su, and Xiaomei Nie. 2021. AR-Poetry: Enhancing Children’s Motivation in Learning Classical Chinese Poetry via Interactive Augmented Reality. In *Chinese CHI 2021: The Ninth International Symposium of Chinese CHI*. ACM Digital Library. Association for Computing Machinery, New York, NY, United States, 162–166. DOI: <https://doi.org/10.1145/3490355.3490518>.
- [6] Oluwadunsin Dabor, Edward Longford, and Stuart Walker. 2019. Design Guidelines for Augmented Reality User Interface: A Case Study of Simultaneous Interpretation. In *2019 11th Computer Science and Electronic Engineering (CEECE)*, 164–166. DOI: <https://doi.org/10.1109/CEECE47804.2019.8974331>.
- [7] Marco de Sá and Elizabeth Churchill. 09212012. Mobile augmented reality. In *Proceedings of the 14th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*. ACM, New York, NY, USA, 221–230. DOI: <https://doi.org/10.1145/2371574.2371608>.
- [8] Afshan Ejaz, Syed, Muhammad Yasir, and Farhan. 2019. Graphic User Interface Design Principles for Designing Augmented Reality Applications. *ijacsa* 10, 2. DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100228>.
- [9] Felix Emmerich, Roland Klemke, and Thomas Hummes. 2017. Design Patterns for Augmented Reality Learning Games. In *Games and Learning Alliance. GALA 2017. Lecture Notes in Computer Science*, 10653. Springer, Cham, 161–172. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-71940-5_15.
- [10] Erich Gamma, Ralph Johnson, Richard Helm, Ralph E. Johnson, and John Vlissides. 1995. *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Pearson Deutschland GmbH.

- [11] Jacob T. Gibby, Samuel A. Swenson, Steve Cvetko, Raj Rao, and Ramin Javan. 2019. Head-mounted display augmented reality to guide pedicle screw placement utilizing computed tomography. *International journal of computer assisted radiology and surgery* 14, 3, 525–535. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11548-018-1814-7>.
- [12] Will Guest, Fridolin Wild, Daniele Di Mitri, Roland Klemke, Jaakko Karjalainen, and Kaj Helin. 2019. Architecture and Design Patterns for Distributed, Scalable Augmented Reality and Wearable Technology Systems. In *2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Education (TALE)*, 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1109/TALE48000.2019.9225855>.
- [13] Hiroki Kaimoto, Kyzyl Monteiro, Mehrad Faridan, Jiatong Li, Samin Farajian, Yasuaki Kakehi, Ken Nakagaki, and Ryo Suzuki. 2022. Sketched Reality: Sketching Bi-Directional Interactions Between Virtual and Physical Worlds with AR and Actuated Tangible UI. In *UIST '22: Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, Maneesh Agrawala, Ed. ACM Digital Library. Association for Computing Machinery, New York, NY, United States, 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1145/3526113.3545626>.
- [14] Kitchenham. 2007. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. *EBSE Technical Report EBSE-2007-01*.
- [15] Sang M. Ko, Won S. Chang, and Yong G. Ji. 2013. Usability Principles for Augmented Reality Applications in a Smartphone Environment. *International Journal of Human-Computer Interaction* 29, 8, 501–515. DOI: <https://doi.org/10.1080/10447318.2012.722466>.
- [16] Sebastian Koch, Tobias Ableitner, and Gottfried Zimmermann. 2022. Comparison of Guidelines for the Accessible Design of Augmented Reality Applications. In *Computers Helping People with Special Needs. ICCHP-AAATE. Lecture Notes in Computer Science*, 13342. Springer, Cham, 89–98. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-08645-8_11.
- [17] Wallace S. Lages and Doug A. Bowman. 2019. Walking with adaptive augmented reality workspaces: design and usage patterns. In *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces*. ACM Conferences. ACM, New York, NY, 356–366. DOI: <https://doi.org/10.1145/3301275.3302278>.
- [18] Jingya Li, Erik van der Spek, Jun Hu, and Loe Feijs. 2022. Extracting Design Guidelines for Augmented Reality Serious Games for Children. *IEEE Access* 10, 66660–66671. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3184775>.
- [19] Saidatul A. A. Shukri, Haslina Arshad, and Rimaniza Z. Abidin. 2017. The design guidelines of mobile augmented reality for tourism in Malaysia. In *AIP Conference Proceedings 1891*. AIP Conference Proceedings, 020026. Author(s), 20026. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5005359>.
- [20] Andreas Sonderegger, Delphine Ribes, Nicolas Henchoz, and Emily Groves. 2019. Food Talks: Visual

State of the art: Design Patterns für Augmented Reality Anwendungen

and Interaction Principles for Representing Environmental and Nutritional Food Information in Augmented Reality. In *2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Workshops (ISMARW)*. *ISMAR-Adjunct*, 98–103. DOI:

<https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct.2019.00040>.

- [21] Ryo Suzuki, Adnan Karim, Tian Xia, Hooman Hedayati, and Nicolai Marquardt. 2022. Augmented Reality and Robotics: A Survey and Taxonomy for AR-enhanced Human-Robot Interaction and Robotic Interfaces. In *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*,

Simone Barbosa, Ed. ACM Digital Library. Association for Computing Machinery, New York, NY, United States, 1–33. DOI:

<https://doi.org/10.1145/3491102.3517719>.

- [22] Hui Ye and Hongbo Fu. 2022. ProGesAR: Mobile AR Prototyping for Proxemic and Gestural Interactions with Real-world IoT Enhanced Spaces. In *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Simone Barbosa, Ed. ACM Digital Library. Association for Computing Machinery, New York, NY, United States, 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1145/3491102.3517689>.

Appendix

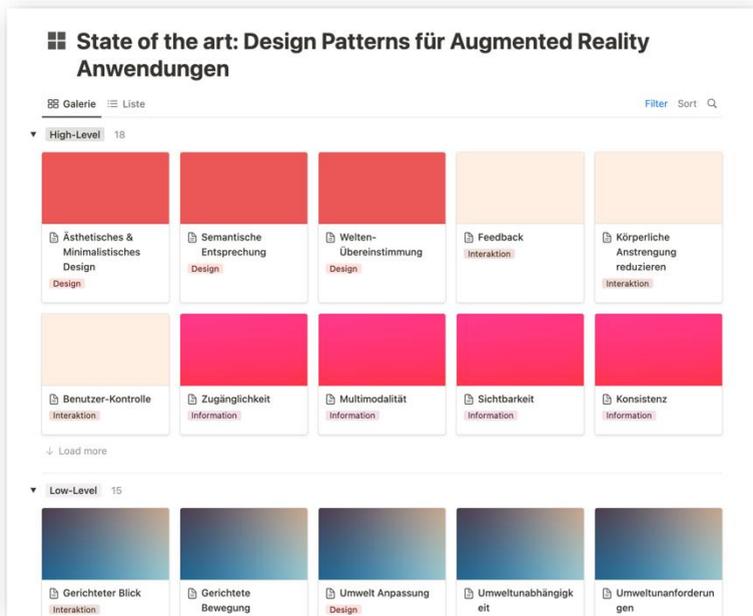


Abbildung 1. Screenshot: Sammlung der Design Patterns für AR-Anwendungen.

Tabelle 7. Liste der systematischen Literaturreviewergebnisse nach Kontext und Art.

Art der Erkenntnisse (Selbstbezeichnung)	Kontext	Art der Arbeit	Quelle
(GUI) Design Principles	GUI-Design-Principles für das Design von AR-Anwendungen	Review, Studie	[8]
Design Coniderations, Design Guidelines	AR-Lernanwendung für Kinder	Studie	[5]
Design Guidelines	Serious (AR-)Games für Kinder zu Lernzwecken	Studie	[18]
Design Guidelines	Design Guidelines für MAR für den Tourismus in Malaysia	Review	[19]
Design Guidelines	Guidelines für Accessible Design in AR-Anwendungen	Review	[16]
Design Learnings	AR-Darstellung von Umwelt- und Ernährungsinformationen auf Verpackungen	Studie	[20]
Design Patterns	Gesamtes, skalierbares, verteiltes AR- und Wearable-System	Studie	[12]
Design Patterns	Evaluation von Design Patterns für AR UIs anhand von <i>AR Scribble</i>	Studie	[3]
Design Patterns	Design Patterns für AR-Lernspiele	Review, Proof of Concept	[9]
Design Patterns	Design Patterns für MAR UIs	Review, Studie	[4]
Design Principle, Design Guidelines	Allgemein gültig für Interfaces von AR-Anwendungen	Review, Case Study	[6]
Findings	Mobile AR-Prototyping für proxemische und gestische Interaktionen mit IoT-erweiterten Räumen in der realen Welt	Studie	[22]
Interaction Design Patterns	Interaktions-Design Patterns für AR-Umkleideräume	Studie	[1]
Interaction design, techniques	Skizzieren von bidirektionalen Interaktionen zwischen virtuellen und physischen Welten mit AR und betätigbarer, greifbarer UI	Studie, Konzeptarbeit	[13]
Interaction modalities and techniques	System für HRI unter Verwendung von AR	Review/Survey	[21]
Interaction Patterns (der Anwender*innen)	AR-Anwendung in Büroumgebungen (Kollaborativ und mit Bewegung)	Studie	[17]



©2023 Philip Engler. Lizenznehmer Hochschule Reutlingen, Deutschland. Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel unter den Bedingungen und Konditionen der Creative Commons Attribution (CC BY)-Lizenz. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Untersuchung der Gültigkeit von Fitt's Law in AR mithilfe der HoloLens 2

Alex Pollok

Hochschule Reutlingen
Reutlingen, Deutschland

Alex.Pollok@Student.Reutlingen-University.de

Zusammenfassung

In diesem Artikel wird die Gültigkeit von Fitt's Law in Augmented Reality (AR) untersucht. Es wird eine systematische Literaturrecherche durchgeführt, um ähnliche Studien zu finden. Anschließend wird eine Testumgebung in AR aufgebaut, um die Interaktion mit Objekten zu messen. Mithilfe der Daten wird überprüft, inwieweit die Parameter in der 3D-Umgebung das Treffen des virtuellen Zieles beeinflussen. Zuletzt werden die Ergebnisse mit ähnlichen Studien verglichen und Best Practices für das Design von Umgebungen in AR ermittelt. Dabei wurde festgestellt, dass einzelne Parameter isoliert betrachtet werden müssen, da die vielen untersuchten Parameter zu einer großen Streuung der Daten führten.

CCS Concepts

• **Human-centered computing** → **User studies**; *User models*; *Pointing devices*; *HCI theory*, *concepts and models*.

Keywords

Human Computer Interaction, Augmented Reality, Fitt's Law, HoloLens 2

Betreuer/-in Hochschule

Gabriela Tullius, Prof. Dr. Rer. Nat.
Hochschule Reutlingen
Gabriela.Tullius@reutlingen-university.de

Informatics Inside Frühjahr 2023
03. Mai 2023, Hochschule Reutlingen
Copyright 2023 Alex Pollok

1 Einleitung

Augmented Reality (AR) Brillen wie die HoloLens 2 (HL2) befinden sich weltweit im Einsatz, um die Effizienz von Unternehmen zu steigern, beispielsweise können Reisen durch Remote Support ersetzt werden, um Kosten einzusparen. Weitere Bereiche sind Training und die Lehre, welche durch die HL2 verbessert werden können¹. Deshalb ist es wichtig, zu untersuchen, wie Nutzer mit der AR-3D-Umgebung und virtuellen Objekten interagieren. Mit dem Vergleich verschiedener Interaktionsmethoden kann die Entwicklung von Benutzeroberflächen in AR unterstützt werden. Fitt's Law ist eine Standardformel im Design von Benutzeroberflächen, welche es erlaubt vorherzusagen, wie gut ein Interaktions-Element erreichbar ist[7]. Es gibt jedoch nur wenige Studien, welche sich mit Fitt's Law in AR beschäftigen. Deshalb wird in dieser Arbeit untersucht, inwieweit Fitt's Law in AR gültig ist und wie die verschiedenen Umgebungsvariablen in AR das Verhalten von Fitt's Law beeinflussen. Dies führt zu folgenden Forschungsfragen:

FF1 Welche Studien wurden bereits zur Untersuchung von Fitt's Law in AR durchgeführt?

FF2 Wie kann Fitt's Law in AR modelliert werden?

FF3 Welchen Einfluss haben die Interaktionsmöglichkeiten der AR-Brille auf Fitt's Law?

FF4 Wie beeinflusst das Sichtfeld die Benutzung der AR-Brille?

¹<https://www.microsoft.com/de-de/hololens/27/03/2023>

2 Methodik

Zunächst wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt, dessen Ergebnisse in Kap. 3 dokumentiert sind. Für die Recherche wurden die Datenbanken IEEE², ScienceDirect³, Springer Link⁴ sowie die ACM Digital Library⁵ verwendet. Anschließend wird eine Testumgebung für die HL2 entwickelt, in welcher ein Fitt's Law Test durchgeführt wird. Zusätzlich wird ein Fitt's Law Test für PC und Tablet erstellt, damit ein Vergleich zwischen der normalen Nutzung mit einem PC oder Tablet und der Nutzung einer AR Applikation stattfinden kann. Die technische Entwicklung der Testumgebungen wird in Kap.4 dokumentiert. Zusätzlich zu den entwickelten Tests beantworten die Studienteilnehmer einen begleitenden Fragebogen. Der Entwurf der Studie ist in Kap. 5 dokumentiert. Im Anschluss findet die Beschreibung der Studienergebnisse in Kap. 6 statt. Hier wird untersucht, welche Modelle zum Abbilden der Bewegung geeignet sind, sowie der Einfluss von Faktoren wie das Sichtfeld der HL2. Zuletzt werden im Kap. 7 die Rückschlüsse aus den Daten auf die Entwicklung von Applikationen in AR diskutiert.

3 Literaturrecherche

Zur Beantwortung von **FF1** sowie **FF2** wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Die Ergebnisse für die FF sind in Unterkap. 3.2 dokumentiert. Die Suche wurde auf Ergebnisse nach 2015 eingeschränkt, da Anfang 2015 die HoloLens 1 angekündigt wurde⁶. Außerdem wurde die Suche auf wissenschaftliche Artikel, Bücher und Journals eingeschränkt.

²<https://ieeexplore.ieee.org/27/03/2023>

³<https://www.sciencedirect.com/27/03/2023>

⁴<https://link.springer.com/27/03/2023>

⁵<https://dl.acm.org/27/03/2023>

⁶<https://www.heise.de/newsticker/meldung/HoloLens-Augmented-Reality-Brille-fuer-Windows-10-2525390.html> 27/03/2023

3.1 Grundlagen

Fitt's Law ist ein Modell, welches die Bewegung von Menschen beim Auswählen eines Zieles vorhersagen kann. Dabei kann mithilfe von Distanz und Breite des Zieles die Zeit bestimmt werden, welche benötigt wird, um das Ziel zu treffen[3]. Obwohl es eine Reihe von Studien gibt, welche Fitt's Law auf die 3D-Umgebung erweitern wollen, gibt es keine standardisierten Metriken. Die Erweiterungen befassen sich oft nur mit einem Aspekt der 3D-Umgebung[2]. Fitt's Law besitzt eine Reihe von Erweiterungen, die bekanntesten sind die von Hoffmann, Welford und Shannon. Fitt's Law wurde für Verschiebungen konzipiert, kann aber auch für Rotationen angewendet werden[2]. Fitt's Law besagt, dass eine Bewegung umso länger dauert, je weiter und kleiner das Ziel ist. Die Zeit bis zum Treffen des Zieles (engl. movement time, MT) berechnet sich aus einem Schwierigkeitsindex (engl. index of difficulty, ID) und zwei Konstanten. Fitt's Law definiert den Leistungsindex einer Person (engl. index of performance, IP) als die durchschnittliche Informationsmenge, welche durch Bewegungen für jede Zeiteinheit generiert wird. Die Formeln für die Berechnung sind in Gl. 1, Gl. 2 und Gl. 3 notiert.

$$ID = \log_2\left(\frac{2D}{W}\right) \quad (1)$$

$$MT = a + b * ID \quad (2)$$

$$IP = \left(\frac{ID}{MT}\right) \quad (3)$$

MT ist die durchschnittliche Zeit, um eine Bewegung abzuschließen. a und b sind dabei Konstanten, welche von der Eingabemethode abhängig sind, und empirisch mit einer Regressionsanalyse ermittelt werden müssen. a wird dabei als Verzögerung interpretiert. b ist die Steigung und beschreibt die Beschleunigung der Bewegung. W ist die Breite des Ziels und D ist die Distanz bis zum Zentrum des Ziels[7]. Fitt's Law wurde auf mehrere Weisen angepasst. In Gl. 4 ist die Erweiterung von Hoffman notiert. Sie fügt die Größe

des Fingers der Benutzer hinzu. In Gl. 5 ist Welfords Variante zu sehen. Hier wurde die Multiplikation mal 2 entfernt und 0.5 hinzugefügt, um die Entfernung zu der Kante des Ziels miteinzubeziehen. Die Shannon Variante von MacKenzie, Gl. 6, ist sehr ähnlich zu Welfords und ist die beliebteste Variante von Fitt's Law[2].

$$MT = a + b * \log_2\left(\frac{2A}{W} + F\right) \quad (4)$$

$$MT = a + b * \log_2\left(\frac{A}{W} + 0.5\right) \quad (5)$$

$$MT = a + b * \log_2\left(\frac{A}{W} + 1\right) \quad (6)$$

3.2 Verwandte Arbeiten

Sumithra et al. [2022] beschäftigen sich mit der Anwendung von Fitt's Law in Mixed Reality (MR) Applikationen. Fitt's Law findet üblicherweise Anwendung bei grafischen Benutzeroberflächen von Desktop Computern. Diese Umgebung ist kaum von Ablenkungen oder Hindernissen beeinflusst. Bei MR sind die Nutzer jedoch frei beweglich und sehen neben der tatsächlichen Umgebung auch die Virtuelle. Sumithra et al. [2022] teilen dazu die Umgebung der Nutzer in drei Störkategorien auf. Die größte Störkategorie beschreibt eine Umgebung mit viel Bewegung und Geräuschen wie ein Einkaufszentrum. Die niedrigste Störkategorie ist ein leerer oder kaum leerer Raum. Da ein Nutzer je nach Umgebung anders mit den virtuellen Objekten interagiert, wird Fitt's Law um einen weiteren Faktor, Umgebungsstörung (engl. environment disturbance, ED) erweitert, in Gl. 7 notiert.

$$MT = a + b * ID + ED \quad (7)$$

ED besitzt keinen präzisen Wert und wird mit empirischen Studien ermittelt[7]. Murata und Iwase [2020][6] untersuchten Fitt's Law mit verschiedenen Winkeln zum Ziel. Ihre Erkenntnisse zeigten, dass ein sinusförmiger Zusammenhang zwischen der MT und den Winkeln vorliegt. Dazu wurde die Fitt's

Law Variante von MacKenzie um die Variable $\sin(\theta)$ erweitert und eine Konstante c welche durch Regression ermittelt werden muss. $\sin(\theta)$ ist dabei der Azimut-Winkel zum Ziel. Das Modell ist in Gl. 8 notiert[2].

$$MT = a + b * (\log_2\left(\frac{D}{W} + 1\right) + c * \sin(\theta)) \quad (8)$$

Batmaz et al. [2019] führten Fitt's Law Versuche durch, um die Auswirkungen des Stereo Effekts von Head-Mounted-Displays auf die Tiefenwahrnehmung in AR und VR zu bestimmen. Dazu wurden Testpersonen aufgefordert, Objekte in AR und VR mit einem Zeigegerät zu verfolgen. Die Ergebnisse zeigten, dass laterale Bewegungen deutlich schneller waren als Bewegungen in die Blickrichtung. Die Autoren erwarteten bessere Genauigkeit mit der AR-Brille, da die Testpersonen ihre Hände, Umgebung und Tracker sehen können. Jedoch war die Geschwindigkeit der Testpersonen in AR höher, sowie die Anzahl von kleinen korrigierenden Bewegungen[1]. Mifsud et al. [2022] untersuchten den Einfluss von Transparenz in AR mithilfe von Fitt's Law. Dabei wurden Touchpad, Raycast und eine Zeigegeste als Eingabemethoden verwendet. Der Vorteil von AR-Brillen ist, dass dem Nutzer Informationen direkt in der Umgebung angezeigt werden. Dabei kann die Umgebung verdeckt werden, oder es kann den Auswirkungen von grellem Licht mit einer Verringerung der Transparenz entgegengewirkt werden. Ziel der Studie ist es, die Balance zwischen Transparenz und der Verdeckung der Umgebung zu untersuchen. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen verschiedenen Transparenzstufen erkannt werden. Jedoch wies die Raycast Eingabemethode eine deutlich bessere Performance auf, als die Zeigegeste oder das Touchpad[5]. Jin et al. [2020] untersuchen Fitt's Law bei der Benutzung einer Smartphone basierten AR Applikation. Spezifisch wurde untersucht, wie der Winkel zum Ziel, welches sich außerhalb des sichtbaren Bereichs des Smartphones befindet, die MT

beeinflusst. Basierend auf Fitt's Law wurden folgende Variablen hinzugefügt. Zielbreite ω , Distanz zwischen Zielen als Winkel α und das Sichtfeld β . α erhöht die MT. β verringert den benötigten Winkel α damit das Ziel im Sichtfeld sichtbar wird. ω besitzt den gleichen Effekt. Es wird eine Variante von Fitt's Law entworfen, in Gl. 9 notiert, welche eine bessere Gültigkeit besitzt als die oben vorgestellten Variationen[4].

$$MT = a + b(u * \log_2(\frac{\alpha}{\beta} + 1) + (1 - u) \log_2(\frac{\beta}{\omega} + 1)) \quad (9)$$

Dabei sind a, b und u ($0 < u < 1$) Konstanten, welche empirisch bestimmt werden müssen. Dabei sollte u zuerst ermittelt und das Interface Design darauf basiert werden. Die Anwendbarkeit dieser Variante auf AR-Brillen ist unklar[4].

4 Entwicklung der Testumgebung

Für die Durchführung der Studie wird eine Testumgebung benötigt, in welcher die Studienteilnehmer mit der HL2 einen Fitt's Law Test mit verschiedenen Interaktionsmöglichkeiten und Szenarien durchführen können. Zusätzlich wird eine Vergleichstestumgebung für einen Desktop PC und Tablet entwickelt, damit die Leistung der Teilnehmer in ihrem normalen Arbeitsumfeld und AR verglichen werden kann. Die verwendeten Werkzeuge und Bibliotheken, sowie die technischen Details der Testumgebung, werden in diesem Kapitel erläutert.

4.1 Verwendete Werkzeuge

Es wird eine Testumgebung für die HL2 entwickelt, welche 2019 erschien und von Microsoft hergestellt wird⁷. Die HL2 ist ein kabelloser holografischer Computer, welcher zu den

⁷<https://learn.microsoft.com/en-us/hololens/hololens-release-notes> 27/03/23

Headmounted Displays gehört und verwendet Windows Holographic OS als Betriebssystem. Dabei besitzt die Kamera der HL2 ein Sichtfeld von 96.1 Grad in der Diagonalen⁸. Das Holographische Sichtfeld ist deutlich kleiner und besitzt ein Sichtfeld von 43 Grad in der Horizontalen⁹. Für die Entwicklung der Testumgebung in AR wird die Spiele-Engine Unity¹⁰ Version 2020.3.40f1 LTS verwendet. Mithilfe des Mixed-Reality-Toolkits (MRTK) von Microsoft wird Unity um eine Bibliothek von Standard-Interaktionselementen für AR sowie Build-Tools erweitert. Für die Entwicklung der Baseline-Testumgebung für PC und Tablet werden Standard Webtechnologien verwendet.

4.2 Umsetzung der AR Testumgebung

Für die Testumgebung wurden eine Reihe von Teststationen in die virtuelle Welt von Unity platziert. Jede Teststation prüft eine Kombination aus Interaktionstool des Nutzers und Interaktionsumgebung. Die Teststationen auf der rechten Seite in Abb. 1 reagieren auf eine direkte Touch-Interaktion mit einer Greif-Geste. Die Teststationen auf der linken Seite arbeiten mit der Raycast Interaktionsart, die Greif-Geste dient dabei als Bestätigung. Die Teststationen im Vordergrund erstellen freischwebende Kugeln über der gesamten Fläche der Teststation. Alle Teststationen sind 150 cm breit und 100 cm tief. Die Kugeln erscheinen in einer Höhe von 75 cm bis 175 cm über dem Boden. Dies hat den Effekt, dass Teile der Teststation sich nicht im Sichtfeld der holographischen Displays der HL2 befinden. Dabei variieren die Kugeln in ihrer Größe von 5 cm bis 25 cm Durchmesser. Die Teststationen im Hintergrund besitzen

⁸<https://learn.microsoft.com/en-us/hololens/hololens2-hardware> 27/03/2023

⁹<https://vr-compare.com/headset/microsoft/hololens2> 27/03/2023

¹⁰<https://unity.com/> 27/03/2023

einen simulierten virtuellen Bildschirm. Deren Ziele sind in ihrer Position auf den Bereich des Bildschirms beschränkt. Auch hier sind die Dimensionen so gewählt, da Teile des Testbereichs sich außerhalb des Sichtfelds der HL2 befinden. Im Test werden insgesamt 25

- Radius des Ziels
- Position des Ziels
- Position der Maus bei Generierung des Ziels
- Zeitstempel Generierung und Treffen des Ziels



Abbildung 1: Testumgebung für die HoloLens 2

Ziele generiert. Diese werden nacheinander jeweils 2 Sekunden nachdem das vorherige Ziel getroffen wurde gezeigt. Für jedes Ziel werden folgende Daten gesammelt:

- Radius des Ziels
- Position des Ziels relativ zur Teststation
- Position der Kamera der HL2 bzw. Kopfposition der Testperson relativ zur Teststation
- Zeitstempel Generierung und Treffen des Ziels
- Blickrichtung der Testperson bei Generierung des Ziels
- Vektor zum Ziel bei Generierung des Ziels

4.3 Umsetzung des Baseline-Tests

Der Baseline Test besteht aus einer Fläche für Ziele und Kontrollelementen zum Bedienen des Tests. Der Test ist auf PC und Tablet identisch. Es werden im Testverlauf 25 Ziele generiert. Die Ziele besitzen einen Radius zwischen 10 und 50 Pixeln. Das nächste Ziel wird 1 Sekunde nachdem das vorherige Ziel getroffen wurde generiert. Bei dem Test werden folgende Daten gesammelt:

5 Studiendesign

In diesem Kapitel werden die Rahmenbedingungen der Studie vorgestellt sowie der Ablauf der einzelnen Tests.

5.1 Studienaufbau

Für die Nutzerstudie von Fitt's Law in AR mit der HL2 wird eine Zielgruppe im Alter von 18 bis 25 Jahren gewählt, da sie voraussichtlich in der Zukunft mit AR Geräten im Arbeitsalltag umgehen wird. Die Zielgruppe sollte damit auch ein allgemeines Vorwissen über AR und VR besitzen, sodass das Einlernen der neuen Interaktionsart relativ effizient erfolgen wird. Außerdem wird die Zielgruppe höchstwahrscheinlich Interesse an dieser Technik zeigen, was es erleichtern sollte Studienteilnehmer zu gewinnen. Die Nutzerstudie ist als Blindstudie konzipiert. Den Studienteilnehmern wird der Testaufbau erst kurz vor Testbeginn gezeigt. Die Einlernphase erfolgt in einer anderen Umgebung.

5.2 Testablauf

Der Test besteht aus insgesamt 6 Phasen. Zunächst werden allgemeine Informationen der Studienteilnehmer gesammelt. Dann wird der Baseline-Test durchgeführt, um eine Grundlage für einen Vergleich zu schaffen. Anschließend erfolgt die Einarbeitung in die Nutzung der HL2. Danach beginnt der Hauptteil der Studie. Dazu wird jeder Test in AR nacheinander durchgeführt, zwischen den Tests werden Fragen gestellt. Am Ende erfolgt eine weitere Fragerunde, um den Fragebogen zu vervollständigen.

Fragebogen Teil 1 Beim Fragebogen vor Beginn der Tests werden folgende Daten über die Studienteilnehmer gesammelt:

- Alter
- Geschlecht
- Größe
- Links-/Rechtshändig
- Sehbeeinträchtigungen
- Vorerfahrung mit AR
- Vorerfahrung mit VR
- Selbsteinschätzung der Technikenntnisse

Die Präferenz zur Nutzung der dominanten Hand wird während der Durchführung der Tests beobachtet und notiert. Die HL2 projiziert die holographischen Objekte optisch gesehen in die Unendlichkeit. Das hat den Effekt, dass Sehschwächen, vor allem bei Kurzsichtigkeit, die Schärfe der dargestellten Objekte beeinflussen. Die Vorerfahrung in AR und VR kann die Tests ebenfalls stark beeinflussen. Dabei wurde nach einem Wert zwischen 1 (gar keine Erfahrung) und 10 (regelmäßige Nutzung) gefragt. Zuletzt wurde nach einer Selbsteinschätzung der Technikenntnisse gefragt. Die Skala ist dabei 1, nutzt Computer und Technikgeräte selten, bis 10, erfahrene Nutzer, welche regelmäßig Technik und in der Lage sind, Probleme an eigenen Geräten zu beheben.

Baseline Test Dem Nutzer wurde der Test kurz erklärt und anhand von ein paar Zielen gezeigt, was zu erwarten ist. Die Studienteilnehmer führen den Test zuerst am PC durch und danach an einem Tablet mit einem Touch-Stift.

Lernphase Vor Beginn des AR Test erfolgte eine Einweisung in die HL2. Dazu wurde den Studienteilnehmern zunächst erklärt, wie die Brille korrekt getragen wird. Anschließend wurde der Nutzer durch die Systemeinstellungen geleitet, um die Augenkalibrierung durchzuführen. Die Studienteilnehmer wurden dann aufgefordert, das MRTK Examples

Hub zu öffnen. Diese Applikation enthält eine Reihe von Beispielen für Entwickler, zum Beispiel verfügbare Shader oder Standard-Bibliotheken von Interaktionselementen. Die Studienteilnehmer nutzten für die nächsten 15 Minuten die "HandInteractionExamples" Umgebung¹¹, um sich in die Bedienung der HL2 einzuarbeiten. Dabei wurden den Studienteilnehmern die Gesten gezeigt, welche später im Test zum Einsatz kommen. Vor allem betrifft das die Raycast-Greif-Geste, da diese nur schwierig ohne Hilfestellung entdeckt werden kann.

AR Test Zuerst werden die Touch-Interaktions Tests durchgeführt, da diese intuitiver zum Verstehen sind. Die Raycast Tests erfolgen in der zweiten Hälfte. Jeder Test wird dabei kurz erklärt und die Studienteilnehmer werden aufgefordert sich bei Beginn des Tests vor die Kante der Testplattform zu stellen, da der Test, wie in Kapitel 4 beschrieben, auf diese Entfernung konzipiert wurde.

Feedback zum Test Nach jedem Test wurden den Studienteilnehmern eine Reihe von Fragen aus dem Fragebogen gestellt. Zunächst sollte auf einer Skala von 1 (niedrig) bis 10 (hoch) die Nutzbarkeit der Interaktionsart im Test bewertet werden. Außerdem sollte die körperliche Anstrengung auf einer Skala von 1 bis 10 bewertet werden. Dabei bedeutet ein Wert von 1, dass auf diese Weise Stundenlang weitergearbeitet werden kann und eine 10, dass nach wenigen Minuten eine Ruhepause erforderlich ist.

Fragebogen Teil 2 Nachdem alle Tests abgeschlossen sind, werden die Studienteilnehmer um allgemeineres Feedback zu den Tests gefragt. Dazu erfolgt erst die Frage, ob sie die einzelnen Interaktionsarten in der Zukunft nutzen werden. Jeweils bewertet auf einer

¹¹<https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mrtk-unity/mrtk2/features/example-scenes/hand-interaction-examples?view=mrtkunity-2022-0527/03/2023>

Skala von 1, starke Abneigung, bis 10, starke Zustimmung. Zuletzt wird nach sonstigen Anmerkungen gefragt.

6 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Studie vorgestellt und analysiert. Zunächst findet die Auswertung des Fragebogens statt, wo die Antworten mit dem Verhalten während der Tests abgeglichen werden. Im nächsten Abschnitt wird über den Verlauf der Tests in der Studie berichtet sowie die Eindrücke der Teilnehmer zusammengefasst. Danach erfolgt die Auswertung der Baseline und AR Tests mithilfe von Python und der Pandas ¹² und scipy ¹³ Bibliotheken.

6.1 Auswertung

des Fragebogens

An der Studie nahmen insgesamt 6 Personen teil und alle waren Männlich. Eine Person war leicht kurzsichtig, der Test wurde mit Brille durchgeführt. Alle Teilnehmer bis auf einen waren rechtshändig. Die Teilnehmer nutzten während des Tests hauptsächlich ihre dominante Hand. Bei den Raycast-Tests wurde die andere Hand zur Hilfe genommen, wenn die Handerkennung nicht vollkommen zuverlässig war. In Tab. 1 befinden sich die allgemeinen Informationen zu den Teilnehmern. Der Altersdurchschnitt lag bei 18.66 Jahren, eine Testperson befand sich mit einem Alter von 15 stark außerhalb der initialen Zielgruppe. Alle Teilnehmer hatten eine ähnliche Größe, weshalb der Einfluss der Körpergröße auf Fitt's Law nicht festgestellt werden kann. Kaum jemand hatte nennenswerte Vorerfahrungen in AR. Nur eine Person hat eine längere Aufgabe in VR durchgeführt, bei welcher ein Modellflugzeug zusammengesetzt wurde. Die Technikenntnisse waren im Schnitt sehr hoch, da die meisten Teilnehmer im Studium und Privat sich

mit Technik auseinandersetzen. In Tab. 2 be-

Tabelle 1: Ergebnisse des Fragebogens

Metrik	Avg.	Std. Abw.
Alter	18.66	2.13
Größe	181.5	7.8
VorerfahrungAR	1.16	0.37
VorerfahrungVR	2	1.53
Technik Kenntnisse	7.83	0.90

finden sich die Präferenzen der Studienteilnehmer zu den einzelnen Interaktionsarten. Alle wurden als gut benutzbar eingestuft, wobei es eine Präferenz zu Touch-Interaktionen mit freischwebenden Objekten gab. Bei dem virtuellen Bildschirm wurde kritisiert, dass diese die Tiefenwahrnehmung verschlechtern und der Raycast-Strahl schwerer zu erkennen ist. Trotz dessen wurde die Raycast-Interaktionsart mit freischwebenden Objekten als schlechter eingestuft. Dies ist hauptsächlich auf die Schwierigkeiten beim Nutzen der Raycast-Interaktion zurückzuführen, welche genauer in Unterkap. 6.2 erläutert werden. In Tab. 3 befinden sich die Präferen-

Tabelle 2: Nutzbarkeit der Interaktionsart

Testart	Avg.	Std. Abw.
Freischwebend Touch	8.4	1.62
Freischwebend Raycast	6.8	1.6
Bildschirm Touch	7.8	1.94
Bildschirm Raycast	7.6	1.74

zen der Studienteilnehmer zur Nutzung der Interaktionsarten in der Zukunft. Die Touch-basierten Interaktionen sind beliebter. Insgesamt gehen im Vergleich zur Nutzbarkeit die Meinungen der Studienteilnehmer stärker auseinander. Vor allem bei den Raycast-Interaktionsarten gab es stark schwankende

¹²<https://pandas.pydata.org/> 31/03/2023

¹³<https://scipy.org/> 31/03/2023

Antworten. Nur die Touch-basierte Interaktionsart mit freischwebenden Objekten wurde konsistent als gut bewertet. In Tab. 4 sind die

Tabelle 3: Sollte die Interaktionsart in Zukunft genutzt werden

Testart	Avg.	Std. Abw.
Freischwebend Touch	8	1.10
Freischwebend Raycast	5.4	2.87
Bildschirm Touch	7.4	2.15
Bildschirm Raycast	6.8	2.48

Eindrücke der Studienteilnehmer über die körperliche Anstrengung der einzelnen Interaktionsarten dokumentiert. Obwohl sich die Studienteilnehmer bei den Touch-basierten Interaktionsarten deutlich mehr bewegt haben, werden diese Tests als kaum anstrengend eingestuft. Die Raycast-Interaktionsart wird bei beiden Tests als deutlich anstrengender bewertet.

Tabelle 4: Körperliche Anstrengung bei Nutzung der Interaktionsart

Testart	Avg.	Std. Abw.
Freischwebend Touch	1.6	0.50
Freischwebend Raycast	4	2.19
Bildschirm Touch	1.8	0.75
Bildschirm Raycast	5.2	2.23

6.2 Verlauf der Tests

Beim Ausfüllen des Fragebogens mussten teilweise die Skalen über die Vorkenntnisse in AR und VR, sowie die Selbsteinschätzung der Technikenkenntnisse genauer erklärt werden. Während der initialen Vorbereitungsphase mit der HL2 gab es keine großen Hürden. In der freien Einarbeitungsphase wurden zunächst die Gesten erklärt und die Anweisung gegeben, spezifische Interaktionen,

wie skalieren oder rotieren, durchzuführen. Danach wurde den Studienteilnehmern nur bei Rückfragen Unterstützung gegeben. Die größte Hürde war, dass während der Raycast-basierten Tests die Erkennung der Hand teilweise nicht funktioniert hat. Das Problem konnte während des Tests nicht reproduziert werden. Die Studienteilnehmer lösten das Problem, indem sie von einer anderen Seite das Ziel mit dem Raycast klickten. Während die Studienteilnehmer bei den Touch-basierten Test meistens vor der Testplattform standen, positionierten sie sich bei den Raycast Tests teilweise leicht seitlich zur Teststation. Studienteilnehmer gewannen dadurch Distanz zum Ziel und konnten den Raycast besser nutzen. Bei den Touch-basierten Tests standen die Teilnehmer oft einen halben Schritt zurück, da der Testbereich größer als das Sichtfeld der holografischen Displays ist. Andere Teilnehmer starteten den Test direkt vor der Plattform und suchten dann bei den ersten Zielen relativ lange. Die meisten Schwierigkeiten beim eingeschränkten Sichtfeld bereiteten Ziele unten und oben im Testbereich.

6.3 Auswertung der Testdaten

Zunächst wurde untersucht, ob ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Geschwindigkeit der einzelnen Eingabemethoden besteht. Dazu wurde ein Friedman Test mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05$ durchgeführt und der Null-Hypothese, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Eingabemethoden vorhanden ist. Der Test ergab das einen p-Wert von $1.56e-05$. Damit wird die Null-Hypothese angenommen. In Abb. 2 sind die einzelnen Eingabemethoden dargestellt. Obwohl es keinen statistisch signifikanten Unterschied in den MT der einzelnen Eingabemethoden gibt, ist in Abb. 2 zu sehen, dass die Streuung bei den Freien und Screen-basierten Touch Eingabemethoden (FT und ST) geringer ist, als bei den Raycast basierten Eingabemethoden (FR und SR).

Insbesondere die Screen-Raycast Kombination hat eine große Streuung. In der Recherche

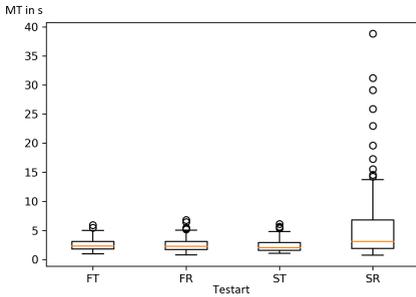


Abbildung 2: Vergleich der MT der Eingabemethoden

wurden mehrere Fitt's Law Varianten identifiziert. In Tab. 5 sind die R-Werte der einzelnen Modelle aufgelistet. Die niedrigen R-Werte sind auf die hohe Standardabweichung von 13.2348 Sekunden der Studiendaten, zurückzuführen. Dabei hat die Fitt' Law Variante von Murata et al. [2020] das beste Ergebnis, während Fitt's Law den niedrigsten Wert hat. Um den Einfluss des Sichtfelds auf

Tabelle 5: R-Werte der Modelle

Modell	a	b	R-Wert	Konst.
Fitt	-1.90	1.11	0.23	-
Shannon	-1.27	1.20	0.23	-
Jin et al. (2020)	-7.27	1.52	0.23	0.252
Murata et al.(2020)	-1.28	1.20	0.23	0.999

die MT zu ermitteln wurde Welch's T-Test benutzt, da deutlich mehr Ziele sich innerhalb des Sichtfelds befinden. Die Null-Hypothese ist, dass es keine statistisch Signifikanten Unterschiede in der MT gibt. Dazu wurden alle Ziele, welche zum Nutzer einen Winkel

von über 21.5 Grad besaßen, als außerhalb des Sichtfeldes eingestuft. Das horizontale Sichtfeld der HL2 ist 43 Grad. Mit einem p-Wert von 0.05884 wird die Null-Hypothese angenommen. In Abb. 3 ist die Verteilung der MT an der y-Achse zu sehen. Anders als bei den Eingabemethoden ist kein deutlicher Unterschied zu sehen. Die Streuung ist bei den Zielen innerhalb des Sichtfelds größer, da sich die Screen-basierten Raycast Ziele sich wegen der Einschränkung auf den simulierten Bildschirm öfter innerhalb des Sichtfelds befinden. In Tab. 6 sind die IP Werte der ein-

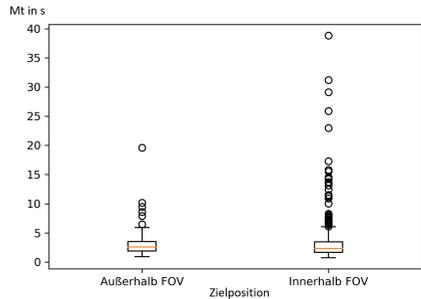


Abbildung 3: Vergleich der MT innerhalb und außerhalb des Sichtfelds

zelnen Studienteilnehmer aufgelistet. Es gibt nicht genug Datenpunkte, um einen t-Test oder vergleichbare Methode anzuwenden. Jedoch ist in Tab. 6 eine Tendenz zu erkennen, dass eine gute Leistung in einem herkömmlichen Fitt's Law Test am PC und Tablet auf eine gute Leistung in AR hinweisen kann.

7 Diskussion

Die höhere Bewertung der touchbasierten Eingabemethoden von den Studienteilnehmern wurde durch die Daten bestätigt. Bemerkenswert ist, dass die Bildschirm-Raycast Variante eine höhere Bewertung hat als die Freie-Raycast Kombination, obwohl eine deutlich größere Streuung gemessen wurde. Die

Tabelle 6: Vergleich der Leistung der Studienteilnehmer

ID	IP Baseline	IP AR
1	2.9454	2.0635
2	2.9301	1.8543
3	2.7844	1.4926
4	2.7293	1.6036
5	2.5431	1.3155

Berichte der Nutzer, dass die simulierten Bildschirme die Tiefenwahrnehmung einschränkten, wurde in den Daten nicht widergespiegelt. Mifsud et al. [2022] berichteten, dass die Transparenz von Objekten keinen Einfluss auf die Leistung der einzelnen Teilnehmer hatte. Aus dem Feedback der Studienteilnehmer geht aber hervor, dass die virtuellen Bildschirme verwirrend zu bedienen sind, auch wenn die Daten dies nicht bestätigen können. Dabei wurde vor allem die Verdeckung der Raycast-Linie kommentiert. Eine Umgebung in der AR-Brille sollte möglichst minimalistisch sein, da jedes zusätzliche Objekt die Interaktion mit anderen stören könnte. Die Vermutung, dass das Sichtfeld der HL2 große Auswirkungen auf die MT haben wird, konnte nicht bestätigt werden und beantwortet damit **FF4**. Die untersuchten Studien, bis auf Jin et al. [2020], generierten Ziele im Sichtfeld der Testpersonen. Dies könnte aber auch an der hohen Streuung der Daten liegen. Das Feedback der Studienteilnehmer widerspricht den Daten, da sie Ziele außerhalb des Sichtfeldes als störend empfanden und auch hektisch nach ihnen suchten, wenn kein Ziel im Sichtfeld erschien. Benutzeroberflächen in AR sollten möglichst im Sichtfeld der verwendeten AR-Brille befinden. Sollte eine Wahl getroffen werden, sollten sich Bedienelemente eher um den Nutzer herum befinden, als über oder unter den Grenzen des Sichtfeldes. Die angewandten Modelle konnten die

Daten aus der Studie nicht ausreichend abbilden. Die erreichten R-Werte liegen deutlich unter den von Jin. et al. [2020]. Dies ist hauptsächlich auf die Streuung der Daten zurückzuführen, da die Nutzer sehr viele Freiheitsgrade hatten. In dem Versuch von Jin. et al. [2020] war das Smartphone auf einem Stativ montiert, um die horizontale Schwenkbewegung zu isolieren. Deshalb sollten zukünftige Studien sich auf eine Eingabemethode fokussieren, um mehr Daten über einen Parameter zu sammeln. Außerdem sollte die Bewegung der Studienteilnehmer eingeschränkt werden, da sie instinktiv zurückgehen, um alle Ziele zu sehen. Dies erschwerte die Untersuchung vom Einfluss des Sichtfeldes der AR-Brille. Die Interaktionsmöglichkeiten der AR-Brille bringen viele neue Störfaktoren in die Gleichung von Fitt's Law, was die Untersuchung von Fitt's Law in AR erschwert, da die Daten deutlich stärker gestreut sind. Damit ist **FF3** beantwortet.

8 Fazit

Es wurde eine Recherche durchgeführt, um den Stand der Forschung von Fitt's Law in AR zu ermitteln. Dabei wurden Lücken zum Einfluss des Sichtfeldes gefunden. Außerdem befassen sich viele Studien mit nur einem spezifischen Aspekt des 3D Raumes, und erweitern Fitt's Law nur um diese Parameter. Es wurde im Anschluss eine Testumgebung entwickelt, um Fitt's Law in AR allgemeiner zu prüfen, sowie den Einfluss vom Sichtfeld der Brille zu beurteilen. Durch mangelnde Daten konnten nur allgemeine Schlussfolgerungen getroffen werden. Deshalb ist mehr Forschung in diesem Bereich nötig, um ein allgemein gültiges Modell für Fitt's Law in AR zu erstellen. Vor allem muss die Anzahl der Studienteilnehmer erhöht werden, die Anzahl an Tests und Eingabemethoden verringert, und der Bewegungsraum eingeschränkt werden.

Literatur

- [1] Batmaz, Anil Ufuk and Machuca, Mayra Donaji Barrera and Pham, Duc Minh and Stuerzlinger, Wolfgang. 2019. Do Head-Mounted Display Stereo Deficiencies Affect 3D Pointing Tasks in AR and VR? 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), (Mrz. 2019), 585-592. DOI: 10.1109/VR.2019.8797975
- [2] Eleftherios Triantafyllidis and Zhibin Li. 2021. The Challenges in Modeling Human Performance in 3D Space with Fitts' Law. In Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '21). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 56, 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1145/3411763.3443442>
- [3] Fitts, P.M. 1954. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology* 47(6), 381-391. DOI: <https://doi.org/10.1037/h0055392>
- [4] Jin, Sichen and Yin, Jibin and Fu, Chengyao and Zhang, Xiangliang and Liu, Tao. 2020. Modeling Angle-Based Pointing Tasks in Augmented Reality Interfaces. *IEEE Access*, 8, (Okt. 2020), 192597-192607. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3031957
- [5] Mifsud, Domenick M. and Williams, Adam S. and Ortega, Francisco and Teather, Robert J. 2022. Augmented Reality Fitts' Law Input Comparison Between Touchpad, Pointing Gesture, and Raycast. *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, (Mrz. 2022), 590-591. DOI: 10.1109/VRW55335.2022.00146
- [6] Atsuo Murata and Hirokazu Iwase. 2001. Extending Fitts' law to a three-dimensional pointing task. *Human Movement Science* 20, 6 (Dez. 2001), 791-805. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(01\)00058-6](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(01)00058-6)
- [7] Sumithra, T.V and Ragma, Leena and Desai, Rishi and Vaishya, Arpit. 2022. User Centric Predictive Model for Mixed Reality Applications. 2022 2nd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON), (Aug. 2022), 1-5. DOI: 10.1109/ASIANCON55314.2022.9908855



Autorenverzeichnis

B

Bertsch, L. 1

E

Engler, P. 37

H

Hackh, P. 25

P

Pollok, A. 51

S

Schmutz, P. 13

Hochschule Reutlingen
Reutlingen University
Fakultät Informatik
Human-Centered Computing
Alteburgstraße 150
D-72762 Reutlingen

Telefon: +49 7121 / 271-4002
Telefax: +49 7121 / 271-4032

E-Mail: informatics.inside@reutlingen-university.de
Website: <https://infoinside.reutlingen-university.de/>

ISBN

978-3-00-075235-3

