



# Bachelorarbeit

Wirtschaftsingenieurwesen Maschinenbau (Bachelor of Engineering)

# Erstellung eines mehrstufigen Use Case für die anspruchsvolle Wartung einer Werkzeugmaschine mittels Augmented Reality

Michael Reiter

Aufgabensteller/Prüfer	Prof. DrIng. Gerald Winz
Arbeit vorgelegt am	21.April.2022
durchgeführt in der	Fakultät Maschinenbau
durchgeführt bei	Digital Laboratory Kempten Leonhardstraße 19 87437 Kempten
Anschrift des Verfassers	Michael Reiter Molkereistraße 11 a 87665 Mauerstetten

# Kurzfassung

Durch die fortschreitende Entwicklung technischer Errungenschaften für den Unternehmensalltag wie Industrie 4.0, Internet of Things und Mixed Reality werden sich in Zukunft Arbeitsabläufe grundlegend verändern. Gerade Mixed Reality, zu der auch Augmented Reality zählt, gehört zu einer dieser sogenannten "Advanced Technologies", die das Potenzial besitzen, Unternehmensbereiche disruptiv zu verändern.

In dieser Arbeit wird die Möglichkeit der Einbindung von Augmented Reality im Bereich Service/Wartung des Maschinenbau-Unternehmens DMG MORI evaluiert. Dazu wurde eine Anleitung zur Überprüfung eines Riementriebes von Fräszentren mittels Augmented Reality für die Microsoft HoloLens 2 erstellt und die zusätzliche Einbindung eines Remote Service diskutiert. Die Anleitung umfasst eine Wartung der Maschinen DMU65monoBLOCK, DMU75monoBLOCK und DMU65H dieses Herstellers, die nach einem bestimmten Zeitintervall durchzuführen ist.

Im ersten Teil werden zunächst die wichtigsten Begriffe von Augmented Reality sowie der Unterschied zur Virtual Reality erläutert. Darauf folgt die Vorstellung der Microsoft HoloLens 2 mit ihren wichtigsten Funktionen. Anschließend wird die erstellte Augmented Reality Anleitung präsentiert und von der Geschäftsführung, Servicetechnikern, Ausbildern und weiteren Probanden getestet. Durch die Auswertung des Probanden-Fragebogens wurde die Anleitung überarbeitet und für ihren Einsatz im Service-Alltag des Unternehmens optimiert. Als Zielgruppe dienen insbesondere die Kunden und Servicetechniker des Unternehmens, die mit Hilfe der Anleitung eine Instandhaltung selbstständig durchführen können.

Die Integration von Augmented Reality in den industriellen Alltag bietet vor allem im Service einen deutlichen Mehrwert. Durch den Wegfall von langen und teuren Reisen lassen sich auch monetäre Einsparungen erzielen. Ebenso können Mitarbeiter mit ihr selbstständig Arbeiten durchführen, die oberhalb ihres Kompetenzbereiches liegen. Jedoch stellt der hohe Anschaffungspreis der HoloLens 2 eine Hürde für Unternehmen dar.

# Vorwort

Durch eine Projektarbeit im Bereich Augmented Reality wurde mein Interesse an diesem Thema geweckt und ich habe mich sehr darüber gefreut, diese spannende neuartige Technik in meiner Bachelorarbeit vertiefen zu können. Für diese Chance sowie die gelungene Zusammenarbeit und Unterstützung, möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Gerald Winz und Herrn Prof. Dr. rer. pol. Stefan Wind bedanken.

Ebenso gilt mein Dank Herrn Arnold, der mir stets als Ansprechpartner der DMG MORI AG zur Verfügung stand. Auch möchte ich mich bei Herrn Schneider und Herrn Geißler von DMG MORI bedanken, die mein Thema mit Interesse verfolgt haben und für anregende Gespräche zur Verfügung standen.

# Inhaltsverzeichnis

Ku	rzfa	ssun	<b>g</b> II
Vo	rwo	ort	III
Inł	nalt	sverz	eichnisiv
Abl	bild	ungsv	v <b>erzeichnis</b> vi
Tat	belle	enver	zeichnisvii
Ab	kürz	zungs	verzeichnisvii
1	Ein	leitur	ıg1
1.1		Vorst	ellung des Labors und des Unternehmens DMG MORI1
1.2		Motiv	ation1
1.3		Aufga	benstellung2
2	The	eoreti	sche Grundlagen3
2.1		Was i	st Mixed Reality?3
2.2		Was i	st Augmented Reality?3
2.3		Histo	rische Entwicklung von Mixed Reality4
2.4		Was i	st der Unterschied zu Virtual Reality?5
2.5		Bauw	eisen von Head-Mounted-Displays6
2.6		Visua	lisierungsmedien bei Augmented Reality9
2.7		Verde	eckungen und Phantomobjekte13
2.8		Anwe	ndung der Augmented Reality in der Produktion
2.9		Anwe	ndung in Wartung und Smart Maintenace
2.1	0	Vorst	ellung der Microsoft HoloLens 216
	2.1	0.1	Hardware der Microsoft HoloLens 2 16
	2.1	0.2	Steuerung der HoloLens 2 durch Gaze/Blick
	2.1	0.3	Steuerung der HoloLens 2 durch Gesten
	2.1	0.4	Steuerung der HoloLens 2 durch Sprachsteuerung 20
	2.1	0.5	Die Marktsituation der HoloLens
3	Κοι	nzept	erstellung, -umsetzung und Analyse
3.1		Verwe	endete Programme22
3.2		Funkt	ionsweise von Microsoft Dynamics 365 Guides

Anl	nang		56
5	Quelle	nverzeichnis	54
4	Zusam	menfassung und Ausblick	52
	3.9.2	Auswertung	50
	3.9.1	Aufbau des Fragebogens	
3.9	Val	idierung des Konzepts mithilfe von Probanden	
	3.8.2	Anleitung	
	3.8.1	Anker	45
3.8	Erw	veiterung der Anleitung um den Maschinentyp DMU 65 H	45
	3.7.8	Montage	
	3.7.7	Lösen des Motorflansches	
	3.7.6	Einstellung der Frequenz	
	3.7.5	Heidenhain Steuerung	
	3.7.4	Siemens Steuerung	
	3.7.3	Lösen der Bremse	
	3.7.2	Demontage	
	3.7.1	Werkzeug	
3.7	Ers	tellung der Anleitung mittels Microsoft Guides	
3.6	- Dui	rchführung der Wartung auf konventioneller Art	
3.5	Allo	jemeines zur Wartung	
3.4	Ver	wendete Anker	
	3.3.5	Genauigkeit der HoloLens 2 verbessern	
	3.3.4	Azure Object Anker	
	3.3.3	OR-Code-Verankeruna	
	3.3.2	Kreisförmiger Code-Anker	
	3.3.1	Holografischer Anker	
3.3	Ank	er erstellen in Microsoft Dynamics 365 Guides	
	3.2.2	Bilder und Hologramme einfügen.	
	3.2.1	Neue Arbeitsschritte hinzufügen	

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erste AR-Brille von Ivan Sutherland
Abbildung 2: Nachbau des MARS-Systems von 19974
Abbildung 3: Visualisierungsmethoden von Virtual Reality
Abbildung 4: Sichtfeld eines HMDs in geschlossener Bauweise im Vergleich zum
Gesichtsfeld des Nutzers6
Abbildung 5: Sichtfeld eines HMDs in offener Bauweise im Vergleich zum
Gesichtsfeld des Nutzers7
Abbildung 6 Sichtfeld eines HMDs in monokularer Bauweise im Vergleich zum
Gesichtsfeld des Nutzers8
Abbildung 7: Visualisierungsmedien von Augmented Reality9
Abbildung 8: Vergleich der OST-Methode (links) zur VST-Methode (rechts) 10
Abbildung 9: Darstellung eines virtuellen Objektes mit Helligkeitsverlauf
Abbildung 10: links: falsche Verdeckung, in der Mitte: korrekte Verdeckung bei
der OST-Methode, rechts: korrekte Verdeckung bei der VST-Methode14
Abbildung 11: Seitliche Darstellung der Microsoft HoloLens 216
Abbildung 12: Nächsten Arbeitsschritt in einer Microsoft Dynamics 365 Guides
Anleitung mittels Gaze/Blick anzeigen17
Abbildung 13: Gesture Frame der HoloLens 2, indem Gesten erkannt werden 18
Abbildung 14: Air tap und air tap and hold Geste19
Abbildung 15: Einhändige und zweihändige Start Geste
Abbildung 16: Prognose zur weltweiten Marktentwicklung von Augmented &
Virtual Reality
Abbildung 17: SchrittAbbildung 18: Frageschritt
Abbildung 19: 3D-Toolkit mit vorgefertigten Hologrammen (links), importierte
eigene Bilder (rechts)25
Abbildung 20: Verankerungsmethode "Holografischer Anker"
Abbildung 21: Verankerungsmethode "circular code anchor"27
Abbildung 22: Verankerungsmethode "QR-Code"
Abbildung 23: Verankerungsmethode "Azure Object Anchor"
Abbildung 23: Verankerungsmethode "Azure Object Anchor"29Abbildung 24: DMU 75 monoBLOCK mit eingeklappten Steuerungsterminal31
Abbildung 23: Verankerungsmethode "Azure Object Anchor"29Abbildung 24: DMU 75 monoBLOCK mit eingeklappten Steuerungsterminal31Abbildung 25: Spezialwerkzeug "Stirnzapfenschlüssel"33
Abbildung 23: Verankerungsmethode "Azure Object Anchor"29Abbildung 24: DMU 75 monoBLOCK mit eingeklappten Steuerungsterminal31Abbildung 25: Spezialwerkzeug "Stirnzapfenschlüssel"33Abbildung 26: Vorspannen des unteren Spannsegmentes mit einem
Abbildung 23: Verankerungsmethode "Azure Object Anchor"29Abbildung 24: DMU 75 monoBLOCK mit eingeklappten Steuerungsterminal31Abbildung 25: Spezialwerkzeug "Stirnzapfenschlüssel"33Abbildung 26: Vorspannen des unteren Spannsegmentes mit einem34Drehmomentschlüssel und einem Stirnzapfenschlüssel.34
Abbildung 23: Verankerungsmethode "Azure Object Anchor"29Abbildung 24: DMU 75 monoBLOCK mit eingeklappten Steuerungsterminal31Abbildung 25: Spezialwerkzeug "Stirnzapfenschlüssel"33Abbildung 26: Vorspannen des unteren Spannsegmentes mit einem34Drehmomentschlüssel und einem Stirnzapfenschlüssel"34Abbildung 27: Arbeitsschritte "Demontage"36
Abbildung 23: Verankerungsmethode "Azure Object Anchor"29Abbildung 24: DMU 75 monoBLOCK mit eingeklappten Steuerungsterminal31Abbildung 25: Spezialwerkzeug "Stirnzapfenschlüssel"33Abbildung 26: Vorspannen des unteren Spannsegmentes mit einem34Drehmomentschlüssel und einem Stirnzapfenschlüssel34Abbildung 27: Arbeitsschritte "Demontage"36Abbildung 28: Arbeitsschritte "Lösen der Bremse"37
Abbildung 23: Verankerungsmethode "Azure Object Anchor"29Abbildung 24: DMU 75 monoBLOCK mit eingeklappten Steuerungsterminal31Abbildung 25: Spezialwerkzeug "Stirnzapfenschlüssel"33Abbildung 26: Vorspannen des unteren Spannsegmentes mit einem34Drehmomentschlüssel und einem Stirnzapfenschlüssel34Abbildung 27: Arbeitsschritte "Demontage"36Abbildung 28: Arbeitsschritte "Lösen der Bremse"37Abbildung 29: Arbeitsschritte "Siemens Steuerung"38
Abbildung 23: Verankerungsmethode "Azure Object Anchor"29Abbildung 24: DMU 75 monoBLOCK mit eingeklappten Steuerungsterminal31Abbildung 25: Spezialwerkzeug "Stirnzapfenschlüssel"33Abbildung 26: Vorspannen des unteren Spannsegmentes mit einem34Drehmomentschlüssel und einem Stirnzapfenschlüssel34Abbildung 27: Arbeitsschritte "Demontage"36Abbildung 28: Arbeitsschritte "Lösen der Bremse"37Abbildung 30: Lösen der Schrauben des Spannsegmentes40
Abbildung 23: Verankerungsmethode "Azure Object Anchor"29Abbildung 24: DMU 75 monoBLOCK mit eingeklappten Steuerungsterminal31Abbildung 25: Spezialwerkzeug "Stirnzapfenschlüssel"33Abbildung 26: Vorspannen des unteren Spannsegmentes mit einem34Drehmomentschlüssel und einem Stirnzapfenschlüssel36Abbildung 27: Arbeitsschritte "Demontage"36Abbildung 28: Arbeitsschritte "Lösen der Bremse"37Abbildung 30: Lösen der Schrauben des Spannsegmentes40Abbildung 31: Festziehen des Spannsegmentes, während dies mit einer
Abbildung 23: Verankerungsmethode "Azure Object Anchor"29Abbildung 24: DMU 75 monoBLOCK mit eingeklappten Steuerungsterminal31Abbildung 25: Spezialwerkzeug "Stirnzapfenschlüssel"33Abbildung 26: Vorspannen des unteren Spannsegmentes mit einem34Drehmomentschlüssel und einem Stirnzapfenschlüssel.34Abbildung 27: Arbeitsschritte "Demontage"36Abbildung 28: Arbeitsschritte "Lösen der Bremse"37Abbildung 29: Arbeitsschritte "Siemens Steuerung"38Abbildung 30: Lösen der Schrauben des Spannsegmentes40Abbildung 31: Festziehen des Spannsegmentes, während dies mit einer41

Abbildung 32: Arbeitsschritte "Einstellung der Frequenz"	
Abbildung 33: Bewegen des Motorflansches	
Abbildung 34: Arbeitsschritte "Lösen des Motorflansches"	
Abbildung 35: Arbeitsschritte "Montage"	
Abbildung 36: Platzierung des QR-Codes an der Unterseite des Maschine	entisches
Abbildung 37: Aufbau der erweiterten Anleitung	
Abbildung 38: Lösen der Bremse durch Ändern der Parameter in der Ste	uerung
Abbildung 39: Fragebogen der Probandenstudie	
Abbildung 40: Allgemeine Fragen zu den Probanden	50

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung heller virtueller Objekte abhängig von der	
Visualisierungsmethode und der Helligkeit des Hintergrundes	.12
Tabelle 2: Darstellung dunkler virtueller Objekte abhängig von der	
Visualisierungsmethode und der Helligkeit des Hintergrundes	.12

# Abkürzungsverzeichnis

DMG MORI	Deckel Maho Gildemeister (Unternehmen)
B2B	Business-to-Business
MR	Mixed Reality
AR	Augmented Reality
VR	Virtual Reality
HMD	Head-Mounted-Device
OST	Optical-See-Through
VST	Video-See-Through
RPD	Retinal Projection Display
DMU	Maschinentyp

# 1 Einleitung

# 1.1 Vorstellung des Labors und des Unternehmens DMG MORI

#### **Digital Laboratory**

Das Digital Laboratory Kempten ist eine Einrichtung der Hochschule Kempten, in dem Studierende der Fachrichtungen Maschinenbau und Informatik zusammen mit Professoren und Mitarbeitern an neuen Technologien forschen können. Studierende haben die Möglichkeit, sich mit Themen wie fahrerlosen Transportsystemen, Connectivity und Smart Devices, zu denen auch die Augmented Reality gehört, zu befassen und kennenzulernen.

#### DMG MORI AG

DMG MORI gehört zu einem der weltweit größten Hersteller von CNC-Dreh- und – Fräsmaschinen mit ca. 6.700 Mitarbeiter. Neben der Herstellung dieser Maschinen gehören auch sogenannte "Advanced Technologies", Digitalisierung- und Automationslösungen, sowie industrielle Dienstleistungen zum Portfolio des Unternehmens. Die DMG MORI AG hat weltweit 14 Produktionsstätten, wobei sich der Hauptsitz der Konzernzentrale in Bielefeld und der Hauptsitz des Mutterkonzerns in Tokio befinden. Am Standort in Pfronten befasst sich das Unternehmen mit der Entwicklung und Herstellung von Fräsmaschinen.

Diese Abschlussarbeit wurde in Kooperation mit dem Unternehmen DMG MORI am Standort Pfronten durchgeführt.

# 1.2 Motivation

Um den Kunden einen bestmöglichen Service zu bieten, der mit geringem finanziellen Aufwand verbunden ist, stellt heutzutage eine der größten Herausforderungen für ein Unternehmen dar. Dabei ist der Konkurrenzdruck im Maschinenbau ist groß.

Eine wichtige Kaufentscheidung für Kunden in diesem B2B Bereich, wie ihn DMG MORI beliefert, stellt der Service dar. Im Falle einer Reparatur, ist den Kunden vor allem die Ausfalldauer der Maschine wichtig. Bei der Komplexität, die eine moderne Werkzeugmaschine aufweist, reicht die schnelle Lieferung der Ersatzteile heutzutage nicht mehr aus. Auch die Reparatur muss von einem fachkundigen Experten durchgeführt werden, welcher nicht immer vor Ort ist. Mit Augmented Reality kann in dieser Situation eine große Zeiteinsparung und eine damit verbundene Kosteneinsparung erreicht werden. Mit AR ist es möglich, die Reparaturzeit auf ein Minimum zu reduzieren, da auf langwierige und preisintensive Reisen verzichtet werden kann. Ebenso erlangen auch ungelernte Mitarbeiter durch diese Technik, die Fähigkeit höherwertige Arbeiten auszuführen.

# 1.3 Aufgabenstellung

Durch Augmented Reality haben Unternehmen vielseitige und neue Möglichkeiten, um Prozesse und Abläufe zu verändern. Ein großes Potenzial besteht vor allem im Bereich des Service. Durch die AR-Technik können dabei teure und lange Kundenbesuche und aufwendige Schulungen im Schulungszentrum reduziert werden. In dieser Abschlussarbeit wird die Anwendungsmöglichkeit der Augmented Reality Technik für die Reparatur und Wartung von komplexen Werkzeugmaschinen erprobt. Untersucht wurden dabei folgende Aspekte:

- 1. Erstellung einer Augmented Reality Anleitung für den komplexen technischen Wartungsfall an einer modernen 5-Achs-Fräsmaschine der neuesten Generation
- 2. Ergänzung der Anleitung durch Augmented Remote Service
- 3. Bestimmung des Modifikationsaufwandes der Anleitung für unterschiedliche Maschinentypen
- 4. Evaluierung dieser AR Anleitung in der Praxis durch Verprobung

Um diese Aspekte umzusetzen, wurden die Programme Microsoft Dynamics 365 Guides für die Augmented Reality Anleitung und Microsoft Dynamics 365 Remote Assist für den Remote Service verwendet.

# 2 Theoretische Grundlagen

# 2.1 Was ist Mixed Reality?

"Der Begriff Mixed Reality (dt. etwa "gemischte Realität") bezeichnet IT-Lösungen oder Umgebungen, bei der die natürliche Wahrnehmung des Nutzers mit einer künstlichen, digital generierten Wahrnehmung ergänzt wird" (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.7). Mixed Reality stellt dabei den Oberbegriff für die beiden Begriffe Augmented Reality und Virtual Reality dar. Während bei Augmented Reality die Realität mithilfe von digitalen Informationen erweitert wird, erstellt Virtual Reality eine komplett digitale Umgebung unter Ausschluss der Realität. Für die Anzeige der Informationen und Objekte werden meist spezielle Anzeigegeräte verwendet, sogenannte Brillen, aber auch Smartphones, Tablets und rechnergestützte Simulatoren sind möglich. "Die Realität wird ebenso über die akustische Wahrnehmung verändert, beispielsweise durch die Simulation von Geräuschen" (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.8).

Wie auch der 3D-Druck, künstliche Intelligenz und Internet of Things gehört MR zu den sogenannten "Advanced Technologies". "Dieser Begriff bezeichnet Technologien, welche die Basis für innovative digitale Geschäftsmodelle, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen schaffen. [...]. Diesen Technologien wird das Potenzial zugeschrieben, ganze Branchen disruptiv zu verändern" (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.3).

# 2.2 Was ist Augmented Reality?

Bei der Augmented Reality handelt es sich um eine "kontextbasierte Anzeige digitaler Informationen an realen Objekten in Echtzeit, dargestellt durch ein dafür geeignetes Anzeigegerät" (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.8 f). Das bedeutet, dass zusätzlich zur realen Umgebung digitale Informationen für den Nutzer eingeblendet werden, die mit der realen Umgebung interagieren können. Eine der wichtigsten Interaktionen ist die genaue Position der digitalen Informationen in der realen Umgebung. Die Position dieser digitalen Daten muss bei Augmented Reality sich für eine erfolgreiche Nutzung immer am selben geografischen Ort befinden, unabhängig vom Blickwinkel des Nutzers, seiner Blickrichtung oder seiner Höhe. Dies wird über Trackingfunktionen in den entsprechenden AR-Software Anwendungen ermöglicht. In der Anwendung der Augmented Reality gibt es zwei Möglichkeiten: über das Smartphone oder Tablet und über eine AR-Brille, ein sogenanntes HUDSET.

Für den Einsatz "im Geschäftskundenbereich (Business-to Business, B2B) lässt sich AR etwa für das Anzeigen von Wartungsanleitungen für Maschinen und Anlagen nutzen" (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.9). Im Consumer Bereich konnte beobachtet werden, dass durch das Smartphone-Spiel "Pokémon Go" "die Technologie in der Zwischenzeit einen Reifegrad erreicht hat, welcher eine kommerzielle Nutzung durch Endkunden ermöglicht" (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.9).

# 2.3 Historische Entwicklung von Mixed Reality

Bereits in den 1960er Jahren begann der Amerikaner Ivan Sutherland mit der Entwicklung virtueller Welten. Dies geschah lange vor dem ersten Personal Computer. Mit seinem "Head-Mounted Display System, bestehend aus einem Datenhelm sowie einem mechanischen und alternativ ultraschallbasierenden Tracking-System, ermöglichte es dem Betrachter, eine simulierte, wenn auch einfache 3D-Umgebung perspektivisch zu betrachten" (Dörner, R et al, 2019, S. 26). "Es war damals noch so schwer, dass es an der Decke des Raumes befestigt werden musste" (Tönnis, M.; 2010, S.3).



Abbildung 1: Erste AR-Brille von Ivan Sutherland (Quelle: bakkerelkhuizen.de)



Abbildung 2: Nachbau des MARS-Systems von 1997 (Quelle: Dörner, R. et al, Virtual und Augmented Reality, S. 27)

Aufgrund der See-Through-Eigenschaft kann es als erstes AR-System angesehen werden. (vgl. Dörner, R et al, 2019, S.26).

Ende der neunziger Jahre stellte die Columbia University das erste mobile outdoor AR-System für die Fußgängernavigation namens "MARS" vor. Die für die Funktion notwendigen Geräte waren noch so groß, dass dieses Gerät auf einem Rucksack montiert werden musste.

Während zuletzt die Kaufpreise der Virtual Reality Brillen vor allem durch die Vorstellung der Datenbrille "Oculus Rift" im Jahre 2013 deutlich gefallen sind, konnte sich dieser Erfolg für Augmented Reality Brillen bisher nicht einstellen. Bei der Entwicklung der Google Glass scheiterte Google trotz großer Investitionen. Selbst eine der absatzstärksten AR-Brillen, die Microsoft HoloLens, ist noch nicht auf dem Konsumentenmarkt erhältlich

# 2.4 Was ist der Unterschied zu Virtual Reality?

Im Gegensatz zu Augmented Reality konzentriert sich Virtual Reality auf eine Immersion in eine digitale Umgebung. Ziel von VR ist es, den Nutzer so immersiv in eine virtuelle Realität zu versetzten, das die virtuelle Umgebung von ihm als wahr angenommen wird. Üblicherweise wird diese virtuelle Realität mit Hilfe von VR-Brillen oder auch Head-Mounted-Displays (HMD) erzeugt, aber auch Simulatoren kommen dafür zum Einsatz. Die HMD's unterscheiden sich grundsätzlich nach in Funktion und lassen sich in Cardboard, Standalone und rechnergestützte HMD's einteilen. Unter einer Cardboard versteht man eine VR-Brille, die nur mit der Unterstützung eines Smartphones betrieben werden kann. Es handelt sich hierbei also in erster Linie um eine Halterung für das Smartphone. Ein Vorteil der Cardboard VR-Brille ist der sehr geringe Anschaffungspreis. Standalone VR-Brillen benötigen für ihren Einsatz keinen zusätzlichen Computer und werden meist Wireless betrieben. Rechnergestützte VR-Brillen benötigen einen Computer und ihre Funktionsweise ähnelt einem Monitor. Des Weiteren unterscheiden sich die VR-Brillen in der Anzahl ihrer Freiheitsgrade. Mit drei Freiheitsgraden kann die Neigung, nicht jedoch die Position im Raum erfasst werden. Für die korrekte Registrierung im Raum sind sechs Freiheitsgrade nötig. Cardboard Brillen besitzen mit nur drei Freiheitsgraden einen Nachteil zu rechnergestützen HMD's, die über sechs Freiheitsgrade verfügen.



Abbildung 3: Visualisierungsmethoden von Virtual Reality (in Anlehnung an Grothus André et al, Digitale Geschäftsmodel-Innovation mit Augmented Reality und Virtual Reality, S. 17)

# 2.5 Bauweisen von Head-Mounted-Displays

Grundsätzlich werden Head-Mounted-Displays (HMDs) als geschlossene oder als offene Variante angeboten. Während bei einer offenen Bauweise des HMDs das komplette menschliche Sichtfeld zur Verfügung steht, begrenzt das geschlossene HMD das Sichtfeld teils erheblich.





Abbildung 4: Sichtfeld eines HMDs in geschlossener Bauweise im Vergleich zum Gesichtsfeld des Nutzers (Quelle: Dörner, R. et al, Virtual und Augmented Reality, S. 182)

In der Abbildung eines geschlossenen HMD wird ersichtlich, wie das menschliche Sichtfeld durch dessen Nutzung eingeschränkt wird. Nur im orangenen Bereich, also dem Sichtfeld beider Displays, in dem sich beide Augen überschneiden, ist stereoskopisches oder binokulares Sehen möglich. Dieser Bereich hängt bei geschlossenen HMDs von dem Abstand der Displays ab. Der Abstand kann durch verschiedene Optiken vor den Bildschirmen geändert werden. Insbesondere kleine Sichtfelder sind problematisch, da sie "aufgrund der fehlenden peripheren Wahrnehmung zu einem Tunnelblick und damit zu vermehrter Cybersickness" (Dörner, R. et al, 2019, S. 183) und Schwindelgefühlen führen. Ebenso können Probleme beim Nutzer auftreten, wenn es "systembedingt zu Verzögerungen bei der Anzeige kommt, [...] kann dies zu Übelkeit bei Anwendern führen ("operator sickness")" (Wursthorn, S., 2019 S. 24f). Weiterhin kommt bei kleinen Sichtfeldern ungünstig hinzu, dass sich die reale Wahrnehmung nur auf den Bereich vor dem Nutzer konzentriert und er damit Dinge, welche sich neben ihm befinden, nicht wahrnehmen kann. Vor allem an ungeschützten Bereichen, wie zum Beispiel im Freien kann dies zu Unfällen führen, da Objekte wie Autos, Radfahrer, oder Treppen deutlich später wahrgenommen werden.

### **Offene Bauweise**



Abbildung 5: Sichtfeld eines HMDs in offener Bauweise im Vergleich zum Gesichtsfeld des Nutzers (Quelle: Dörner, R. et al, Virtual und Augmented Reality, S. 184)

Bei einer offenen Bauweise tritt das Problem der zu kleinen Sichtfeldern nicht auf, jedoch können virtuelle Inhalte nur innerhalb des Sichtfeldes des HMDs angezeigt werden. Umgesetzt wird das HMD in offener Bauweise mit der Microsoft HoloLens und der Microsoft HoloLens 2. Nachteil dieser Bauweise ist, dass der Bereich, in dem das offene HMD Objekte anzeigen kann, meist deutlich dunkler ist als der Bereich, indem keine Darstellung der Hologramme möglich ist. Vergleichbar ist dies mit einer Sonnenbrille. Bei großen Objekten kann es passieren, dass der Anzeigebereich des offenen HMDs nicht ausreicht, was dazu führt, dass das anzuzeigende Objekt abgeschnitten wird, während der reale Hintergrund durchgängig sichtbar bleibt. "Dieser Effekt zerstört für den Betrachter unmittelbar den Eindruck einer korrekten Registrierung des entsprechenden virtuellen Objektes in der Realität" (Dörner, R. et al, 2019, S. 184).



#### Monokulare oder halboffene Bauweise

*Abbildung 6 Sichtfeld eines HMDs in monokularer Bauweise im Vergleich zum Gesichtsfeld des Nutzers (Quelle: Dörner, R. et al, Virtual und Augmented Reality, S. 183)* 

Eine Mischform der Bauweisen stellen Monokulare, auch halboffene genannte HMDs dar. Monokulare HMDs, "die nur die Sicht eines Auges überlagern, erlauben [zumindest] mit dem anderen Auge eine uneingeschränkte Sicht auf die Umgebung" (Dörner, R. et al, 2019, S. 183). Ein Nachteil dieser Bauweise ist, dass digitale Inhalte nur auf einem Auge sichtbar sind, was eine genaue Positionseinschätzung schwieriger gestaltet als bei reinen geschlossenen oder offenen Bauweisen. Ebenso ist der Bereich, in dem die virtuellen Inhalte angezeigt werden können deutlich kleiner als bei den anderen Bauweisen. Diese Bauform wird vor allem im militärischen Bereich eingesetzt.

# 2.6 Visualisierungsmedien bei Augmented Reality

Die Wahl des Anzeigegeräts und dessen Visualisierungsmediums stellt eine der wichtigsten Entscheidungen für Augmented Reality Anwendungen dar. Sie entscheidet darüber, wie der Nutzer die erweiterte Realität wahrnimmt. "Ein Anzeigegerät ist in diesem Zusammenhang ein Modul, welches in der Lage ist, für das menschliche Auge sichtbare Darstellungen virtueller Objekte zu generieren" (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.10). Grundlegend wird bei den Visualisierungsmedien zwischen mobil und stationär unterschieden. Die mobilen Anzeigegeräte können dabei in kopfbasiert, auch head mounted genannt, oder in handbasiert untergliedert werden. Bei einem kopfbasierten Anzeigegerät wird in der Regel von einer AR-Brille gesprochen, wohingegen bei handbasiert Smartphones und Tablets üblich sind. Anzeigemethoden sind die Projektion, Optical-See-Through (OST), Video-See-Through (VST), oder Retinal Projection Display (RPD). OST und RPD kommen nur bei AR-Brillen, nicht aber bei handbasierten Anzeigegeräten zum Einsatz. Die Wahl des Anzeigegeräts und dessen Visualisierungsmediums muss je nach Anwendungsfall getroffen werden. Die Auswahlkriterien für das richtige Visualisierungsmedium sind dabei so vielfältig, wie verschieden. So muss bereits in der Konzeptionsphase der AR-Anwendung eine Auswahl getroffen werden. Wichtige Entscheidungskriterien sind vor allem, ob es sich um den Privatkundenmarkt oder den Geschäftskundenmarkt handelt, da nicht alle kopfbasierten HMDs für den Privatkundenmarkt verfügbar sind. Auch die Anschaffungskosten, die Präzision, die Kosten des Betriebs, die Handhabung des Geräts und die Anforderung "freier Hände" stellen eine wichtige Entscheidung dar. Jede der Visualisierungsmedien hat dabei Vor- und Nachteile. Die wichtigsten Visualisierungsmethoden werden im Folgenden beschrieben.



*Abbildung 7: Visualisierungsmedien von Augmented Reality (in Anlehnung an Reif, R, Entwicklung und Evaluierung eines Augmented Reality unterstützen Kommissioniersystems, S. 76)* 

### Projektion

Bei der Projektion werden mittels eines Laserprojektors die Elemente direkt in den Raum projiziert. "Ein Sensorsystem, beispielsweise ein Kamerasystem, ermöglicht die Reaktion des Systems auf Änderungen etwa des Orts oder Blickwinkels des Nutzers, sodass diese Anzeigemethode ebenfalls interaktiv ist" (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.11).

#### **Optical-See-Through**

"Bei der Optical-See-Through (OST)-Methode blickt der Nutzer durch ein transparentes bzw. halbtransparentes Medium und nimmt durch dieses weiterhin die reale Umgebung visuell wahr." (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.10). Diese Methode ist bei kopfbasierten und stationären Anzeigegeräten möglich. Ein Beispiel für eine stationäre OST-Methode ist das Head-Up-Display, wie es in PKWs oder Flugzeugen eingesetzt werden. Beispiel für ein kopfbasiertes Anzeigemedium ist die von Microsoft entwickelte HoloLens 2. Bei dieser Visualisierungsmethode wird das Medium, durch das der Nutzer blickt, meist in dem Bereich, in dem digitale Inhalte angezeigt werden, verdunkelt. Vorteil dieser Verdunkelung ist eine höhere Transparenz der digitalen Objekte und damit eine bessere Sichtbarkeit für den Nutzer. Je dunkler dieser Bereich dargestellt wird, desto besser wird die Sichtbarkeit der digitalen Inhalte. Der reale Hintergrund wird jedoch zunehmend schlechter erkannt. Für die ideale Funktionsweise sollte daher die Transparenz des Mediums so eingestellt werden, dass sowohl digitale, als auch reale Objekte gut sichtbar dargestellt werden können.



*Abbildung 8: Vergleich der OST-Methode (links) zur VST-Methode (rechts) (Quelle: Dörner, R. et al, Virtual und Augmented Reality, S. 325)* 

In Abbildung 8 ist diese Verdunkelung durch die OST-Methode gegenüber der VST-Methode dargestellt.

### Video-See-Through

"Bei VST wird die Umgebung über ein Kamerasystem aufgenommen, digitalisiert, mit AR-Daten (d.h. digitalen Elementen und Informationen) angereichert und dann dem Nutzer rein digital über einen Bildschirm dargestellt" (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.11). Für mobile kopfbasierte Geräte kommen hier hauptsächlich HMDs zum Einsatz, die auch für Virtual Reality genutzt werden. Bei HMDs mit geschlossener Bauweise wird der Nutzer, wie auch bei Virtual Reality vollständig von der realen Umwelt abgeschirmt. "Im Unterschied zur Nutzung für VR wird [...] ein Videobild der Realität so eingeblendet, dass für den Nutzer der Eindruck entsteht, als würde er durch die Brille hindurch die Umgebung betrachten können" (Dörner, R. et al, 2019, S. 177). Umgesetzt wird diese Anzeigemethode durch eine oder mehrere Videokameras am HMD. Je nach Aufbau und Platzierung der Kamera, ist bei dieser Visualisierungsmethode die perspektivische Korrektur des Kamerabildes, die Entzerrung und Begrenzung des Blickwinkels sowie die Herausrechnung des translatorischen und rotatorischen Offsets von besonderer Wichtigkeit. Bei fehlender Berücksichtigung können für den Nutzer Schwierigkeiten bei der korrekten Einschätzung von Entfernungen und Größenverhältnisse entstehen. Ein zentraler Nachteil dieser Visualisierungsmethode ist jedoch die reduzierte Auflösung und ein eingeschränkter Dynamikbereich, welche von der Wahrnehmung der realen Welt abweichen.

# **Retinal Projection Display**

Die letzte Anzeigemethode ist das Retinal Projection Display (RPD). "Hier wird ein Bild direkt auf die Netzhaut des Nutzers projiziert, sodass die Illusion einer vor dem Auge schwebenden virtuellen ,Leinwand' entsteht und der virtuelle AR-Inhalt immer im Fokus ist" (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.11). Eingesetzt wird diese Visualisierungsmethode für "Anwendungsfälle, bei denen eine genaue Abstandswahrnehmung erforderlich ist" (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.11). Da für diese Methode kein Display im eigentlichen Sinne benötigt wird, bezeichnet man dieses auch als virtuelles Display. (vgl. Dörner, R. et al, 2019, S. 177) Realisiert wird diese Visualisierungsmethode durch einen Laser, welcher über einen semitransparenten Spiegel oder ein Prisma ins Auge gelenkt wird.

Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Anzeigemethoden sowie deren Einsatzbereiche sind in folgenden Tabellen dargestellt:

Visualisierungsmethode	Auf hellem Hintergrund	Auf dunklem Hintergrund
OST-Methode	Bedingt umsetzbar	Gut umsetzbar
VST-Methode	Gut umsetzbar	Gut umsetzbar
Projektion	Bedingt umsetzbar	Gut umsetzbar

#### Die Darstellung heller virtueller Objekte ist:

*Tabelle 1: Darstellung heller virtueller Objekte abhängig von der Visualisierungsmethode und der Helligkeit des Hintergrundes.* 

#### Die Darstellung dunkler virtueller Objekte ist:

Visualisierungsmethode	Auf hellem Hintergrund	Auf dunklem Hintergrund
OST-Methode	Nicht möglich	Bedingt möglich
VST-Methode	Gut umsetzbar	Gut möglich
Projektion	Nicht möglich	Bedingt möglich

*Tabelle 2: Darstellung dunkler virtueller Objekte abhängig von der Visualisierungsmethode und der Helligkeit des Hintergrundes.* 

Aus den Tabellen wird ersichtlich, dass für die OST-Methode und die Projektionsmethode gerade dunkle virtuelle Objekte und helle reale Hintergründe problematisch sind. Vor allem dunkle virtuelle Objekte erscheinen bei diesen Visualisierungsmethoden teilweise vollkommen transparent, da diese Methoden Inhalte rein optisch darstellen. Sie werden also durch das Hinzufügen von Licht eingebunden. Was dies genau bedeutet, wird in Abbildung 9 ersichtlich.



*Abbildung 9: Darstellung eines virtuellen Objektes mit Helligkeitsverlauf (Quelle: Dörner, R. et al, Virtual und Augmented Reality, S. 324)* 

Die Abbildung zeigt eine rote Kugel, die einen Farbverlauf von hell nach dunkel aufweist. Dargestellt wird dieses virtuelle Objekt durch die OST-Methode. Hier ist zu erkennen, wie die Kugel mit abnehmender Helligkeit transparenter erscheint. An ihrer dunkelsten Stelle ist sie fast vollkommen durchsichtig. Bei der VST-Methode tritt dieses Problem nicht auf, jedoch besitzt der reale Hintergrund bei dieser Visualisierungsmethode vor allem im Vergleich zur OST-Methode nur eine reduzierte Auflösung. Grund hierfür ist die begrenzte Auflösung der Kamera und/oder der verwendeten Displays.

# 2.7 Verdeckungen und Phantomobjekte

Werden digitale Inhalte durch reale Objekte komplett oder teilweise verdeckt, muss dies zwingend in der Augmented-Reality berücksichtigt werden, da sonst die Wahrnehmung des Nutzers und das Verhalten des digitalen Objektes nicht übereinstimmen. Wird dies in der Software der Augmented Reality Anwendung nicht berücksichtigt, entsteht für den Betrachter "ein nicht aufzulösender Konflikt, welches der beiden Objekte eigentlich näher ist, wodurch der Eindruck der korrekten Verortung des virtuellen Objektes in der Realität unmittelbar zerstört wird" (Dörner, R. et al, 2019, S. 337). Dieses Problem lässt sich nur lösen, indem reale Objekte, weiter hinten liegende digitale Objekte ausblenden. Die Ausblendung von digitalen Objekten kann in mehrere Stufen untergliedert werden.

Insbesondere bei HMDs, die mit Gestensteuerung arbeiten, wie zum Beispiel die Microsoft HoloLens 2, verdecken die Hände des Nutzers häufig die digitalen Objekte, die sich in der Regel hinter den Händen befinden. Um die Verdeckung korrekt darzustellen, werden hierbei die Hände identifiziert und anschließend die digitalen Objekte an den entsprechenden Stellen maskiert.

"Bei anderen realen Gegenständen, welche potenziell virtuelle Inhalte verdecken könnten, unterscheidet man zwischen statischen und bewegten Gegenständen" (Dörner, R. et al, 2019, S. 338). Diese Objekte müssen für die korrekte Berechnung der Verdeckung in digitaler Form vorliegen. Zusätzlich muss zwischen der Optical-See-Through-Methode und der Video-See-Through-Methode unterschieden werden. Bei der OST-Methode reicht es aus, die Position und Lage der statischen oder bewegten Objekte zu erfassen und anschließend als schwarze Objekte zu rendern. Grund hierfür ist die in Tabelle 2 dargestellte Eigenschaft, dass dunkle Objekte transparent angezeigt werden. Für die VST-Methode muss hingegen zusätzlich das Phantomobjekt, welches das digitale Objekt verdeckt, mit entsprechendem Tiefenbuffer gerendert werden. Als Phantomobjekt wird ein Objekt bezeichnet, das nur der korrekten Verdeckung von digitalen Objekten dient.



Abbildung 10: links: falsche Verdeckung, in der Mitte: korrekte Verdeckung bei der OST-Methode, rechts: korrekte Verdeckung bei der VST-Methode (Quelle: : Dörner, R. et al, Virtual und Augmented Reality, S. 338)

In Abbildung 10 ist auf der linken Seite ersichtlich, wie die Wahrnehmung durch eine falsche Verdeckung irritiert ist. Dem Nutzer ist es hier nicht möglich zu unterscheiden, welches Objekt weiter entfernt wird. Im mittleren Bild wurde das reale Objekt korrekt erkannt und geschwärzt. Ebenso wurde das digitale Objekt im Bereich der Verdeckung ausgeblendet. Dem Nutzer ist es jetzt wieder möglich, die korrekte Position der einzelnen Objekte wahrzunehmen. Für die OST-Methode reicht dieser Schritt bereits aus, um eine fehlerfreie Wahrnehmung zu erreichen. Für die VST-Methode würde die schwarze Markierung jedoch bestehen bleiben. Deshalb wird, wie im dritten Bild der Abbildung 10 ersichtlich, die schwarze Maske wieder entfernt und durch das reale Objekt ersetzt.

Liegen die realen Objekte allerdings nicht in digitaler Form vor, wie es beispielsweise bei Personen der Fall ist, so muss die Bestimmung der korrekten Verdeckung über ein Kamerasystem erfolgen. Für die Berechnung kann entweder ein zwei-Kamera-System oder eine Tiefenkamera eingesetzt werden. Jedoch bietet letztere Lösung einen Nachteil, da "aufgrund der aktuell noch recht geringen Auflösung und Qualität der Tiefenkameras hier [...] die Abgrenzung in der Regel nicht so scharf [ist], wie bei der Verwendung von Phantomobjekten." (Dörner, R. et al, 2019, S. 338)

# 2.8 Anwendung der Augmented Reality in der Produktion

Die Einsatzmöglichkeiten der Augmented Reality in einem Maschinenbau-Unternehmen sind sehr vielseitig. Sie können dabei nicht nur in der Produktion, sondern auch in vielen weiteren Bereichen, wie im Marketing, im Vertrieb, in der Forschung und Entwicklung sowie im Management eingesetzt werden. Da die Anwendungen in diesen Bereichen sehr unterschiedlich sind, wird im Rahmen dieser Abschlussarbeit nur auf den Bereich der Produktion eingegangen. In diesem Zusammenhang wird AR hauptsächlich für die Themengebiete Wartung und Smart Maintenace, Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit, Prozess- und Qualitätskontrolle, sowie Produktionsplanung und Dokumentation eingesetzt.

# 2.9 Anwendung in Wartung und Smart Maintenace

Für die Unterstützung der Mitarbeiter im Bereich der Wartung und des Services kann AR eine wichtige Rolle übernehmen. Diese wird zunehmend auch in der Schulung von Mitarbeitern eingesetzt, "oft nicht als Ersatz, sondern als [eine] sinnvolle Ergänzung der traditionellen Ausbildung" (Adelmann, R.; 2020; S. 15). So können wichtige Informationen eingeblendet oder dem Mitarbeiter eine Schrittfür-Schritt Anleitung angezeigt werden. Bei Bedarf kann ein Experte angerufen werden, der nicht nur akustische, sondern auch visuelle Hilfestellungen leisten kann. Neue Mitarbeiter lassen sich so, auch ohne die Unterstützung durch einen weiteren Mitarbeiter, schneller produktiv einsetzten. Zudem werden Unregelmäßigkeiten und Abweichungen von realen und digitalen Inhalten mithilfe einer AR-Lösung besser erkannt werden. "Die Mitarbeiter werden dann im Sinne einer ,Smart Maintenance' mit AR unterstützt, sodass sich Maschinenstillstände reduzieren oder gänzlich vermeiden lassen" (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.26).

#### **Remote Service**

Bei der Dienstleistung Remote Service handelt es sich um eine Videokonferenz, die zwischen einer Person vor Ort und einem Experten, die der Person vor Ort Anweisungen gibt, geführt wird. Als weitere Unterstützung kann der Experte Zusatzinformationen, wie Bilder, Dokumente, Videos innerhalb der Videokonferenz in das Sichtfeld der Person einblenden. Ebenso sind Pfeile und freie Markierungen möglich, die unabhängig vom Blickwinkel und Standort der Person vor Ort an ihrem geometrisch bestimmten Standort bestehen bleiben.

Für Unternehmen bietet diese Dienstleistung vor allem deutlich reduzierte Reisekosten und Zeitersparnisse, da in vielen Fällen auf eine persönliche Anreise verzichtet werden kann. "Auf Kundenseite lässt sich ebenfalls die Zeit bis zur Aktivität verkürzen, woraus eine höhere Kundenzufriedenheit aufgrund niedriger Ausfallzeiten und kurzfristiger Unterstützung resultiert" (Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C.; 2021, S.33). Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie im Bereich Service sind neben Wartung und Reparatur auch die Inbetriebnahme neuer Maschinen.

# 2.10 Vorstellung der Microsoft HoloLens 2

Bei der HoloLens 2 handelt es sich um eine Augmented Reality Brille des amerikanischen Herstellers Microsoft. Sie erschien Anfang des Jahres 2019 als enterprise edition und als developer edition. Erst gegen Ende des Jahres 2019 wurde sie auf dem freien Markt erhältlich. Die Microsoft HoloLens 2 gehört zur Produktfamilie Windows 10 und wird mit dem Betriebssystem "Windows 10 Holographic" ausgeliefert. Die HoloLens 2 ist zur Zeit der Abschlussarbeit in mehreren Versionen verfügbar. Neben der Standard-Version ist auch eine Industrial-Edition, die nach ISO 14644-14 und ISO-Klasse 5.0 für regulierte Umgebungen zertifiziert ist, erhältlich. Außerdem kann eine Trimble-XR10 Version, die mit einem Schutzhelm und speziell für laute Arbeitsumgebungen entwickelt wurde, erworben werden. (vgl. microsoft.com)



Abbildung 11: Seitliche Darstellung der Microsoft HoloLens 2 (Quelle: bechtle.com)

# 2.10.1 Hardware der Microsoft HoloLens 2

Ausgestattet ist die HoloLens 2 mit einem Qualcomm Snapdragon 850 Prozessor und einem See-through holographic Display mit einer holografischen Dichte von über 2.500 Radiant. Mit den vier an der Vorderseite angebrachten Lichtkameras wird das Head-, und Handtracking umgesetzt. Die HoloLens 2 unterstützt vollständiges, zweihändiges Handtracking. Gesteuert wird sie über Handtracking oder über Sprachbefehle. Zusätzlich sind in der HoloLens 2 zwei Infrarot Kameras verbaut, mit der die HoloLens 2 die Eyetracking Funktion und den Iris-Scan umsetzt. Außerdem bietet die HoloLens 2 eine W-Lan- sowie eine Bluetoothverbindung an. Microsoft gibt für die HoloLens 2 eine Akkulaufzeit von 23 Stunden bei Benutzung an. Vermarktet wird die HoloLens 2 als reines Entwicklerund Enterprise Produkt und ist folglich nicht für Privatkunden erhältlich. (vgl. microsoft.com)

# 2.10.2 Steuerung der HoloLens 2 durch Gaze/Blick

Die einfachste Form der Bedienung stellt die Eingabe über den Blick dar. Dies geschieht automatisch, sobald das HMD aufgesetzt wird. Durch einen Punkt wird dargestellt, auf welche Position die HoloLens im Moment zeigt. Es wird dabei eine imaginäre Linie von der HoloLens in den Raum erstellt. Trifft diese imaginäre Linie auf ein Hologramm oder ein digitales Objekt, dann wird dieses selektiert und/oder manipuliert. Diese Funktion ist vergleichbar mit dem Mauszeiger eines Computers.



Abbildung 12: Nächsten Arbeitsschritt in einer Microsoft Dynamics 365 Guides Anleitung mittels Gaze/Blick anzeigen.

Um digitale Objekte auszuwählen, muss der Blick, wie in Abbildung 12 ersichtlich, auf eine manipulierbare Schaltfläche fallen. Fokussiert der Nutzer diese Schaltfläche für eine gewisse Zeit, wird ein Ladebalken eingeblendet. Hat der Ladebalken die gesamte Schaltfläche ausgefüllt, wird die entsprechende Funktion gestartet. Der Ladebalken kann, wie in Abbildung 12 als Balken oder als sich füllende Kreisfläche, dargestellt werden.

Die Steuerung durch den Blick kann zusätzlich mit Gesten unterstützt werden, um Objekte oder Hologramme zu selektieren und/oder zu manipulieren. Dazu muss wiederum der Blick auf eine geeignete Schaltfläche fallen. Anschließend kann die Zeit des Ladebalkens mit einer "air tap"-Geste übersprungen werden, welche im Folgenden genauer erläutert wird.

# 2.10.3 Steuerung der HoloLens 2 durch Gesten

Grundlage für eine korrekte Erkennung der Gesten durch die HoloLens 2 ist, dass sich die Hände des Nutzers innerhalb des sogenannten "Gesture Frame" befinden. Dieser Frame ist in Abbildung 13 dargestellt und umfasst den Bereich vor der HoloLens 2. Da die Kameras der HoloLens 2 nach vorne gerichtet sind, passt sich der entsprechende Bereich stets an die Kopfbewegung des Users an. (vgl. docs.microsoft.com)



Abbildung 13: Gesture Frame der HoloLens 2, indem Gesten erkannt werden. (Quelle: docs.microsoft.com)

Die wichtigsten drei Gesten der HoloLens 2 sind in Abblidung 14 und 15 dargestellt und werden im Folgenden erläutert.

- Air tap: Um Hologramme auswählen zu können, muss zusammen mit dem Blick eine sogenannte "air tap" Geste ausgeführt werden. Bei dieser Geste werden Daumen und Zeigefinger ausgestreckt und anschließend wird der Zeigefinger nach unten in Richtung des Daumen bewegt. Für den Nutzer ist diese Geste mit einem Mausklick am Computer vergleichbar.
- 2. Air tap and hold: Beim "air tap and hold" wird, wie der Name es schon aussagt, eine air tap Geste zusammen mit dem Blick ausgeführt. Dabei bleibt der Zeigefinger so lange auf dem Daumen, bis die Funktion beendet werden soll. Mit dieser Geste lassen sich mehrere Aktionen ausführen. Hologramme können mithilfe der Geste beweget, rotiert, skaliert, gezoomt und gescrollt werden.



Abbildung 14: Air tap und air tap and hold Geste (Quelle: docs.microsoft.com)

Hologramme, die sich weiter entfernt befinden, können ebenfalls mit der air tap und der air tap and hold Geste manipuliert werden. Wird die Hand über ein weiter entferntes Hologramm bewegt, erscheinen sogenannte Handstrahlen. Diese Handstrahlen werden durch eine gestrichelte Linie zwischen den Händen und dem Hologramm dargestellt und erfüllen ebenfalls vorab erläuterten Funktionen.

3. Start gesture: Durch die Startgeste öffnet sich das Startmenü der HoloLens. Um diese Geste auszuführen, muss das Handgelenk des Users in den Gesture Frame bewegt werden. Anschließend erscheint auf dem Handgelenk das Microsoft Logo. Dieses muss der User durch eine Berührung des Microsoft-Logos mit der anderen Hand anwählen (siehe Abbildung 15 links). Möchte der User die Geste nur mit einer Hand ausführen, bewegt er sein Handgelenk wieder in den Gesture Frame und berührt mit seinem Zeigefinger seinen Daumen. Diese Bewegung ähnelt der Air tap Geste und ist in Abbildung 15 rechts dargestellt.



Abbildung 15: Einhändige und zweihändige Start Geste (Quelle: docs.microsoft.com)

# 2.10.4 Steuerung der HoloLens 2 durch Sprachsteuerung

Mithilfe der Sprachsteuerung lassen sich Befehle ohne Blicke oder Gesten eingeben. Die Sprache der Sprachbefehle orientiert sich dabei nicht an der Tastatursprache, sondern an der Windows-Anzeigesprache. Die Befehle werden in allgemeine Befehle und Hologramm Befehle untergliedert. Während allgemeine Befehle stets in der Mixed Reality Umgebung verfügbar sind und sich auf die grundlegenden Funktionen der Hololens 2 beziehen, sind Hologramm Befehle nur in Kombination mit dem Blick einsetzbar. Durch die zusätzliche Komponente des Blicks, erkennt die HoloLens 2, welches Hologramm der User manipulieren möchte.

Über den Befehl "Was kann ich sagen?" können dem Nutzer alle verfügbaren Sprachbefehle der HoloLens 2 angezeigt werden. Auch Cortana, die bereits seit der Nutzung des Betriebssystems Windows 10 auf dem PC verfügbar ist, wurde in die Sprachsteuerung der HoloLens 2 integriert. Dadurch lassen sich weitere Befehle ausführen. Um Cortana mit der HoloLens zu starten, ist vor dem eigentlichen Befehl, der Begriff "Hey Cortana" anzufügen.

Ein Nachteil der Sprachsteuerung ist, dass die HoloLens 2 Sprachbefehle nicht in allen Sprachen unterstützt.



# 2.10.5 Die Marktsituation der HoloLens

Abbildung 16: Prognose zur weltweiten Marktentwicklung von Augmented & Virtual Reality (Quelle: statista.com)

Durch die positive Marktentwicklung, die im Bereich der Mixed Reality verzeichnet wurde, profitiert auch die Microsoft HoloLens 2 (siehe Abbildung 16). Die erste

Generation der Microsoft HoloLens wurde laut Microsoft bis 2018 bereits über 50.000 mal verkauft. Insbesondere für ein Produkt, welches nur für Unternehmen erhältlich ist, ist dies eine hohe Verkaufszahl. Für den Vertrieb der HoloLens 2 gibt Microsoft derzeit keine Zahlen bekannt.

# Unterschied zwischen der Microsoft HoloLens 2 und einem Handy/Tablet bei der Nutzung von Augmented Reality Anwendungen

Der größte Unterschied zwischen der Nutzung einer HoloLens und einem Handy/Tablet für AR-Anwendungen liegt in der Anzeigemethode. Die HoloLens verwendet die OST-Methode, wobei das Handy/Tablet die VST-Methode nutzt. Weiterhin handelt es sich bei der HoloLens um ein HMD, welches am Kopf befestigt wird, was den Vorteil bringt, dass dem Nutzer für seine Aufgabe beide Hände zur Verfügung stehen. Große Unterschiede finden sich auch in der Verfügbarkeit und dem Preis der beiden Lösungen.

# 3 Konzepterstellung, -umsetzung und Analyse

# 3.1 Verwendete Programme

#### SolidWorks

SolidWorks ist ein 3D-CAD-Programm, mit dem parametrische Modelle, Baugruppen und Zeichnungen erstellt werden können. Alle in der Arbeit verwendeten CAD-Modelle wurden mittels der Education Edition angefertigt.

#### Blender

Bei der Software Blender handelt es sich um eine open Source 3D-Grafiksuite, welche zum Animieren, Texturieren und Modellieren von Körpern verwendet wird. Genutzt wurde diese Software zum Umwandeln der CAD Modelle. Da Microsoft Dynamics 365 Guides die standardmäßige Dateiendung von SolidWorks ".SLDPRT" nicht unterstützt, wurde diese im ersten Schritt mit SolidWorks als ".ply" Datei gespeichert. Anschließend wurde diese Datei in Blender importiert und als ".glb" exportiert.

#### Microsoft Dynamics 365

Mit Microsoft Guides wurde die Augmented Reality Anleitung umgesetzt, welche in dieser Arbeit thematisiert wird. Bei Microsoft Dynamics 365 handelt es sich um Anwendungen der Firma Microsoft, die Unternehmen ein Repertoire an intelligenten Geschäftsapplikationen bieten. Firmen können die Anwendungen nutzen, um sich im Bereich Vertrieb, Marketing, Service, Finanzen, Handel und Lieferketten weiterzuentwickeln und diese Abläufe zu digitalisieren. Microsoft Dynamics 365 Guides gehört zur Produktgruppe Microsoft Dynamics Mixed Reality, welches neben Guides auch Remote Assist und Layout beinhaltet.

#### Microsoft Dynamics 365 Guides

In Microsoft Dynamics 365 Guides können Augmented Reality Anleitungen für HMDs wie beispielsweise die Microsofts HoloLens 2 erstellt werden. Da der Fokus dieser Arbeit auf dem Erstellen einer Augmented Reality Anleitung mittels Microsoft Dynamics 365 Guides liegt, wird dessen Funktionsweise in Kapitel 3.2 und 3.3 ausführlich erläutert.

#### Microsoft Remote Assist

Auch Microsoft Remote Assist gehört, wie Microsoft Guides, zur Produktgruppe Microsoft Dynamics 365. Mit Microsoft Remote Assist ist es möglich, mithilfe von Videoanrufen eine Verbindung zwischen zwei Mitarbeitern herzustellen. Der Videoanruf wird dabei zwischen einem Remotemitarbeiter, welcher die Dynamics 365 Assist-App nutzt und einem Mitarbeiter, welcher Microsoft Teams nutzt, geführt. Während des Videoanrufs ist es möglich, Augmented Reality Anmerkungen, Bilder und Dokumente einzufügen. Die Dynamics 365 Assist-App ist für Smartphones und Tablets sowie für die Microsoft HoloLens 2 verfügbar.

# 3.2 Funktionsweise von Microsoft Dynamics 365 Guides

Zu Beginn jeder Anleitung wird zuerst eine neue Anleitung erstellt und benannt. Dieser Name sollte so gewählt werden, dass er möglichst präzise und kurz die Aufgabe beschreibt. Anschließend kann mit der Erstellung der einzelnen Aufgaben fortgefahren werden. Die Aufgaben stellen den groben Aufbau der Anleitung dar und gliedern sie. Um auch neuen Mitarbeitern oder der Bearbeitung nach einer längeren Zeitdifferenz den Einstieg in die Arbeit mit der Anleitung zu erleichtern, ist bei der Erstellung der Aufgaben auf Strukturiertheit und treffende Formulierungen zu achten. Eine neue Aufgabe kann erstellt werden, indem der Ersteller die Maus in den Raum zwischen zwei bereits bestehende Aufgaben bewegt. Es erscheint dabei ein Strich in dessen Mitte sich die Schaltfläche "Aufgabe hinzufügen" befindet. Wird diese Schaltfläche angewählt, wird eine neue Aufgabe erstellt.

# 3.2.1 Neue Arbeitsschritte hinzufügen

Um innerhalb der Aufgabe neue Arbeitsschritte hinzuzufügen, wird die Schaltfläche *"*+" verwendet. Dabei kann zwischen den Optionen *"*Schritt hinzufügen", *"*Frageschritt hinzufügen" und *"*Abschlussschritt hinzufügen" ausgewählt werden.



Abbildung 17: Schritt

Abbildung 18: Frageschritt

### Schritt hinzufügen (Abbildung 17)

Bei einem Schritt handelt es sich um eine einfache Anweisung, die auszuführen ist. Sie besitzt zwei Schaltflächen an den oberen beiden Ecken, über die innerhalb der HoloLens 2, die Anleitung vor- oder zurückgeschaltet werden kann. Zusätzlich kann bei einem Schritt über die Schaltfläche "Aktion" eine Website oder eine Power-App hinzugefügt werden.

#### Frageschritt hinzufügen (Abbildung 18)

Bei einem Frageschritt existiert nur eine der beiden oberen Schaltflächen. Im Unterschied zu einem Schritt wurde die Schaltfläche zum Weiterschalten der Anleitung entfernt. Wird ein Frageschritt verwendet, ist zuerst die Frage zu formulieren. Anschließend werden die Antwortmöglichkeiten beschriftet. In der Mitte des Fensters können bis zu drei verschiedene Antwortmöglichkeiten eingeblendet werden. Um eine neue Antwortmöglichkeit hinzuzufügen, nutzt der Bearbeiter das "+"-Symbol mit dem Text "Antwort", wie in Abbildung 18 ersichtlich ist. Ist dies geschehen, muss jede beschriftete Schaltfläche mit einem Schritt in der Anleitung verbunden werden. Da Microsoft Guides keine Verzweigungen erstellen kann, kann mit einem Frageschritt nur ein Teil der Anleitung übersprungen, oder wiederholt werden.

#### Abschlussschritt hinzufügen

Mit einem Abschlussschritt wird, wie der Name beschreibt, die Anleitung beendet. Er enthält nur eine Schaltfläche, mit der zurückgeschaltet werden kann. In diesen Schritt können, wie in den beiden anderen Schritten, Bilder und Hologramme eingefügt werden. Ebenso enthält dieser Schritt in der Mitte des oberen Randes einen grünen Haken, der symbolisiert, dass die Anleitung erfolgreich abgeschlossen wurde.

# 3.2.2 Bilder und Hologramme einfügen

Bilder und Hologramme werden in der Bibliothek auf der linken Seite von Microsoft Guides abgebildet. Dabei bietet die Anwendung bereits vorgefertigte Hologramme mit grundlegenden Objekten, wie verschiedene Pfeile oder Hände, an. Damit eigene Hologramme und Bilder in eine Microsoft Guides Anleitung eingefügt werden können, müssen diese zuerst importiert werden. Um gezielte Arbeitsschritte genauer zu erläutern, kann der Nutzer zusätzlich Videos als Anschauungsmaterial einfügen. Dazu kann das gewünschte Objekt per drag-anddrop oder per Klick auf die Schaltfläche "Importieren" in die Microsoft Cloud hochgeladen werden. Anschließend werden die importierten Elemente automatisch in der Bibliothek abgebildet, welche in Abbildung 19 zu sehen ist. Damit Elemente einem Arbeitsschritt hinzugefügt werden, muss nach dem Importieren das gewünschte Objekt erneut per drag-and-drop in den Medienbereich oder den 3D-Teile Bereich integriert werden. Es können maximal acht verschiedene Hologramme und ein Bild oder ein Video eingefügt werden.



Abbildung 19: 3D-Toolkit mit vorgefertigten Hologrammen (links), importierte eigene Bilder (rechts)

Um eigene Hologramme einzufügen, müssen diese auch per drag-and-drop oder über die Schaltfläche importiert werden. Bei der Verwendung eigener Hologramme ist darauf zu achten, dass Microsoft Guides zur Zeit dieser Abschlussarbeit nur bestimmte Dateiformate unterstützt. Da mit dem Dateiformat ".glb" durch vorherige Tests sehr gute Erfahrungen bezüglich Optik und Detailgrad erzielt wurden, wurde dieses für die Erstellung eigener Hologramme im Rahmen der Abschlussarbeit gewählt.

# 3.3 Anker erstellen in Microsoft Dynamics 365 Guides

Für die Ausführung einer Microsoft Guides Anleitung muss zu Beginn ein sogenannter Anker erstellt werden. Dieser Anker kann digital oder real erstellt werden. Der Anker stellt den Bezugspunkt dar, an dem sich alle digitalen Objekte orientieren. Werden im Verlauf einer Anleitung digitale Objekte eingefügt, speichern diese ihre Position immer relativ zum Anker. Es gibt mehrere Möglichkeiten, einen Anker in Guides einzufügen. Dabei kann entweder ein holografischer Anker, ein kreisförmiger Code-Anker, eine QR-Code-Verankerung oder ein Azure Object Anker verwendet werden. Die Wahl der Verankerungsmethode ist stets situationsabhängig. Im folgenden Abschnitt werden alle Verankerungsmethoden mit ihren Besonderheiten erklärt.

# 3.3.1 Holografischer Anker

Bei der Verankerung mittels holografischem Anker handelt es sich um ein digitales CAD-Modell, das einem physischen Objekt in der realen Welt entspricht. Um einen Anker zu erstellen, muss bei dieser Methode zuerst ein passendes CAD-Modell entwickelt werden. Bei der Wahl eines geeigneten CAD-Modells sind die Größe, die Platzierung und die Form entscheidend. Das Modell benötigt für die optimale Erkennung eine Größe, die laut Microsoft idealerweise in etwa der eines Schuhkartons entspricht. Ebenso ist die Platzierung des Ankers wichtig. Es sollte ein CAD- Abbildung 20: Modell gewählt werden, dass sich zentral im Bearbeitungsbereich die befindet, da



Abbildung 20: Verankerungsmethode "Holografischer Anker" (Quelle: docs.microsoft.com)

holografischen Objekte umso genauer positioniert werden können, je näher sie sich am Anker befinden. Für die Form des Modells ist eine unregelmäßige Kontur von Vorteil. Das Modell sollte mit klaren Kanten und Ecken, sowie möglichst asymmetrisch sein, damit der Anker exakt ausgerichtet und nicht fälschlicherweise um 180° gespiegelt ist. Weitere wichtige Aspekte bei dieser Verankerungsmethode sind die Erkennbarkeit und die Ausrichtung. Das Modell für die Verankerung muss so gewählt werden, dass der User die gewünschte Verankerung leicht finden und erkennen kann. Er sollte das CAD-Modell ohne Einschränkungen an der gewünschten Position platzieren können. Ebenso sollte die Verankerung nur von einer Richtung zugänglich sein, damit das Modell immer von der gleichen Seite ausgerichtet wird. Dadurch wird die Wiederholbarkeit gewährleistet. Das obenstehende Bild (Abbildung 20) von Microsoft erfüllt die meisten dieser Anforderungen, jedoch ist dieses Modell symmetrisch, was zu einer falschen Ausrichtung der digitalen Informationen in der Anleitung führen kann. Für die korrekte Positionierung sollte der User das Modell immer aus mehreren Blickwinkeln betrachten. Diese Verankerungsmethode ist für HoloLens 1 und HoloLens 2 Geräte verfügbar. (vgl. docs.microsoft.com)

# 3.3.2 Kreisförmiger Code-Anker

Bei der Verankerung mittels kreisförmigem Code-Anker handelt es sich um einen quadratischen Anker, in dem mehrere unterschiedliche Kreise zu finden sind. Diese werden mit der HoloLens zu Beginn der Anleitung gescannt. Um diesen Anker verwenden zu können, wird während der Erstellung des Ankers eine PDF-Datei generiert, welche anschließend ausgedruckt werden muss. Wichtig bei dieser Verankerungsmethode ist die Größe des kreisförmigen Code-Ankers, da die HoloLens nur bei einer bestimmten Größe die bestmögliche Ausrichtungsgenauigkeit erzielen kann. Auch die Oberfläche des Ankers ist von Bedeutung. So sollte



*Abbildung 21: Verankerungsmethode "circular code anchor" (Quelle: docs.microsoft.com)* 

der Anker auf einer matten und geraden Oberfläche angebracht werden. Wird der Anker laminiert, um diesen beispielsweise vor Wasser, Schmutz oder Kühlschmierstoff zu schützen, wird durch die Lichtreflektion der Scann-Vorgang beeinträchtigt. Ebenso kann ein gekrümmter Untergrund zu einer Verzerrung des Ankers führen, was wiederum den Scann-Vorgang erschwert. Der Anker sollte an einem möglichst statischen Objekt angebracht werden, da wie unter 3.2 beschrieben, die digitalen Objekte relativ zum Anker gespeichert werden. Wird der Anker auf einem beweglichen Objekt positioniert und dieses Objekt anschließend bewegt, verändern sich die Positionen der digitalen Objekte mit dem Anker. Dies kann dazu führen, dass die digitalen Objekte nicht weiter an der gewünschten Position erscheinen. Auch die Entfernung zwischen Anker und Brille spielt für die Genauigkeit beim Scann-Vorgang eine wichtige Rolle. Dieser sollte laut Microsoft für eine ideale Präzision bei 60 bis 80 cm liegen. Diese Verankerungsmethode ist für HoloLens 1 und HoloLens 2 Geräte verfügbar. (vgl. docs.microsoft.com)

### 3.3.3 QR-Code-Verankerung

Bei der Verankerung mittels QR-Code-Verankerung handelt es sich um einen rechteckigen Anker, in dem ein QR-Code zu sehen ist. Dieser QR-Code, der durch Microsoft Guides erstellt wird, ist für jede Anleitung gleich. Er kann im Unterschied zum kreisförmigen Code-Anker in verschiedenen Größen ausgedruckt werden. Um den Anker in der realen Umgebung leichter zu finden, kann während der Erstellung des QR-Code-Ankers ein Bild sowie eine Beschreibung des Standortes eingefügt werden. Zusätzlich kann ein sogenannter Deep-Link für diese Verankerung



sogenannter Deep-Link für diese Verankerung Abbildung 22: Verankerungsmethode "QR-Code" eingefügt werden. Um einen Deep-Link verwenden zu (Quelle: docs.microsoft.com)

können, muss jedoch ein eigener QR-Code erstellt werden. Der QR-Code, den Microsoft Guides bereitstellt, ist für diese Funktion nicht verfügbar. Der eigene QR-Code kann mittels eines Drittanbieters erstellt werden. In diesem QR-Code wird anschließend der Link der gewünschten Anleitung eingefügt. Bei der Erstellung des eigenen QR-Codes sind mehrere Aspekte wichtig. Der Rand des Codes benötigt eine Größe von mindestens vier, welche der Anzahl der schwarzen Quadrate um den Rand entspricht, ist dieser Wert kleiner als vier kann es zu einer verschlechterten Erkennungsquote der HoloLens 2 kommen. Ebenso benötigt der Code für die korrekte Erkennung bestimmte Vordergrund- und Hintergrundfarben (laut Microsoft: Hex#000000 und Hex#BBBCBF). Außerdem muss der QR-Code dem Typ Text oder Rohtext entsprechen, da es bei der Auswahl einer URL-Einstellung zu einem Nichterkennen des Ankers führen kann. Durch die Verwendung eines eigenen QR-Codes und der Einbettung eines Deep-Links wird die gewünschte Anleitung automatisch geöffnet. Der User muss die Anleitung nicht aus der Übersichtsliste auswählen.

Beim Verwenden dieser Verankerungsmethode muss auf dieselben Aspekte bezüglich Positionierung und Material des Ankers, wie beim kreisförmigen Code-Anker, geachtet werden. Jedoch muss zusätzlich auf den Kontrast des QR-Codes geachtet werden. Dieser sollte für einen idealen Scann-Vorgang so eingestellt werden, dass die Vordergrundfarbe schwarz und die Hintergrundfarbe auf 30% grau eingestellt ist. Der von Microsoft Guides erstellte Anker besitzt diesen Wert automatisch, wird ein eigener QR-Code verwendet, muss diese Farbwahl entsprechend eingestellt werden. Bei der idealen Entfernung zwischen Anker und HoloLens gibt Microsoft einen Wert von 50 bis 150 cm an. Die QR-CodeVerankerungsmethode ist ausschließlich für die Microsoft HoloLens 2 verfügbar. (vgl. docs.microsoft.com)

# 3.3.4 Azure Object Anker



Abbildung 23: Verankerungsmethode "Azure Object Anchor"

Bei der Verankerung mittels holografischem Anker handelt es sich um ein digitales CAD-Modell, das einem physischen Objekt in der realen Welt entspricht. Die HoloLens 2 kann diesen Anker selbstständig erkennen. Damit die HoloLens 2 den Anker scannen und erfassen kann, muss ein passendes CAD-Modell erstellt und in Microsoft Guides eingefügt werden. Voraussetzung für diese Verankerungsmethode ist, dass es sich bei dem gewünschten Anker um ein statisches Objekt handelt, das in jeder Dimension 1-10 Meter groß ist. Weiterhin sollte das Modell, wie auch bei der holografischen Verankerung, klare Ecken und Kanten aufweisen. Es sollte asymmetrisch sein, sodass der Anker exakt ausgerichtet und nicht fälschlicherweise um 180° gespiegelt ist. Ebenso sollten keine Objekte als Anker ausgewählt werden, die hauptsächlich aus dünnen Rohren oder Drähten bestehen. Beim Material ist darauf zu achten, dass das gewünschte Objekt nicht aus dunklen, reflektierenden oder transparenten Materialien besteht. Die HoloLens 2 kann dunkle Materialien nur schwer, reflektierende und transparente Materialien nicht erkennen. (vgl. docs.microsoft.com)

Diese Verankerungsmethode ist seit der Microsoft Guides Lösungsversion 600.3.0.1 (Juli 2021) verfügbar. Um das CAD-Modell in Microsoft Guides einfügen
zu können, muss nach dem Erstellen des Modells, das CAD-Modell in ein Dateiformat umgewandelt werden, das Microsoft Guides unterstützt. Möglich sind hier die Dateiformate ".obj, .fbx, .glb, .gltf, .ply", wobei auf eine maximale Dateigröße von 150 MB zu achten ist. Weiterhin muss beim Einfügen des CAD-Modells in Microsoft Guides die richtige Ausrichtung eingestellt werden, da die HoloLens 2 sich beim Scannen des Ankers auf die zuvor eingegebene Ausrichtung bezieht. Wurde eine falsche Ausrichtung gewählt, kann die HoloLens 2 das Objekt nicht erkennen. (vgl. docs.microsoft.com)

Ist das CAD-Modell eingefügt, kann die HoloLens 2 das entsprechende reale Objekt scannen. Dazu muss zu Beginn der Anleitung die Schaltfläche "Scan starten" ausgewählt werden. Der User muss anschließend mit der HoloLens 2 auf das reale Objekt blicken, das den gewünschten Anker darstellt. Der Fortschritt wird über blaue Raster, die sich über den gewünschten Anker legen, angezeigt. Je nach Größe des Ankers, muss der User für das erfolgreiche Erkennen, den Anker aus mehreren Blickwinkeln scannen. Sobald der Scan-Vorgang abgeschlossen ist, färbt sich der Anker grün, wie in Abbildung 23 ersichtlich. Ein Vorteil dieser Verankerungsmethode gegenüber der Verankerungsmethode mittels kreisförmigen- oder QR-Code-Verankerung besteht darin, dass auf einen physischen Marker verzichtet werden kann. Die Azure Object Verankerungsmethode ist ausschließlich für die Microsoft HoloLens 2 verfügbar. (vgl. docs.microsoft.com)

Microsoft gibt für diese Verankerungsmethode ein hohes Maß an Genauigkeit an. Beim Verwenden dieser Verankerungsmethode ist jedoch aufgefallen, dass nur eine Wiederholgenauigkeit von ca. 10 cm möglich ist.

# 3.3.5 Genauigkeit der HoloLens 2 verbessern

Um die Genauigkeit der HoloLens 2 zu verbessern, müssen sämtliche Aspekte der in den einzelnen Verankerungsmethoden beschriebenen Verbesserungen, umgesetzt werden. Zusätzlich können auch allgemeine Maßnahmen getroffen werden. So kann die HoloLens 2 zu Beginn der Nutzung auf den Pupillenabstand des Users ausgerichtet werden. Dazu erscheint beim Aufsetzen der HoloLens 2 die Augenkalibrierungs-App, um den Pupillenabstand und das Eye-Tracking für den jeweiligen Nutzer zu optimieren. Sobald diese Kalibrierung erfolgreich abgeschlossen ist, wird nicht nur die Genauigkeit der HoloLens 2 verbessert, auch ein Verrutschen des Gerätes auf dem Kopf des Users kann die HoloLens 2 nach der Kalibrierung automatisch erkennen.

Weiterhin kann zur Verbesserung der Genauigkeit die Umgebung vorab gescannt werden. Dieser Vorgang wird automatisch von der HoloLens 2 gestartet, sobald das Gerät aktiviert und ein Benutzer angemeldet ist. Das Scannen der Umgebung wird optimiert, wenn die HoloLens 2 den Raum aus verschiedenen Blickwinkeln scannen kann. Dazu bewegt sich der Nutzer vor dem Starten von Microsoft Dynamics 365 Guides im Raum. Die HoloLens 2 speichert beim Scannen des Raumes automatisch alle Daten ab und die Hologramme können anschließend genauer positioniert werden. Microsoft empfiehlt, das Startmenü während des Scan-Vorgangs auszublenden und den Blickwinkel zu verändern, indem der User nach oben und unten blickt.

# 3.4 Verwendete Anker

Für die Anleitung wurde eine Verankerung mittels Azure Objects verwendet. Grund hierfür ist die nutzerfreundliche Bedienung. Der User startet die Anleitung und kann anschließend direkt die Maschine scannen. Ein Suchen des physischen Markers, wie er in der kreisförmigen- und der QR-Code-Verankerung verwendet wird, entfällt bei dieser Methode. Ebenso erfüllen die Anker monoBLOCK und DMU DMU 65 75 monoBLOCK alle Anforderungen, die für eine Verankerung mittels Azure Object nötig sind. So besitzen die Maschinen eine Größe zwischen einem und zehn Meter, sind asymmetrisch und statisch. Einzig die große Glasscheibe und die schwarze Tür auf der Vorderseite erschweren den Scan-Vorgang geringfügig. Da das Steuerungsterminal bei diesen Maschinen beweglich und damit nicht Abbildung 24: DMU 75 monoBLOCK mit statisch ist, ist es empfehlenswert, dieses



eingeklappten Steuerungsterminal

während dem Scan-Vorgang, wie im CAD-Modell und in Abbildung 24 dargestellt, einzuklappen.

Da DMG MORI mehrere Maschinen mit einem identischen Riementrieb der C-Achse im Produktportfolio anbietet, kam im Verlauf dieser Arbeit der Wunsch auf, die Anleitung so zu gestalten, dass sie Maschinentypen übergreifend ist. Jedoch unterscheidet sich die zusätzliche Maschine, ein Bearbeitungszentrum des Typs DMU 65 H in seiner Kontur deutlich von den beiden anderen Maschinen. Dies führt zu Problemen, da bei der Verankerungsmethode Azure Objects nur ein CAD-Modell eingefügt werden kann. Deshalb wurde sich in der Erweiterung der Anleitung für die Verankerungsmethode "QR-Code-Verankerung" entschieden. Da bei allen drei Maschinentypen ein identischer Maschinentisch verbaut wurde, wurde für die Platzierung des physischen Ankers die Unterseite des Tisches verwendet. Ein weiterer Vorteil ist die erhöhte Genauigkeit der digitalen Objekte, wenn sich der Anker in unmittelbarer Nähe des Wartungsbereichs befindet.

# 3.5 Allgemeines zur Wartung

Für die mit Augmented Reality beschriebene Anleitung wurde zusammen mit DMG MORI eine Wartung gewählt, welche bei Kunden der DMG MORI AG nach einem bestimmten Zeitintervall vorgenommen werden muss. Durch die Komplexität der Wartung, waren Mitarbeiter der Instandhaltung bisher auf eine schriftliche Anleitung angewiesen. Für die Durchführung der Wartung wird spezielles Werkzeug namens "Stirnzapfenschlüssel" (Abbildung 25) benötigt.

Um die Wartung des Riementriebes erfolgreich abzuschließen, ist es wichtig, eine exakte Abfolge einzuhalten. Ebenso besteht durch eine Vielzahl von Objekten am Riementrieb Verwechslungsgefahr, welche durch die Nutzung einer Augmented Reality Anleitung mit der HoloLens 2 vermieden wird. Durch die Anbringung der HoloLens 2 am Kopf, ist die Ausführung dieser Wartungsarbeit mit beiden Händen möglich.

Entwickelt wurde die Anleitung für einen Mitarbeiter aus der Instandhaltung, welcher über Kenntnisse der Maschinensteuerung und der Elektrik besitzt.

# 3.6 Durchführung der Wartung auf konventioneller Art

Für die Durchführung der Wartung muss zu Beginn der Tisch geschwenkt werden. Dies ist nötig, um an den Riementrieb auf der Unterseite des Maschinentisches zu gelangen. Anschließend wird die Verkleidung des Riementriebes durch Lösen der Innensechskantschrauben demontiert. Ist die Verkleidung entfernt, wird als nächstes die Bremse der C-Achse überbrückt. Abhängig von der Steuerung muss dazu ein bestimmter Stecker aus dem Motormodul und zwei Kabel aus diesem anschließend Stecker entfernt werden. Diese werden mit einem Verlängerungskabel an einem 24 V oder einem 0 V Anschluss angeschlossen. Hierzu kann ein externer Stromanschluss oder der verbaute 24 V, bzw. 0 V Anschluss in der Maschine verwendet werden. Um zu testen, ob die Bremse der C-

Achse erfolgreich überbrückt wurde, kann an einem der beiden Spannsegmente, die sich unterhalb der Verkleidung des Riementriebes befinden, ein Segment mit einem Drehmomentschlüssel bewegt werden. Blockiert das Spannsegment beim Bewegen des Drehmomentschlüssels, war das Lösen der Bremse nicht erfolgreich und muss erneut durchgeführt werden. Konnte die Bremse erfolgreich gelöst werden, müssen die Innensechskantschrauben beider Spannsegmente gelöst werden. Anschließend wird eines der beiden Spannsegmente mit 5 Nm wieder festgezogen. Ist eines der Segmente freigängig und das andere festgezogen, wird einem zwischen den beiden Spannsegmenten die Frequenz mit Frequenzmessgerät gemessen. Dieser Wert spielt später für die Wartung eine wichtige Rolle und sollte deshalb notiert werden. Anschließend wird das lose Spannsegment unter Vorspannung wieder festgezogen. Dazu wird ein Spezialwerkzeug benötigt, ein sogenannter Stirnzapfenschlüssel (Abbildung 25).



Abbildung 25: Spezialwerkzeug "Stirnzapfenschlüssel"

Dieser Stirnzapfenschlüssel besteht aus zwei beweglichen Armen, an deren Enden sich jeweils eine Schraube befindet. Diese Schrauben werden in zwei dafür vorgesehene Vertiefungen des Spannsegmentes eingeführt. Mit dem Stirnzapfenschlüssel wird das gelöste Spannsegment vorgespannt. Dazu wird der Stirnzapfenschlüssel gegen den Rand der Abdeckung (Abbildung 26) gelehnt dadurch fixiert. Alternativ kann eine Schraube der Abdeckung durch eine längere Schraube ausgetauscht werden und als Fixierungspunkt für den Stirnzapfenschlüssel dienen. Mit einem Drehmomentschlüssel wird anschließend das Spannsegment mit 15 Nm vorgespannt. Der Stirnzapfenschlüssel drückt während der Vorspannung gegen die Abdeckung oder Schraube und verhindert damit, dass sich das Spannsegment aufgrund der gelösten Bremse bewegen kann und seine Vorspannung verliert.



Abbildung 26: Vorspannen des unteren Spannsegmentes mit einem Drehmomentschlüssel und einem Stirnzapfenschlüssel

Die Innensechskantschrauben des Spannsegmentes werden festgezogen, während die Vorspannung von 15 Nm anliegt. Nun wird die Frequenz zwischen den beiden Spannsegmenten erneut gemessen und mit der ersten Messung verglichen. Die Frequenz bei der zweiten Messung sollte jetzt kleiner als der Messwert der ersten Messung sein. Ist dies nicht der Fall, so müssen beide Spannsegmente erneut gelöst werden und alle beschriebenen Schritte wiederholt werden. Ist der Messwert der zweiten Messung geringer als der der ersten Messung, so kann mit der Anleitung fortgefahren werden. Ebenfalls muss die Frequenz zwischen dem unteren Spannsegment und dem Motor gemessen werden. Der Wert der Frequenz sollte sich hierbei in einem Bereich von 140 Hz bis 147 Hz befinden. Liegt der Messwert innerhalb dieses Bereiches, kann mit der Montage des Riementriebes begonnen werden. Befindet sich der Messwert außerhalb dieses Bereiches, muss der Motorflansch gelöst werden. Dazu müssen die vier Schrauben, die den Motorflansch befestigen, gelöst werden. Anschließend kann über eine Schraube, die sich zwischen dem Motorflansch und dem Gehäuse des Tisches befindet, die Motorplatte bewegt werden. Wird die Motorplatte über die Schraube nach links gedrückt, entfernt sie sich vom unteren Spannsegment und die Frequenz nimmt zu. Wird die Motorplatte nach rechts bewegt, wird der Abstand zum Spannsegment verringert und die Spannung im Riemen lässt nach. Wurde der Motorflansch in den optimalen Frequenzbereich bewegt, werden die vier Befestigungsschrauben wieder festgezogen. Anschließend kann mit der Montage begonnen werden.

Dazu werden zuerst die Kabel, welche die Bremse lösen, wieder von den 24 V bzw. vom 0 V Anschlüssen getrennt. Diese werden dann an ihrem ursprünglichen Steckplatz angeschlossen und dieser wird wieder in das Motormodul verbaut. Der Schaltschrank kann geschlossen werden und die Abdeckung des Tisches kann wieder montiert werden. Damit ist die Wartung abgeschlossen.

# 3.7 Erstellung der Anleitung mittels Microsoft Guides

Im Rahmen der Anleitung werden folgende Aufgaben beschrieben. Zunächst werden die notwendigen Werkzeuge bereitgestellt. Es folgt die Demontage, das Lösen der Bremse, das Einstellen der Frequenz, das Lösen des Motorflansches und die Montage. Als Anker wurde der bereits beschriebene Azure Object Anker verwendet, mit dem die Fräsmaschine vor dem Beginn der Anleitung gescannt wird. Diese Anleitung ist für Maschinen der Baureihen DMU 65 monoBLOCK und DMU 75 monoBLOCK einsetzbar.

## 3.7.1 Werkzeug

Zu Beginn der Anleitung werden die benötigten Werkzeuge eingeblendet. Dadurch kann der Mitarbeiter die Werkzeuge noch vor der Durchführung der Anleitung zurechtlegen, um einen reibungslosen Ablauf zu garantieren. Für die Anleitung werden mehrere Innensechskantschlüssel, ein Frequenzmessgerät und ein Drehmomentschlüssel, welcher für einen Bereich von 5 – 15 Nm ausgelegt ist, benötigt. Außerdem braucht der Nutzer das Spezialwerkzeug "Stirnzapfenschlüssel" sowie ein Verlängerungskabel oder einen Adapter zum Lösen der Bremse.

# 3.7.2 Demontage

Wurden alle Werkzeuge bereitgelegt, startet die Anleitung zur Wartung des Riementriebes. Dazu muss zuerst sichergestellt werden, dass sich kein Schraubstock und kein Werkstück auf dem Maschinentisch befindet. Dies ist wichtig, da es sonst bei Rotation des Tisches zu einer Beschädigung der Maschine kommt. Die Tür wird anschließend geschlossen und über das Steuerterminal verriegelt. Die Z-Achse wird bis zum oberen Anschlag gefahren, damit genug Platz ist, den Tisch zu schwenken. Befindet sich die Z-Achse auf dem oberen Endanschlag, kann der Maschinentisch auf +120 Grad geschwenkt werden. Diese Position des Tisches wurde so gewählt, dass für die Wartung eine möglichst optimale Zugänglichkeit aller Schrauben gewährleistet ist. Die Tür kann daraufhin über das Steuerterminal entriegelt und geöffnet werden. Abschließend wird der Not-Aus-Schalter betätigt. Dieser Schritt ist aus sicherheitstechnischen Gründen nötig, um die Maschine gegen eine versehentliche Bedienung abzusichern. Somit ist sichergestellt, dass weder der Nutzer noch ein weiterer Mitarbeiter die Maschine während des Wartungsvorgangs starten kann. Diese Anleitung ist für einen Mitarbeiter ausgelegt ist, welcher versiert in der Funktionsweise und Steuerung einer Fräsmaschine ist. Deshalb werden die Arbeitsschritte 1 – 6 (Abbildung 27) in der Anleitung nur knapp, ohne zusätzliche Hologramme und mit wenigen Bildern dargestellt. Da die HoloLens 2 so eingestellt wurde, dass sie alle Schritte laut vorliest, wurde bei der Formulierung der akustischen Befehle auf eine kurze und präzise Sprache geachtet. Das erhöht die Akzeptanz für die Verwendung der Anleitung bei erfahreneren Mitarbeitern.





Anschließend wird die Verkleidung auf der Unterseite des Tisches demontiert. Dazu müssen sämtliche Schrauben an der Verkleidung gelöst und entfernt werden. Um dem Nutzer aufzuzeigen, welche Schrauben entfernt werden müssen, wurden diese als Hologramme eingefügt. Die Hologramme der Schrauben schweben bei diesem Anleitungsschritt etwas über den realen Schrauben, damit die Position der realen Schrauben schnell erkannt werden kann. Somit werden die realen Schrauben während des Arbeitsprozesses nicht durch die Hologramme überlagert. Eine Überlagerung der digitalen und realen Schrauben kann durch die hohe Helligkeit der Hologramme dazu führen, dass der Nutzer die realen Schrauben nicht mehr wahrnehmen kann und zum Ausführen des Anleitungsschrittes die HoloLens 2 abnehmen muss. Weiterhin enthält dieser Schritt einen Warnhinweis, da die Verkleidung nur über die Schrauben und nicht über einen weiteren Haltemechanismus befestigt ist. Damit die Verkleidung beim Lösen der letzten Schraube nicht herunterfällt, weist die Anleitung darauf hin, dass diese festgehalten werden muss.

Der nächste Schritt beschreibt das Entfernen der Verkleidung. Dieser Vorgang wird mit einem Pfeil als Hologramm unterstützt, um dem Nutzer zu zeigen, wo er den Deckel der Verkleidung ablegen kann, ohne dass dieser sich im weiteren Verlauf im Weg befindet.

#### 3.7.3 Lösen der Bremse

Zu Beginn dieser Aufgabe muss überprüft werden, ob der Not-Aus-Schalter betätigt ist. Dieser Schritt dient der Absicherung des Mitarbeiters, welcher in den nächsten Schritten am Schaltschrank arbeiten muss. Ist der Not-Aus-Schalter nicht betätigt und die Bremse wird am Schaltschrank gelöst, ertönt ein Warnsignal. Not-Aus-Schalter betätigt, kann der Mitarbeiter Ist der mithilfe des Schaltschrankschlüssels den Schaltschrank öffnen. In der Anleitung wurde hier speziell auf die Öffnung aller drei Türen hingewiesen, da so eine optimale Zugänglichkeit beim Lösen der Bremse gewährleistet ist. Um den Nutzer zum Schaltschrank zu führen wurde in diesem Arbeitsschritt eine blau gestrichelte Linie zwischen der Anleitung und dem Schaltschrank eingefügt.



Abbildung 28: Arbeitsschritte "Lösen der Bremse"

Der Hinweis im Arbeitsschritt 3 (Abbildung 28): "In den nächsten Schritten wird das Lösen der Bremse beschrieben. Sollten dabei Probleme auftreten, können Sie gerne einen unserer Experten anrufen." wurde eingefügt, falls der Mitarbeiter nicht über die nötige Kompetenz oder die nötige Berechtigung verfügt, eine Überbrückung der Bremse alleine durchzuführen. Hier kann der Nutzer über die Software "Microsoft Remote Assist" einen Experten von DMG MORI kontaktieren, der ihm für Fragen und Hilfestellungen zur Verfügung steht. Da es bei der Verknüpfung der Applikation zu Komplikationen kam, wurde in der Beschreibung der Zusatz "Wechseln Sie dazu im Hauptmenü zur Anwendung Remote Assist" eingefügt.

Besitzt der Mitarbeiter die Berechtigung und die nötige Kompetenz für eine erfolgreiche Überbrückung der Bremse, erscheint im nächsten Schritt die Frage nach der Steuerung der Maschine. Mit dieser Anleitung können Steuerungen der Hersteller Siemens und Heidenhain gewartet werden.

## 3.7.4 Siemens Steuerung

Wurde die Frage der vorherigen Aufgabe "Lösen der Bremse" mit der Antwortmöglichkeit "Siemens" beantwortet, startet die Aufgabe "Siemens Steuerung". Im ersten Arbeitsschritt muss das Motormodul "=D1-51TB1", welches unter anderem für die Bremse der C-Achse zuständig ist, ausfindig gemacht werden. Am Motormodul befinden sich zwei Stecker. Der Stecker X1 und der Stecker X2, wobei nur der Stecker X1 abgesteckt werden muss. Beide Stecker werden durch eine Haltevorrichtung fixiert, die zuerst demontiert werden muss. Um dem Mitarbeiter diesen Schritt zu erleichtern, wurde ein CAD-Modell der Haltevorrichtung als Hologramm unmittelbar unter dem realen Objekt eingefügt. Wenn die Haltevorrichtung Und der Stecker X1 entfernt wurden, müssen die Kabel mit der Bezeichnung BR+ und BR- von dem Stecker entfernt werden.





Sind die beiden Kabel aus dem Stecker X1 entfernt, muss das Kabel mit der Bezeichnung BR- an einen 0 V Anschluss angeschlossen werden. Für diesen Vorgang existieren mehrere Möglichkeiten. Es kann beispielsweise ein externer Stromanschluss oder der Stromanschluss der Fräsmaschine verwendet werden. Da die Verwendung eines externen Stromanschluss in der Anleitung nur schwer umzusetzen ist, weil dieser Vorgang sehr variabel ist, wurde in der Anleitung auf die Möglichkeit des Anschlusses an der Fräsmaschine eingegangen. Dazu muss das Kabel BR- mit einem Verlängerungskabel verbunden werden und dieses wiederum an den 0 V Anschluss angeschlossen werden. Für den 0 V Anschluss befinden sich hinter der rechten Tür des Schaltschrankes grüne Anschlüsse. Diese werden in der Anleitung durch ein guadratisches Hologramm um die Anschlüsse und über ein Bild hervorgehoben. Zur Sicherheit sollte der Anschluss vorher mit einem Multimeter gemessen werden, da der 0 V Anschluss je nach Ausstattung der Maschine etwas unterschiedlich sein kann. Dies wird in der Anleitung jedoch nicht explizit beschrieben, da dieses Wissen bei einem Mitarbeiter, der die Berechtigung besitzt eine solche Reparatur vorzunehmen, als Voraussetzung angenommen wird. Auch das Kabel BR+ wird auf dieselbe Weise angeschlossen. Jedoch wird das Kabel nicht an einen 0 V, sondern an einen 24 V Anschluss angeschlossen. Verdeutlicht wird dies in der Anleitung über ein Hologramm und ein Bild.

Sind beide Kabel ordnungsgemäß angeschlossen, kann mit einem Drehmoment an einem der beiden Spannsegmente überprüft werden, ob die Bremse gelöst ist. Dazu wurde erneut eine blau gestrichelte Linie zwischen der Anleitung und dem Maschinentisch eingefügt, die den Nutzer auf die Vorderseite der Maschine leitet. Ist ein Drehen der Spannsegmente mit dem Drehmomentschlüssel nicht möglich, so müssen die Anschlüsse der beiden Kabel noch einmal überprüft werden. Bei Komplikationen kann ein Experte von DMG MORI über die App Remote Assist angerufen werden. Lässt sich das Spannsegment ohne Probleme bewegen, kann mit dem nächsten Schritt fortgefahren werden. Im nächsten Schritt wird der Nutzer aufgefordert über die Schaltfläche "Weiter" fortzufahren. Bei diesem Anleitungsschritt handelt es sich um einen Frageschritt mit nur einer Antwortmöglichkeit. Grund hierfür ist, das Microsoft Guides mit den sogenannten Frageschritten nur zu einem anderen Schritt springen, die Anleitung jedoch nicht verzweigen kann. Mit diesem Schritt wird die Aufgabe mit der Beschreibung "Heidenhain Steuerung" übersprungen.

# 3.7.5 Heidenhain Steuerung

Wurde die Frage des vorherigen Arbeitsschrittes "Lösen der Bremse" mit der Antwortmöglichkeit "Heidenhain" beantwortet, startet die Aufgabe "Heidenhain Steuerung". Diese Aufgabe ähnelt der Aufgabe "Siemens Steuerung" sehr, jedoch unterscheiden sie sich in ein paar Details. Auch hier muss zuerst das Motormodul "=D1-51TB1" ausfindig gemacht werden. Jedoch existiert bei der Heidenhain Steuerung keine Haltevorrichtung und auch die Bezeichnung ist nicht gleich. Hier muss der Stecker mit der Bezeichnung "X392" abgezogen werden. Aus ihm werden anschließend das Kabel 3 und das Kabel 4 entfernt. Diese werden wieder jeweils an ein 0 V und ein 24 V Anschluss angeschlossen. Dieser Vorgang ist dem der Siemens Steuerung identisch. Auch die optischen Hervorhebungen mit Hologrammen und Bildern wurde gleich gestaltet. Wurde die Bremse gelöst, kann sie wieder mit einem Drehmoment an einem der beiden Spannsegmente auf Freigängigkeit überprüft werden. Allerdings kann bei dieser Aufgabe auf den Frageschritt mit nur einer Antwortmöglichkeit verzichtet werden, da die nächste Aufgabe "Einstellung der Frequenz" unmittelbar im Anschluss folgt.

# 3.7.6 Einstellung der Frequenz

Um die Frequenz einzustellen, müssen nach dem Lösen der Bremse beide Spannsegmente gelöst werden. Dabei reicht es aus, die Schrauben zu lösen. Ein Entfernen der Schrauben ist nicht notwendig. Um die zu lösenden Schrauben zu verdeutlichen, wurde dazu ein Bild eingefügt, wie in Abbildung 30 ersichtlich.



Abbildung 30: Lösen der Schrauben des Spannsegmentes

Im Bild werden die Schrauben rot umrandet und zusätzlich sind sie mit zwei roten Pfeilen markiert. Die Pfeile dienen der Hervorhebung, da die rote Umrandung der Schrauben in der HoloLens 2 bei schwierigen Lichtverhältnisse nicht sofort erkennbar ist. Es wurde sich gegen Hologramme entschieden, da Schrauben der Größe M5 relativ klein sind und damit auch die Hologramme sehr klein ausfallen würden. Ebenso sind die Schrauben in einem engen Radius verbaut und befinden sich deshalb nur auf einem kleinen Raum. Der Einsatz von Hologrammen hätte somit nicht zu einer übersichtlichen Darstellung geführt.

Anschließend kann eines der Spannsegmente wieder mit 5 Nm festgezogen werden. Für die Anleitung wurde hierfür das Festziehen des oberen Spannsegmentes gewählt. Verdeutlicht wird dies durch das Hologramm eines Pfeiles auf das obere Spannsegment. Ist das Spannsegment angezogen, muss ein Basiswert ermittelt werden, indem die Frequenz zwischen beiden Spannsegmenten gemessen wird. Um einen verlässlichen Wert zu erhalten, wird die Frequenz mindestens dreimal gemessen und der Mittelwert anschließend übernommen. Durch ein Hologramm wird angezeigt an welcher Stelle die Frequenz gemessen werden muss.

Im nächsten Schritt muss für die Einbringung einer Vorspannung des Spannsegmentes das Spezialwerkzeug "Stirnzapfenschlüssel" eingesetzt werden. Dies kann entweder durch Abstützen des Stirnzapfenschlüssels am Rand des Gehäuses oder durch Anbringen einer längeren Schraube in einem der Gewinde der Verschraubungen der Abdeckung umgesetzt werden. Für die Anbringung der Schraube und des Stirnzapfenschlüssels wurde jeweils ein Hologramm erstellt und eingefügt.

In der Mitte des Spannsegmentes wird nun ein Drehmomentschlüssel angebracht. Dieser wird mit einem Drehmoment von 15 Nm beaufschlagt, während der Stirnzapfenschlüssel den äußeren Teil des Spannsegmentes gegen eine Verdrehung absichert. Da dieses Drehmoment während dem nachfolgenden Schritt weiterhin beaufschlagt werden muss, ist es hier von Vorteil den Drehmomentschlüssel mit einem Spanngurt zu fixieren. Um den Spanngurt anbringen zu können, muss hier eine Schraube durch eine längere Schraube ersetzt werden. Dazu kann eine Schraube der Abdeckung des Messkopfes der C-Achse entfernt und ersetzt werden (Abbildung 31). Da dieser Schritt sehr wichtig ist, wurde hier neben und komplex den Hologrammen eines Drehmomentschlüssels und einer Schraube zusätzlich das untenstehende Bild in die Anleitung eingefügt.



Abbildung 31: Festziehen des Spannsegmentes, während dies mit einer Vorspannung beaufschlagt ist.

Im darauffolgenden Schritt werden anschließend die Schrauben der unteren Druckhülse mit 5Nm angezogen, während die Vorspannung durch den Stirnzapfenschlüssel und dem Drehmomentschlüssel weiterhin aufrechterhalten wird. Auch hier werden wieder ein Bild und ein Hologramm eines Drehmomentschlüssels verwendet. Im Bild ist ähnlich der Abbildung 30, ein Spannsegment zu sehen, in welchem die entsprechenden Schrauben mit roten Umrandungen und einem roten Pfeil markiert sind.

Sind alle Schrauben des unteren Spannsegmentes nach Vorgabe festgezogen, kann das Drehmoment und der Stirnzapfenschlüssel wieder abgebaut werden. Die Vorspannung ist jetzt nicht weiter nötig. Sind die Werkzeuge entfernt, muss wieder die Frequenz zwischen den beiden Spannsegmenten gemessen werden. Dieser Wert wird mit der ersten Messung, die nach dem Festziehen des oberen Spannsegmentes stattgefunden hat, verglichen. Dabei sollte die Frequenz wieder mindestens dreimal gemessen und der daraus resultierende Mittelwert verwendet werden. Ist die gemessene Frequenz größer, als die zu Beginn gemessene Frequenz, so muss im aktuellen Frageschritt die Antwortmöglichkeit "Sie ist größer" verwendet werden. Da für ein erfolgreiches Einstellen der Frequenz jedoch der zweite gemessene Wert kleiner sein sollte, liegt in diesem Fall ein Problem vor. Die Antwortmöglichkeit "Sie ist größer" führt deshalb wieder zum Anfang der Aufgabe "Einstellen der Frequenz" und der Nutzer muss diese Aufgabe erneut durchführen. Die zweite Antwortmöglichkeit "Sie ist kleiner" führt den Nutzer zum darauffolgenden Frageschritt.



Abbildung 32: Arbeitsschritte "Einstellung der Frequenz"

In diesem Frageschritt handelt es sich um eine weitere Frequenzmessung, bei der der Nutzer die Frequenz zwischen dem unteren Spannsegment und dem Motor misst. Diese Messung ist wieder mindestens dreimal auszuführen, um die nötige Sicherheit der Messung zu gewährleisten. Anschließend muss die Frage, ob sich die Frequenz innerhalb eines Bereiches von 140 Hz bis 147 Hz befindet, beantwortet werden. Befindet sich die Frequenz innerhalb dieses Bereiches, kann die Antwortmöglichkeit "Ja" gewählt werden. Diese Antwort führt den Nutzer zur Aufgabe "Montage". Befindet sich die Frequenz außerhalb dieses Bereiches, ist die Antwortmöglichkeit "Nein" anzuwählen. Diese Antwort führt den Nutzer zur Aufgabe "Lösen des Motorflansches".

#### 3.7.7 Lösen des Motorflansches

Um die Frequenz in den gewünschten Bereich von 140 Hz bis 147 Hz zu verändern, muss der Motor, welcher sich auf der linken Seite des Riementriebes befindet, in seiner Position angepasst werden. Dazu müssen zu Beginn die vier Schrauben des Motorflansches gelöst werden. Diese sind oberhalb und unterhalb der Riemenscheibe des Motors angebracht. Um dem Mitarbeiter die Position der Schrauben zu verdeutlichen, wurden in diesem Arbeitsschritt die vier Schrauben als Hologramme dargestellt. Diese befinden sich etwas über den Schrauben, damit der Nutzer die realen Schrauben noch wahrnehmen kann und diese nicht mit den Hologrammen überlagert werden. Sind die Schrauben gelöst, kann der Motorflansch bewegt werden. Dazu ist eine Schraube mit zwei Muttern zwischen Motorflansch und Maschinentisch, wie in Abbildung 33 ersichtlich, angebracht.



Abbildung 33: Bewegen des Motorflansches

Um dem Motorflansch bewegen zu können, muss zuerst die Mutter am Motoflansch gelöst werden. Anschließend kann die Schraube rein- oder herausgeschraubt werden. Durch herausschrauben der Schraube vergrößert sich der Abstand zwischen dem Motorflansch und den beiden Spannsegmenten. Dadurch nimmt die Riemenspannung zu und die Frequenz erhöht sich. Wird die Schraube reingeschraubt, verringert sich der Abstand zwischen dem Motor und den Spannsegmenten und die Frequenz nimmt ab. Der Mitarbeiter muss bei diesem Arbeitsschritt nun immer wieder die Schraube bewegen und anschließend die Frequenz zwischen dem Motor und dem unteren Spannsegment messen, bis diese sich im gewünschten Bereich von 140 Hz – 147 Hz befindet. Sobald sich die Frequenz im gewünschten Bereich befindet, kann der Nutzer die Mutter am Motorflansch wieder festziehen. Verdeutlicht wird dem Nutzer dies durch ein Hologramm, das einen Schraubenschlüssel darstellt. Dieses ist an der Position der Mutter, welche sich am Motorflansch befindet, dargestellt. Ebenfalls ist ein Hologramm in Form eines Pfeiles eingefügt, welcher auf den Riemen zwischen dem Motor und dem unteren Spannsegment zeigt. Dadurch wird hervorgehoben, an welcher Position die Frequenz zu messen ist.



Abbildung 34: Arbeitsschritte "Lösen des Motorflansches"

Abschließend sind die vier Schrauben des Motorflansches wieder festzuziehen. Diese werden durch vier Schrauben-Hologramme dargestellt, die sich oberhalb der realen Schrauben befinden.

#### 3.7.8 Montage

Die letzte Aufgabe der Anleitung ist die Montage des Riementriebes. Dazu wird zuerst die Bremse wieder angeschlossen. Abhängig von der Steuerung der Maschine, muss entweder das Kabel 4 oder das Kabel BR+ vom 24 V Anschluss entfernt werden. Anschließend muss das Kabel 3 oder Kabel BR- vom 0 V Anschluss entfernt werden. Bei diesen beiden Arbeitsschritten gibt es keine verschiedenen Unterscheidung zwischen den Steuerungen. Die beiden Steuerungen wurden zusammengefasst, da eine Aufteilung nur nach einer erneuten Abfrage der Steuerung, möglich wäre. Jedoch würde eine wiederkehrende Abfrage der Steuerung so spät in der Anleitung den Nutzer eher irritieren. Da der Nutzer sich nach der Frequenzeinstellung oder dem Lösen des Motorflansches an der Vorderseite der Fräsmaschine befindet, wurde eine blau gestrichelte Linie, die den Nutzer zum Schaltschrank führt, eingefügt. Die beiden Betreffenden 24 V und 0 V Anschlüsse wurden wieder mit Hologrammen in Form von Quadraten markiert.

Sind beide Kabel gelöst, werden diese wieder in den Stecker, welcher anschießend im Motormodul "=D1-51TB1" eingesteckt wird, eingebaut. Dieser Schritt sollte für einen erfahrenen Mitarbeiter der Instandhaltung keine Herausforderung darstellen, weshalb hier keine Hologramme und keine Bilder eingefügt worden sind.



Abbildung 35: Arbeitsschritte "Montage"

Da keine Unterscheidung zwischen den Steuerungen gemacht wird, wurde im Schritt 4 (Abbildung 35) die Beschreibung "Wenn es sich um eine Siemens-Steuerung handelt, montieren Sie die Halterung des Steckers X1 wieder" eingefügt. Hierfür wurde ein Hologramm in Form der Halterung unmittelbar unter der realen Position der Halterung eingefügt. Anschließend kann der Schaltschrank geschlossen werden.

Zuletzt muss noch die Abdeckung der C-Achse montiert werden. Dazu wird die Verkleidung an ihre entsprechende Position gelegt und mit den Innensechskantschrauben verschraubt. Zur Unterstützung des Nutzers wurden hier Hologramme der Schrauben eingefügt. Diese befinden sich, wie bereits bei der Demontage etwas über den realen Schrauben, um den Montageprozess möglichst übersichtlich zu gestalten.

Ist die Abdeckung wieder montiert, erscheint im letzten Schritt eine Meldung, dass diese Wartung nun erfolgreich abgeschlossen wurde. Damit endet diese Anleitung.

# 3.8 Erweiterung der Anleitung um den Maschinentyp DMU 65 H

Da im Verlauf der Arbeit der Wunsch aufgekommen ist, eine weitere Maschine, die mit dem gleichen Maschinentisch ausgestattet ist, in diese Anleitung aufzunehmen, wurde eine zweite Version der Anleitung erstellt. Diese Version unterscheidet sich in der Art des verwendeten Ankers und ihrer Gliederung.

# 3.8.1 Anker

Beim verwendeten Anker handelt es sich um einen QR-Code Anker, welcher auf der Unterseite des Maschinentisches angebracht wurde (Abbildung 36). Um den Nutzer dies zu erklären, erscheint während dem Scan-Vorgang der Hinweis: "Der QR-Code befindet sich an der Unterseite des Tisches. Schwenken Sie dazu den Tisch bei einer DMU 65 H auf -50°, bei einer DMU 65/75 monoBLOCK auf 120°". Da die Maschinen mit verschiedenen Messsystemen ausgestattet sind, (DMU 65 monoBLOCK und DMU 75 monoBLOCK mit einem absoluten Messsystem, DMU 65 H mit einem relativen Messsystem) ergibt sich eine unterschiedliche Position des Maschinentisches.



Abbildung 36: Platzierung des QR-Codes an der Unterseite des Maschinentisches

#### 3.8.2 Anleitung

Der Aufbau der Anleitung wurde im Vergleich zur ersten Version deutlich überarbeitet. Zum einen wurden allgemeine Änderungen bezüglich der Hologramme vorgenommen. Aufgrund der unterschiedlichen Bautypen der Maschinen, musste die Positionierung der Hologramme auf den jeweiligen Maschinentyp angepasst werden.

Zum anderen wurde die Gliederung der Anleitung überarbeitet. Zu Beginn werden weiterhin die benötigten Werkzeuge eingeblendet. Nach dieser Aufgabe wird dann mit der Aufgabe "Maschinenauswahl" fortgefahren. In dieser Aufgabe muss der Nutzer angeben, ob es sich um eine DMU 65 monoBlock, um eine DMU 75 monoBLOCK oder um eine DMU 65 H handelt. Da die Maschinen DMU 65 monoBlock und DMU 75 monoBLOCK im Aufbau identisch sind, wurden diese in der Anleitung zusammengefasst. Der Aufbau der DMU 65 H ähnelt dem der anderen Maschinen, ist jedoch nicht identisch. Daher wurden die Aufgaben und Arbeitsschritte Maschine dieser separat erstellt. Ab der Aufgabe "Maschinenauswahl" wurde die gesamte Anleitung auf die zwei verschiedenen Maschinenarten angepasst. In Abbildung 37 ist beispielhaft erkennbar, wie eine Separierung einzelner Arbeitsschritte aufgrund der unterschiedlichen Bauarten umgesetzt wurde. Hierfür wurde in Abbildung 37 die Aufgabe "Lösen der Bremse" dargestellt. Die Aufgabe 5 "Bremse lösen DMU 65 monoBLOCK und DMU 75 monoBLOCK" entspricht der ersten Version der Anleitung. Die Aufgabe 6 "Bremse lösen DMU 65 H" wurde neu hinzugefügt, da sich das Vorgehen in Schritt 2 von der vorherigen Aufgabe unterscheidet.



Abbildung 37: Aufbau der erweiterten Anleitung

Ein Zusammenfügen der Aufgaben bei identischen Arbeitsschritten ist nicht möglich, da sonst bei einer späteren Abweichung erneut die Frage der Maschinenauswahl gestellt werden muss. Dies könnte den Nutzer irritieren oder von diesem als störend empfunden werden.

Ebenfalls muss durch die Separierung der Gliederung nach jeder abgeschlossenen Aufgabe ein Frageschritt mit nur einer Antwortmöglichkeit eingefügt werden. Da Microsoft Guides beim Anzeigen der Anleitung nach der Nummerierung der Aufgaben vorgeht, hat der Ersteller durch Einfügen eines Frageschrittes die Möglichkeit einzelne, nicht benötigt Aufgaben zu überspringen. Dieses System wurde gewählt, um die Anleitung übersichtlich zu gestalten und bei einer nachträglichen Änderung auf eine lange Einarbeitungszeit verzichten zu können.

Zusätzlich kam im Rahmen der Durchführung durch den Geschäftsführer der Entwicklung der Vorschlag auf, die Anleitung in Bezug auf das Lösen der Bremse anzupassen. Um auch Mitarbeitern, die nicht über die nötigen elektrischen Kenntnisse oder die benötigten Berechtigungen verfügen, eine Nutzung der Anleitung zu ermöglichen, wurde das Lösen der Bremse mittels der Änderung eines Parameters in der Steuerung beschrieben. Durch das Einfügen von Bildern in jeden Arbeitsschritt, wird dem Mitarbeiter das Ändern des Parameters erleichtert. Da das Steuerungsterminal beweglich und der Bildschirm für den Einsatz von Hologrammen zu klein ist, wurde auf den Einsatz von Hologrammen verzichtet.



Abbildung 38: Lösen der Bremse durch Ändern der Parameter in der Steuerung

# 3.9 Validierung des Konzepts mithilfe von Probanden

Die Validierung durch Probanden lässt sich in zwei Testläufe einteilen. Ein Testlauf fand dabei im Digital Laboratory in Kempten statt, der andere bei der DMG MORI Academy in Pfronten. Da es sich beim Testlauf im Digital Laboratory hauptsächlich um Probanden handelte, die keine Erfahrungen und keine Berechtigungen zur Durchführung einer Wartung an einer Fräsmaschine besitzen, wurde mit diesen Probanden nur der Beginn der Anleitung physisch durchgeführt. Sobald Sie den Schaltschrank öffneten, wurde die Anleitung nicht weiter physisch durchgeführt. Den weiteren Verlauf der Anleitung konnten die Probanden theoretisch verfolgen. Der zweite Testlauf bei DMG MORI wurde von Probanden durchgeführt, die über alle nötigen Berechtigungen verfügen und bereits Erfahrungen im Warten einer Fräsmaschine haben, durchgeführt. In diesem Testlauf wurde die komplette Anleitung physisch durchgeführt.

In beiden Testläufen wurde darauf geachtet, dass die Probanden nur eine kurze Einweisung bezüglich der Nutzung der HoloLens 2 erhielten und anschließend die Anleitung selbstständig durchführten. Jedoch mussten einigen Probanden bei der Bedienung der Fräsmaschine kurze zusätzliche Anweisungen gegeben werden, da diese nicht der Zielgruppe der Anleitung entsprachen und somit keinerlei Vorerfahrungen mit Steuerung einer Fräsmaschine hatten. der Die Sprachsteuerung der HoloLens 2 wurde aktiviert, sodass sie möglichst intuitiv zu bedienen war. Anschließend bewerteten die Probanden den Use Case und die Bedienung der HoloLens 2 mittels eines Fragebogens.

# 3.9.1 Aufbau des Fragebogens

Der Fragebogen wurde in die vier Kategorien, allgemeine Fragen zu den Probanden, Fragen zur Microsoft HoloLens 2, Fragen zum Use Case und allgemeine Fragen zu Augmented Reality, gegliedert. Die Beantwortung erfolgt dabei meist mittels Mulitple-Choice Fragen, die den Grad des Zutreffens einzelner Aussagen mit einer Skala abfragt. Um eine neutrale Antwort zu vermeiden, wurde bewusst eine Skala von vier verschiedenen Möglichkeiten gewählt. Zusätzlich wurden bestimmte Fragen mit Textfeldern dargestellt, wodurch eine breitere Informationsvielfalt zu gewinnen war.

Fragebogen zum Thema Wartung einer Werkzeugmaschine mittels Augmented Reality				
Bitte markieren Sie die Felder wiefdigt:	trifft voll zu		trifft nicht zu	
1. Probanden				
1.1 Alter des Probanden/in in Jahren: 1.2 Geschlecht des Probanden/in:	< 25 □	25-35 □	36-55 D	> <mark>55</mark>
1.3 Beruf / Studiengang des Probanden				
<ol> <li>1.4 Ich habe Vorkenntnisse mit Augmented Reality.</li> <li>1.5 Ich habe Vorkenntnisse mit AR-Brillen.</li> <li>1.6 Ich habe Vorkenntnisse im Umgang mit Fräsmaschinen.</li> <li>1.7 Die Verwendung von neuen und innovativen Produkten fällt mir leicht.</li> </ol>				
2. Microsoft HoloLens 2				
<ul> <li>2.1 Die Bedienung der HoloLens 2 empfinde ich als leicht und intuitiv.</li> <li>2.2 Den Tragekomfort der HoloLens 2 empfinde ich als angenehm.</li> <li>2.3 Das Tragen der HoloLens 2 beeinträchtigt mich bei der Arbeit/Reparatur.</li> </ul>				
3. Allgemeines zum Use Case				
<ul> <li>3.1 Die Anleitung ist verständlich und nachvollziehbar.</li> <li>3.2 Die Anweisungen sind klar und eindeutig formuliert.</li> <li>3.3 AR bietet bei dieser Reparatur einen Mehrwert.</li> <li>3.4 Die digitalen Objekte unterstützen die Anweisungen sinnvoll</li> <li>3.5 Die Bilder unterstützen die Anweisungen sinnvoll.</li> </ul>				
4. Augmented Reality				
<ul> <li>4.1 AR wird in Zukunft eine wichtige Rolle spielen.</li> <li>4.2 AR wird künftig unseren Arbeitsalltag beeinflussen.</li> <li>4.3 AR-Brillen müssen noch stark weiterentwickelt werden.</li> <li>4.4 AR könnte in folgenden Unternehmensbereichen einen Mehr</li> </ul>	wert erbr	ingen:		
4.5 Das spricht gegen einen Einsatz von Augmented Reality:				

Abbildung 39: Fragebogen der Probandenstudie

### 3.9.2 Auswertung

Insgesamt nahmen 24 Probanden an den beiden Testläufen teil, davon waren 8 Personen unter 25, 11 Personen zwischen 25 und 35, 2 Personen zwischen 35 und 55 und 3 Personen über 55. 23 Probanden waren männlich und 2 Probanden weiblich. Zwei Drittel der Probanden waren dabei Studierende des Master-Studiengangs Wirtschaftsingenieur-Maschinenbau.



Abbildung 40: Allgemeine Fragen zu den Probanden

Mit 66 % hatten die meisten Probanden keine Vorkenntnisse mit der Augmented Reality Technologie. Lediglich 25 % der Probenden gaben an, Vorkenntnisse mit Augmented Reality Brillen zu haben. Erfahrungen in der Bedienung einer Fräsmaschine hatten 29 % der Probanden. Wobei in diesem Bereich eine deutliche Häufung (21 %) der Berufe Ingenieur und Servicetechniker/Ausbilder auffällig war. Bei der Frage: "Das Verwenden von neuen und innovativen Produkten fällt mir leicht" gaben die meisten Probanden an, dass dies eher auf sie zutrifft (54 %), oder sogar voll auf sie zutrifft (29 %).

Die Bedienung der HoloLens 2 empfanden die Probanden nach der kurzen Einweisung größtenteils leicht und intuitiv. Auch der Tragekomfort wurde von den meisten Personen als gut empfunden. Zur Beeinträchtigung der Arbeit während des Tragens der HoloLens 2 gaben die Probanden unterschiedliche Antworten ab. Mit einer kleinen Tendenz, wurde die Beeinträchtigung mit 38 % "trifft kaum zu" und 29 % "trifft nicht zu", als positiv bewertet. Jedoch gaben einige Probanden an, dass gerade dunkle Objekte, wie die Schrauben der Verkleidung auf der unteren Seite des Maschinentisches durch die HoloLens 2 schwer zu erkennen sind.

Die Anleitung wurde durch die Probanden als gut bis sehr gut bewertet. So gaben 83 % an, die Anleitung sei verständlich und nachvollziehbar. 88 % empfanden die Anweisungen klar und eindeutig formuliert. Bei dem Mehrwert der Augmented Reality Technik bei dieser Reparatur gaben 71 % an, dass dies voll zutrifft, 29 % gaben an, dass dies eher zutrifft. Ebenfalls empfanden die Probanden mit 88 %, dass die digitalen Objekte, also die Hologramme, die Anweisung sehr sinnvoll unterstützen. Am besten empfanden die Probanden die Bilder, die die Anleitung sinnvoll ergänzten, wobei 96% der Probanden diese Frage mit "trifft voll zu" bewertet haben.

Anschließend wurde gefragt, ob die Probanden der Ansicht sind, dass Augmented Reality in Zukunft eine große Rolle spielen wird. 50 % stimmten dieser Aussage voll zu, 46 % stimmten dieser Aussage eher zu. 63 % der Probanden gaben an, dass ihrer Meinung nach Augmented Reality künftig unseren Arbeitsalltag beeinflussen wird, 38 % der Probanden gaben an, dass AR in Zukunft den Arbeitsalltag stark beeinflussen wird.

Bei der Entwicklung von AR-Brillen, gaben 29 % der Befragten an, dass diese noch stark weiterentwickelt werden müssen. 54 % stimmten einem notwendigen Entwicklungsprozess eher zu. 16 % der Probanden empfanden den Entwicklungsprozess bereits als fortgeschritten. Kein Proband gab an, dass die Augmented Reality Brillen nicht weiterentwickelt werden müssen.

Zuletzt wurden die Probanden gefragt, in welchen Unternehmensbereichen Augmented Reality einen Mehrwert erbringen könnte. Die Frage wurde wie folgt beantwortet. Den größten Mehrwert durch Augmented Reality sahen die Probanden im Bereich der Instandhaltung. Auch in der Produktion und in der Montage sehen viele Probanden Potenzial. Des Weiteren wurden Bereiche wie Logistik, Reparatur, Wartung, zum Einlernen neuer Mitarbeiter und bei der Entwurfsplanung in der Architektur genannt. Gegen den Einsatz von Augmented Reality sprachen insbesondere die hohen Kosten, die kurze Batterielaufzeit, die eingeschränkte Umgebungswahrnehmung sowie die Ermüdung der Augen bei längerer Nutzung.

Insgesamt ist das Feedback der Probanden sehr positiv ausgefallen. Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Befragten ein Potenzial in der neuartigen Technik sehen. Visuelle Unterstützungsmöglichkeiten wurden als hilfreich und zielführend erachtet. Für eine zukünftige alltägliche Nutzung im Unternehmensbereich besteht noch weiterer Entwicklungsbedarf der Augmented Reality Technik.

# 4 Zusammenfassung und Ausblick

#### Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde mit der Microsoft HoloLens 2 eine Anleitung für eine komplexe Wartung von verschiedenen Werkzeugmaschinen mit Augmented Reality Einbindung erstellt. Diese Anleitung wurde später von Probanden evaluiert und auf ihre Praxistauglichkeit getestet. Nach der Überarbeitung mithilfe der Probanden und vor allem durch die Abstimmung mit dem Leiter der Entwicklung von DMG MORI, ist die Anleitung zur Wartung des Riementriebes der C-Achse für Mitarbeiter und Kunden des Unternehmens nun einsatzbereit. Sie enthält Erläuterungen zu den benötigten Werkzeugen, zur Demontage der Verkleidung des Maschinentisches, zum Lösen der Bremse (Siemens und Heidenhain Steuerungen) über den Schaltschrank oder mithilfe der Parametervariation. Weiterhin wird das korrekte Einstellen der Frequenz des Riemens durch die Spannsegmente und das Verstellen des Motorflansches sowie die abschließende Montage beschrieben.

#### Diskussion

Durch die Einbindung von Augmented Reality ist es für neue oder unqualifizierte Mitarbeiter möglich, komplexe Aufgaben zu erledigen, die oberhalb ihres Kompetenzbereichs liegen. Die HoloLens 2 bietet insbesondere gegenüber einem Smartphone oder Tablet einen großen Vorteil, da durch das Tragen auf dem Kopf während einer Reparatur oder Wartung beide Hände frei bleiben.

Auch im Einsatz beim Kunden bietet Augmented Reality Vorteile. So kann hier bei einer häufiger auftretenden Reparatur oder Wartung auf die Anleitung zurückgegriffen werden. Bei einer komplexen oder selten benötigten Reparatur kann dem Kunden mit dem Remote Service schnell und unkompliziert weitergeholfen werden. Eine Reise des Servicemitarbeiters kann dadurch ersetzt werden, was eine enorme Zeiteinsparung mit sich bringt und somit die Ausfallzeiten der Maschine reduziert.

Gegen den Einsatz von Augmented Reality spricht jedoch der noch sehr hohe Preis eines HMDs wie der der HoloLens 2. Insbesondere für Unternehmen, die planen ihren Service um Augmented Reality zu erweitern, stellt dies eine Hürde dar, da für eine ernsthafte Einbindung in den Servicealltag eine Vielzahl an Geräten angeschafft werden müssen. Ebenso haben nur wenige Mitarbeiter Erfahrungen im Umgang und in der Bedienung von Augmented Reality, was gerade bei älteren Mitarbeitern oder bei wenig technikaffinen Mitarbeitern zu Abneigung gegen diese Technik führen kann.

#### Ausblick

Obwohl das Konzept der Augmented Reality schon lange existiert, befindet sich dieses immer noch in einer frühen Entwicklungsphase. Die Geräte werden stetig weiterentwickelt und werden im Unternehmensalltag eine immer größer werdende Rolle einnehmen. Jedoch muss für den Einsatz einer AR-Brille, wie der HoloLens 2 in Zukunft vor allem die Akkulaufzeit verbessert werden. Diese beträgt mit der HoloLens 2 laut Microsoft, je nach Anwendung, nur zwei bis drei Stunden. Gerade für längere Anleitungen ab drei Stunden führt dies zu Problemen, da der Mitarbeiter mehrere Ladepausen einlegen muss oder auf eine externe Stromversorgung, wie eine Powerbank angewiesen ist. Ebenso muss der Tragekomfort der HoloLens 2 weiterentwickelt werden, da einige Probanden diesen bereits nach einer halben Stunde bemängelt haben. Aufgrund der stetigen Weiterentwicklung der HMDs und der stetigen Verkleinerung der Hardware lässt sich jedoch vermuten, dass diese Probleme in Zukunft keine große Rolle mehr spielen werden. So hat beispielsweise Apple bereits ein HMD angekündigt, dass lediglich die Größe einer handelsüblichen Brille besitzen soll.

Mit dieser Arbeit konnte aufgezeigt werden, dass eine Implementierung von Augmented Reality den Service sinnvoll unterstützen kann. Für einen flächendeckenden Einsatz müssen jedoch noch die Rahmenbedingungen festgelegt werden. So sollte im nächsten Schritt ein entsprechendes Geschäftsmodell entwickelt werden, das die Anzahl der Anleitungen pro Maschinen sowie die Anzahl der Maschinen, für die ein solches Servicepaket erstellt werden soll, erfasst werden.

Durch die stetige Weiterentwicklung, die immer größer werdende Vielzahl an Herstellern und die Vielfalt möglicher Einsatzgebiete für Augmented Reality Anwendungen lässt sich vermuten, dass AR in Kombination mit einem HMD sowohl im Konsumentenalltag, als auch im Unternehmensalltag eine deutlich stärkere Rolle spielen wird.

# 5 Quellenverzeichnis

#### Literaturquellen

Adelmann, R. (2020) In: Orsolits, H.; Lackner, M. (2020): Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion. Springer Gabler, Wiesbaden

Dörner, R. et al (2019): Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Springer Vieweg, Berlin

Grothus, A.; Thesing, T.; Feldmann, C. (2021): Digitale Geschäftsmodell-Innovation mit Augmented Reality und Virtual Reality: Erfolgreich für die Industrie entwickeln und umsetzen. Springer Gabler, Berlin

Reif, R. (2009): Entwicklung und Evaluierung eines Augmented Reality unterstützen Kommissioniersystems. Dissertation an der Technischen Universität München

Tönnis, M. (2010): Augmented Reality: Einblicke in die Erweiterte Realität. Springer Verlag, Berlin

Wursthorn, S. (2019) In Hinz, S.; Vögtle, T; Wursthorn, S.; Digitale Bildverarbeitung und Geoinformation. VDE Verlag, Karlsruhe

#### Internetquellen

Bechtle: Microsoft HoloLens 2 Datenbrille, Zugriff am: 19.01.2022 unter: <u>https://www.bechtle.com/shop/microsoft-hololens-2-datenbrille--4342628--p</u>

Brandt, M. (2017): Rosige Zukunft für erweiterte Realität, Zugriff am: 26.03.2022 unter: <u>https://de-statista-</u>

<u>com.hske.idm.oclc.org/infografik/9006/marktentwicklung-von-augmented-und-</u> <u>virtual-reality/</u>

Microsoft: Auswirkung von Kalibrierung, Vorabscannen und Umgebung auf die Positionsgenauigkeit von Hologrammen Dynamics 365 Guides, Zugriff am: 23.02.2022 <u>https://shorturl.at/npty4</u>

Microsoft: HoloLens 2 Angebote entdecken, Zugriff am 02.01.2022 unter: <u>https://www.microsoft.com/de-de/hololens/buy</u>

Microsoft: Immer auf dem richtigen Weg in HoloLens 2, Zugriff am: 21.02.2022 unter: <u>https://docs.microsoft.com/de-de/hololens/hololens2-basic-usage#start-gesture</u>

Microsoft: Technische Daten der HoloLens 2, Zugriff am: 04.01.2022 unter: https://www.microsoft.com/de-de/d/hololens-2/91pnzzznzwcp?activetab=pivot:techspecstab

Microsoft: Technische Daten der HoloLens 2, Zugriff am: 04.01.2022 unter: <u>https://www.microsoft.com/de-de/hololens/hardware</u>

Microsoft: Verwenden Ihrer Stimme zum Bedienen von HoloLens, Zugriff am: 22.02.2022 unter: <u>https://docs.microsoft.com/de-de/hololens/hololens-cortana</u>

Office Athletes GmbH: Virtual und Augmented Reality, Zugriff am: 15.04.2022 unter: <u>https://www.bakkerelkhuizen.de/wissenszentrum/virtual-und-augmented-reality/</u>

# Anhang

#### Auswertung des Fragebogens

# Beantwortung der Fragen 1.4 bis 1.7



















Beantwortung der Fragen 3.1 bis 3.5











Beantwortung der Fragen 4.1 bis 4.5





# Frage 4.4: AR könnte in folgenden Unternehmensbereichen einen Mehrwert erbringen:

- Instandhaltung, Service, Schulungshilfe
- Fern-Inbetriebnahme, Logistik
- Instandhaltung, Logistik, Training, Montage Kleinserien, als Werkzeug bei Remote Assist
- Instandhaltung, Inbetriebnahme/Montage
- Allgemein Produktion zur Erklärung der Arbeitsschritte, Instandhaltung
- Einlernen neue Mitarbeiter
- Reparatur, Instandhaltung, Prüfung
- Montage und Reparaturarbeiten
- Reparaturarbeiten, Forschung + Entwicklung als Montageanleitung unbekannter Prototypen
- Gaming, Produktionsplanung, F&E
- Wartung, Training
- Arbeiten nach Schema F, Eher bei Montage
- Entwicklung, Service/Reparatur, Bauwesen, Straßenverkehr
- Entwurfsplanung der Architektur, Bei komplexen Bausätzen
- Fertigung
- Montage
- Produktion, Service
- Reparatur, Montage, Logistik, Shopfloor
- Reparatur, Instandhaltung, Shopfloor
- Service, Kfz-Werkstatt, Fertigung
- Logistik, Reparatur, Produktion
- Produktion (va. Für Ungelernte), Wartung, Planung von Hallen (Architektur), Kundenservice (Fernwartung)

#### Frage 4.5: Das spricht gegen einen Einsatz von Augmented Reality:

- zu viele akustische Anweisungen
- Preis, Batterielaufzeit, psychologische Widerstände im Shop Floor
- Kosten von AR, Selbstständigkeit des Menschen
- Aktuell deutlich aufwändiger zu programmieren im Vergleich zur klassischen Anleitung
- Ermüdung der Augen auf Dauer
- Tragekomfort, Beeinträchtigung Sehen, Fehleranfälligkeit

- Eine klassische Anleitung wäre günstiger und nicht fehleranfällig -> überhitzen
- unangenehm zu tragen, Mitarbeiter nehmen neue Technologien nicht an (vor allem älter)
- Kosten und Motionsickness
- kurze Akkulaufzeit, Tragekomfort, Brille stürzt hin und wieder ab
- Strahlungsquelle am Kopf
- Entwicklungskosten
- Aufwand/Kosten
- nicht freundlich für kurzsichtige Personen
- Man nimmt die Umgebung eingeschränkt wahr, anstrengend, teuer
- Akkulaufzeit
- Kosten
- Kosten
- Das jeder Mensch austauschbar ist
- Ein geübter Mitarbeiter dürfte ohne AR schneller sein
- Preis, relativ starr, evtl. Strahlung

#### Erklärung

Ich versichere, dass ich diese Bachelorarbeit selbstständig angefertigt, nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, alle benutzten Quellen und Hilfsmittel angegeben, sowie wörtliche und sinngemäße Zitate gekennzeichnet habe.

Mauerstetten, den 21.04.2022