



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

## Diplomarbeit

# Entwicklung einer Softwareanwendung zur multikriteriellen Evaluierung von industriellen AR/VR-Anwendungen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

## Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sebastian Schlund**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Mensch-Maschine-Interaktion)

**Dipl.-Ing.in Dr.in techn. Tanja Zigart**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Mensch-Maschine-Interaktion)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**André Gundinger**

01526448

Wien, 1. März 2024

---

André Gundinger



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, 1. März 2024

---

André Gundinger

# Danksagung

Mit dem Abschluss dieser Arbeit möchte ich die Gelegenheit nutzen, mich bei all jenen zu bedanken, die mich auf meinem Weg unterstützt haben.

Zuerst möchte ich meiner Betreuerin Dr.in Tanja Zigart danken. Die offenen und ehrlichen Rückmeldungen haben mir dabei geholfen, dass ich heute auf eine Arbeit blicken kann, die voll und ganz meinen Vorstellungen entspricht. Ich hätte mir keine bessere Betreuerin wünschen können. Danke auch für die tolle Zeit im IMPACT-sXR-Team. Der Umgang und Zusammenhalt sind unübertroffen und es wird schwer so eine Teamatmosphäre im späteren Leben erneut zu erleben.

Bei Univ.-Prof. Sebastian Schlund möchte ich mich ebenfalls für die Betreuung meiner Arbeit, speziell nach dem Ausscheiden von Dr.in Tanja Zigart nach ihrem Abschluss des Doktorats, bedanken. Trotz seines vollen Terminkalenders stand mir seine Tür immer offen und er hat sich stets die Zeit für meine Anliegen genommen. An dieser Stelle möchte ich mich ganz besonders für die Zeit meiner Anstellung am Institut bedanken. Das produktive Umfeld hat den Rahmen geschaffen, den ich gebraucht habe, um diese Arbeit und mein Studium voranzubringen.

Bei meinen Teamkollegen Felix Stürzl und Felix Aigner möchte ich mich für die freundschaftliche und lustige Zeit und im Speziellen für die Rückendeckung im Projekt bedanken. Euer persönlicher Einsatz hat es mir ermöglicht, mich auf das Tool zu konzentrieren. Ich bin froh, dass sich unsere Wege gekreuzt haben und freue mich auch in Zukunft gute Zeiten mit euch zu verbringen.

Meine Dankbarkeit möchte ich außerdem allen Teilnehmer:innen meiner Studie ausdrücken, durch deren persönlichen Einsatz ich diese Arbeit wissenschaftlich abrunden konnte.

Für seine unverzichtbare Unterstützung vor allem im ersten Studienabschnitt möchte ich meinem Freund und Studienpartner Marcus Hübsch danken. Ohne dich hätte ich dieses Studium schon vor langer Zeit abgebrochen. Ich bin dankbar, dass sich aus unserer Begegnung eine mittlerweile jahrelange Freundschaft entwickelt hat. Danke, dass ich immer auf dich zählen kann.

Rückblickend auf mein gesamtes Studium ist es mir ein besonderes Anliegen, mich bei meinen Freunden und Motivationscoaches Daniel Przybilovszki und Daniel Toth zu bedanken. Ihr habt mir nicht nur vorgelebt, wie ein produktives Leben aussehen kann, ihr wart auch immer für mich da, wenn ich meine Ziele aus den Augen verloren habe. Euch nachzueifern hat entscheidend zu meinem Leben beigetragen.

Fast schon mein ganzes Studium begleitet mich meine Partnerin Luzia Wilhelm. Niemand hat so viele Höhen und Tiefen mit mir durchgestanden wie sie. Das Studium hat uns beiden viel abverlangt und sie hat mir ständig unter die Arme gegriffen, wenn mich die Kräfte verlassen haben. Danke für alles, was du mit mir durchgemacht hast.

Ohne meine Eltern Sabine Buxbaum und Harald Gundinger wäre ich nicht da, wo ich heute bin. Eure bedingungslose Unterstützung ist unbezahlbar und ich bin unbeschreiblich dankbar für alles, was ihr mir ermöglicht habt.

# Präambel

Zugunsten einer besseren Lesbarkeit wurde innerhalb der vorliegenden Arbeit wie folgt gegendert. Soweit umsetzbar, wurde auf genderneutrale Begriffe zurückgegriffen. Wo dies nicht möglich war, wurde ausschließlich der weibliche Artikel gefolgt vom Gendern mittels Doppelpunkt verwendet. In seltenen Fällen, wie zum Beispiel Fachausdrücken, wurde selbst das vermieden. Es sind dennoch stets alle Geschlechter gemeint.

# Kurzfassung

Der demographische Wandel und Anforderungen wie eine hohe Individualisierung von Produkten stellen eine Herausforderung für die menschliche Arbeit dar. Diese Entwicklungen führen zu einer Überbelastung der Arbeitenden und Angestellten, welche weitere Probleme verursacht. Kognitive Assistenzsysteme wie Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) helfen dabei, die Belastung der Belegschaft zu senken und die Herausforderungen zu bewältigen.

Für Unternehmen ist es schwierig, die Kosten und den Nutzen einer Integration solcher AR/VR-Anwendungen in die unternehmensinternen Prozesse abzuwägen. Entscheidungsträger stehen des Weiteren vor der Herausforderung, eine potenzielle Anschaffung nach mehreren Kriterien zu bewerten, was die Komplexität der Thematik weiter erhöht. Diese Tatsachen stellen eine Hürde für die Einführung und Weiterentwicklung von kognitiven Assistenzsystemen dar und hemmen die Akzeptanz in der Industrie.

Es ist das Ziel dieser Arbeit, ein multikriterielles Evaluierungsverfahren zur Evaluierung von industriellen AR/VR-Anwendungen in einer Softwarelösung umzusetzen, um den Zugang zu diesen Methoden zu verbessern. Dadurch wird eine Basis für weitere Forschung und Entwicklung geschaffen. Durch die Anwendung der Design Science Research Methode wird dieses Ziel in mehreren iterativen Zyklen umgesetzt.

Auf der Basis einer Literaturrecherche und in Zusammenarbeit mit Vertretenden der Industrie ist im Zuge dieser Arbeit ein webbasiertes Evaluierungstool zur multikriteriellen Evaluierung von industriellen AR/VR-Anwendungen entstanden. Der modulare Aufbau, die Zurverfügungstellung von zusätzlichen Informationen zur Verwendung der Software und die grafische Darstellung von Ergebnissen erhöhen Zugänglichkeit und Benutzer:innenfreundlichkeit der Lösung. Der erarbeitete Anforderungskatalog wurde verwendet, um die Artefakte zu verifizieren. Zusätzlich wurde eine Studie mit neun Teilnehmenden durchgeführt, um die Lösung weiter zu testen. Die verwendete "System Usability Scale" hat eine gute Bewertung der Benutzer:innenfreundlichkeit ergeben. Die qualitativen Fragen haben dieses Ergebnis bestätigt und weitere Potenziale zur Verbesserung aufgezeigt.

# Abstract

Demographic change and requirements such as a high degree of individualization of products pose a challenge for human work. These developments lead to an overload for workers and employees, which causes further problems. Cognitive assistance systems such as augmented reality (AR) and virtual reality (VR) help to reduce the strain on the workforce and overcome the challenges.

It is difficult for companies to weigh up the costs and benefits of integrating such AR/VR applications into their internal processes. Decision-makers are also confronted with the challenge of evaluating the potential investment based on several criteria, which further increases the complexity of the issue. These facts represent a hurdle for the introduction and development of cognitive assistance systems and inhibit acceptance in the industry.

The aim of this work is to implement a multi-criteria evaluation procedure for the evaluation of industrial AR/VR applications in a software solution in order to improve access to these methods. This creates a basis for further research and development. By applying the Design Science Research method, this goal is realized in several iterative cycles.

Based on a literature analysis and in cooperation with industry representatives, a web-based evaluation tool for a multi-criteria evaluation of industrial AR/VR applications was developed within the scope of this work. The modular structure, the provision of advantageously placed information on the use of the software and the graphical presentation of results increase the accessibility and usability of the solution. The developed catalog of requirements was used to verify the artifacts. In addition, a study was conducted with nine participants to further test the solution. The "System Usability Scale" used resulted in a good rating of the usability. The qualitative questions confirmed this result and revealed further potential for improvement.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation . . . . .	1
1.2	Problemstellung . . . . .	1
1.3	Zielsetzung und Forschungsfrage . . . . .	2
1.4	Forschungsdesign und Vorgehensweise . . . . .	3
1.5	Aufbau der Arbeit . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>6</b>
2.1	Mensch-Maschine-Interaktion . . . . .	6
2.1.1	Anwender:in - Aufgabe - Werkzeug . . . . .	6
2.1.2	Ziel der Mensch-Maschine-Interaktion . . . . .	6
2.2	Industrielle Assistenzsysteme . . . . .	7
2.3	Kognitive Assistenzsysteme . . . . .	8
2.3.1	Mixed Reality . . . . .	9
2.3.2	Augmented Reality . . . . .	10
2.3.3	Virtual Reality . . . . .	10
2.4	Evaluierung . . . . .	11
2.4.1	Evaluierung mittels Umfragen . . . . .	11
2.4.2	Evaluierung im industriellen Kontext . . . . .	12
2.4.3	Unterschied quantitativer und qualitativer Evaluierung . . . . .	13
2.4.4	Multikriterielle Evaluierung . . . . .	13
2.5	Grundlagen der Softwareentwicklung . . . . .	13
2.5.1	Nichtfunktionale Anforderungen . . . . .	13
2.5.2	Software-Lebenszyklus . . . . .	14
2.5.3	Ziele der Softwareentwicklung . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>16</b>
3.1	Methodologie der Recherche . . . . .	16
3.2	Qualitative und quantitative Analyse der Literatur . . . . .	17

3.2.1	Evaluierung von AR/VR-Anwendungen . . . . .	18
3.2.2	Software-Tools für Evaluierungen . . . . .	20
3.2.3	Webbasierte Softwareanwendungen . . . . .	23
3.3	Diskussion und Ergebnis der Recherche . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Anforderungen an das Evaluierungstool</b>	<b>30</b>
4.1	Anforderungen aus dem Stand der Technik . . . . .	30
4.2	Anforderungen aus der Industrie . . . . .	31
4.3	Anforderungskatalog . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Entwicklung eines Prototyps</b>	<b>36</b>
5.1	Anforderungen an den Prototyp . . . . .	36
5.2	Vorbereitung der Prototypentwicklung . . . . .	37
5.2.1	Wahl der grundlegenden Struktur des Prototyps . . . . .	37
5.2.2	Verwendete Programme . . . . .	37
5.3	Erster Designzyklus . . . . .	39
5.3.1	Konzeptionierung der Prototyplösung . . . . .	39
5.3.2	Umsetzung des Prototyps . . . . .	42
5.3.3	Testen des Prototyps . . . . .	45
5.3.4	Erkenntnisse der Prototypentwicklung . . . . .	46
<b>6</b>	<b>Entwicklung der Softwarelösung für den Evaluierungsprozess</b>	<b>47</b>
6.1	Vorbereitung der Evaluierungstoolentwicklung . . . . .	47
6.2	Zweiter Designzyklus . . . . .	48
6.2.1	Konzeptionierung der Software . . . . .	48
6.2.2	Umsetzung der Software . . . . .	51
6.2.3	Testen des zweiten Artefakts . . . . .	58
6.3	Dritter Designzyklus . . . . .	60
6.3.1	Einarbeitung der Testergebnisse des zweiten Designzyklus . . . . .	60
6.3.2	Testen des dritten Artefakts . . . . .	62
<b>7</b>	<b>Studie zur Evaluierung des Evaluierungstools</b>	<b>64</b>



7.1	Vorbereitung und Durchführung der Studie . . . . .	64
7.2	Ergebnisse der Studie . . . . .	65
<b>8</b>	<b>Ergebnisse, Diskussion und Ausblick</b>	<b>68</b>
8.1	Zusammenfassung . . . . .	68
8.2	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	68
8.3	Beantwortung der Forschungsfragen . . . . .	69
8.4	Limitationen . . . . .	70
8.5	Ausblick . . . . .	71
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>72</b>
	<b>Anhang</b>	<b>79</b>
<b>A</b>	<b>Weitere Abbildungen</b>	<b>79</b>
<b>B</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>81</b>
<b>C</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>83</b>
<b>D</b>	<b>Pseudocodeverzeichnis</b>	<b>84</b>
<b>E</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>85</b>
<b>F</b>	<b>Link zum Repository des Evaluierungstools</b>	<b>86</b>

# 1. Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Aufgrund des demographischen Wandels der Gesellschaft wird die Arbeiterschaft immer älter [1]. Dadurch wird es immer wichtiger, dem älteren Teil der Belegschaft einen angemesseneren Arbeitsplatz zur Verfügung zu stellen. Außerdem führen Trends wie Losgröße 1 und stark individualisierte Produkte dazu, dass die Anforderungen an die menschliche Arbeit weiter steigen. Das erhöhte durchschnittliche Alter der Belegschaft gepaart mit steigenden Anforderungen führen zu einer Überbelastung der Arbeitenden und Angestellten, welche zu Ausfällen und Fehlern führt. [2, 3].

Kognitive industrielle Assistenzsysteme helfen dabei, diese Herausforderungen wirtschaftlich zu bewältigen. Systeme wie Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) Anwendungen unterstützen Arbeitende dabei, ihre Aufgaben mit möglichst geringer mentaler Anstrengung zu erfüllen. Forschung im Bereich der industriellen AR/VR-Anwendungen bietet eine Chance, um den heutigen Problemen der Arbeit entgegenzuwirken [3, 4].

## 1.2 Problemstellung

Obwohl die ersten Vorstöße industrieller AR/VR-Anwendungen in praktische Anwendungen von Wissenschaft und Industrie längst stattgefunden haben, ist es für Unternehmen immer noch schwierig zu entscheiden, ob die Kosten für die Vorbereitung und Einbettung einer AR/VR-Anwendung in die internen Prozesse einen ausreichend hohen Mehrwert mit sich bringen [4]. Viel grundlegender gilt es die Frage zu klären, ob die Einführung dieser Systeme eine Verbesserung der Unternehmensabläufe im Vergleich zum vorherrschenden IST-Zustand bewirkt [5]. Der Mangel an wissenschaftlich basierten und einfach anzuwendenden Tools für die Evaluierung der Wirksamkeit nach der vollständigen bzw. probeweisen Einführung von AR/VR-Anwendungen hemmt den Eintritt der neuen Technologien in die Industrie. Je mehr Unternehmen wissenschaftlich nachweisen, dass sie durch AR/VR signifikante Verbesserungen in ihren internen Prozessen erzielen, desto mehr werden sich andere Unternehmen diese Marktvorteile sichern. Außerdem werden durch das gestiegene Interesse weitere Anreize entstehen, in diesem Feld zu forschen, was die Entwicklung und Wissenschaft im Bereich von AR/VR weiter fördert [4, 5]. Im Rahmen des FFG-Projekts "Industrial Manufacturing Process And Collaboration Tools for sustainable XR", kurz "IMPACT-sXR" haben sich vier Hochschulen und eine große Anzahl an Industriepartner:innen zusammengeschlossen, um

"neue Formen der raumunabhängigen Zusammenarbeit zu erproben, (...) neue XR-gestützte Schulungs- bzw. Lernmethoden zu etablieren, (...) Prozesse gemeinsam mit den Betroffenen zu erarbeiten, um die Akzeptanz der neu entwickelten Technologien und Arbeitsweisen in den Unternehmen sicherzustellen" und "die Vorteile von XR-Lösungen herauszuarbeiten, was Nachhaltigkeit, Energie- und Ressourceneffizienz und eine mögliche Reduktion des ökologischen Fußabdrucks betrifft". [6]

Die Technische Universität Wien (TU Wien) übernahm dabei die Aufgabe, einen Evaluierungsprozess zu entwickeln, welcher nach der Anwendung aufzeigt, nach welchen Kriterien und in welchen Dimensionen (gruppierte Kriterien) die getestete oder eingeführte AR/VR-Anwendung eine Verbesserung oder Verschlechterung bringt. Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen dieses Projekts entstanden, weshalb stellenweise auf das Forschungsprojekt referenziert wird.

Die stets komplexer werdenden, technischen Systeme erschweren die Vergleichbarkeit. Entscheidungstragende stehen vor der Herausforderung, unterschiedliche AR- oder VR-Anwendungen für ihre Prozesse zu evaluieren und dabei eine große Anzahl an Kriterien zu berücksichtigen. Um diese Aufgabe zu meistern, wird in der Literatur eine Aufteilung auf unterschiedliche Sichten/Dimensionen vorgenommen, welche wieder in unterschiedliche Kriterien unterteilt werden [3].

Entscheidungen auf Basis mehrerer Dimensionen und Kriterien zu treffen, stellt eine Herausforderung und eine Hürde dar, neue Systeme in unternehmensinterne Prozesse zu integrieren [3]. Da Systeme, wie AR/VR-Anwendungen die Möglichkeit haben, zur Verbesserungen der Arbeitsbedingungen der Belegschaft der Industrie beizutragen, entsteht die Notwendigkeit den Entscheidungsprozess zu vereinfachen. Deshalb befasst sich diese Arbeit mit der Realisierung eines multikriteriellen Evaluierungsprozesses in einer Softwarelösung, um die Hürde der Einführung von AR/VR-Systemen zu senken.

### 1.3 Zielsetzung und Forschungsfrage

In diesem Unterkapitel wird die Zielsetzung und die daraus abgeleitete Forschungsfrage der Arbeit erarbeitet. Beides wird darauf bezogen, die Problemstellung aus Kapitel 1.2 zu lösen.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Softwarelösung zur multikriteriellen Evaluierung von industriellen AR/VR-Anwendungen. Die entstehende Software wird es Anwendenden ermöglichen, die Einführung dieser Systeme möglichst einfach und auf Basis eines objektiven und transparenten Prozesses zu evaluieren. Die Entwicklung wird darauf ausgelegt, dass das Programm nicht ausschließlich für Nutzende der Wissenschaft, sondern gleichermaßen für Entscheidungstragende der Industrie anwendbar ist, welche die Möglichkeit zur Implementierung neuer Systeme in ihren Unternehmen haben. Die Auswertung und die Datenerhebung mittels Umfragen sind von der Softwarelösung abzudecken.

Nach der Implementierung der Grundfunktionen wird darauf abgezielt, die gewonnenen Ergebnisse grafisch aufzubereiten und den Nutzenden darzustellen. Außerdem wird in iterativen Zyklen Feedback eingeholt und eingearbeitet.

Es ist nicht Ziel dieser Arbeit ein marktreifes Produkt, oder für jeden potenziellen Anwendenden eine perfekte Lösung zu entwickeln. Vielmehr geht es um die Gestaltung einer Basis, die die Möglichkeit für weiterführende Forschung und Entwicklung bietet.

Die Forschungsfrage dieser Arbeit lautet:

Wie muss eine Softwarelösung aufgebaut sein, um die Anwendung eines multikriteriellen Evaluierungsverfahrens für industrielle AR/VR-Anwendungen gut zugänglich zu machen?

Die Nebenforschungsfrage lautet:

Wie kann eine hohe Benutzer:innenfreundlichkeit der Softwarelösung begünstigt werden?

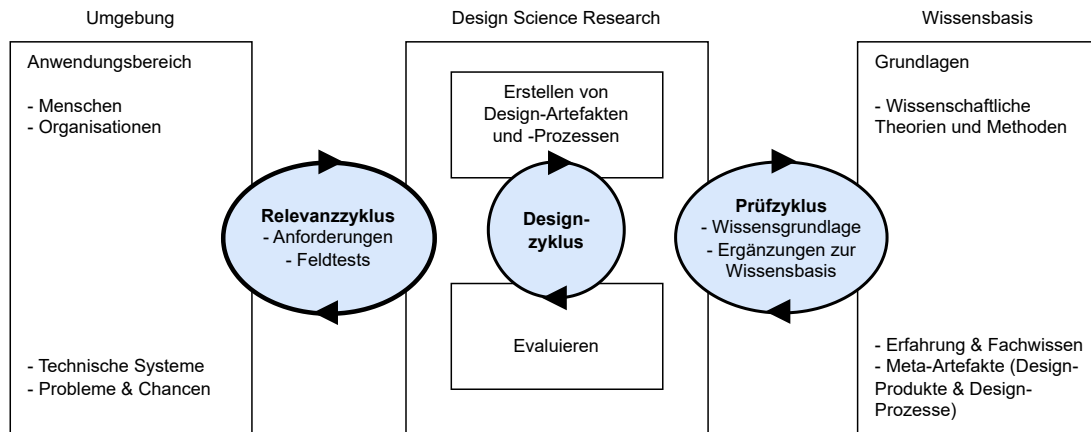
## 1.4 Forschungsdesign und Vorgehensweise

Da wir in einer Zeit leben in der digitale Methoden nicht wegzudenken sind [7], ist es naheliegend, dass eine Anwendung zur multikriteriellen Evaluierung industrieller AR/VR-Anwendungen einen hohen praktikablen Wert hat, wenn sie softwaregestützt gestaltet wird. Aus diesem Grund wird ein Forschungsdesign gewählt, mit dem die wissenschaftliche Herangehensweise einer Softwareentwicklung umgesetzt wird.

Das sogenannte "Design Science Research" (DSR) ist ein Konzept, das diese Thematik beschreibt, welches für diese Arbeit als Forschungsdesign gewählt wird. Hevner und Chatterjee definieren DSR als Forschungsparadigma, bei dem die Schaffung innovativer und nützlicher Artefakte verwendet wird, um Lösungen für menschliche Probleme zu erhalten und neue Erkenntnisse zu gewinnen [7].

Der zentraler Aspekt der Definition von DSR ist die Schaffung von innovativen Artefakten, welche das Wissen, Verständnis und die Lösung eines Entwicklungsproblems erarbeiten. DSR ist eine Probleme lösende Disziplin der Wissenschaft, die nicht den Anspruch erhebt "die Wahrheit" eines Phänomens zu finden. Es geht darum, das Wissen zu vertiefen, warum Artefakte die adressierten Probleme besser oder effizienter lösen als existierende Lösungen und darum, das Potenzial zur Verbesserung der Artefakte aufzuzeigen. Dieses Konzept kommt in vielen Feldern zur Anwendung und ist für Informationssysteme (IS) von besonderer Bedeutung, um die Effektivität und den Nutzen des IT Artefakts im Kontext von Business Use Cases zu verbessern [7].

Hevner und Chatterjee definieren die in Abbildung 1.1 gezeigten DSR-Zyklen. Die Zyklen verbinden die einzelnen Bereiche des IS-Forschungsgerüsts von Heavner et al. (2004): Umgebung, DSR und Wissensbasis [8]



**Abbildung 1.1:** Design Science Research Zyklen nach Hevner (2010), eigene Darstellung [7]

DSR hat den Anspruch die Umgebung zu verbessern, welche im Falle der allgemeinen Definition aus folgenden Teilnehmenden besteht: Menschen, Organisationen und technischen Systemen. Der Relevanzzyklus initialisiert das DSR-Projekt mit den Anforderungen aus der Umgebung. Außerdem wird festgelegt, nach welchen Kriterien überprüft wird, ob das entstandene Artefakt die Umgebung verbessert. Das im Designzyklus entstehende Artefakt wird zurück an den Relevanzzyklus übergeben, um zu testen, ob das Artefakt die Umgebung verbessert [7]. Im konkreten Fall dieser Arbeit startet der Zyklus in Kapitel 4 mit der Analyse der Anforderungen aus der Umgebung. Die Systemgrenzen der Umgebung werden allgemein um Menschen aus Forschung und Unternehmer:innenschaft der produzierenden Industrie und konkret um die am Forschungsprojekt teilnehmenden Unternehmen und deren Mitarbeiter:innen gelegt. Eine Befragung dieser Teilnehmer:innen dient als Grundlage für die Anforderungsanalyse.

Der Designzyklus stellt die Kernaufgabe von DSR dar. Er besteht aus der Konstruktion des Artefakts, dessen Evaluierung und der Berücksichtigung der Evaluierungsergebnisse in neuen Ansätzen zur Verbesserung des Designs. Zwar herrscht eine starke Abhängigkeit zu den beiden benachbarten Zyklen, in der Durchführung ist der Zyklus allerdings völlig unabhängig [7]. Der erste Designzyklus dieser Arbeit wird in Kapitel 5 beschrieben. Die aus dem Relevanzzyklus in Kapitel 4 erarbeiteten Anforderungen werden herangezogen, um einen Prototyp zu erstellen. Es werden die Umsetzungsart und IT-Architektur gewählt, die Konzeptionierung, Umsetzung und Testung des ersten Artefakts vorgenommen. Mit der Testung und Evaluierung werden neue Erkenntnisse gesammelt, die in der nächsten Iteration des Designzyklus berücksichtigt werden, was in Kapitel 6 dokumentiert ist.

DSR stützt sich auf eine breite Wissensbasis aus wissenschaftlichen Theorien und Ingenieursmethoden. Durch den Prüfzyklus wird sichergestellt, dass neue Artefakte innovativ sind und auf bestehendem Wissen aufbauen. Auf der anderen Seite wird durch DSR neues Wissen geschaffen, welches im allgemeinen Fall auf drei verschiedene Arten entsteht: durch das Erweitern oder Verändern von bestehenden Theori-

en oder Methoden, die Schaffung neuer Artefakte oder das Teilen von Erfahrungen, die während den iterativen Zyklen oder den Evaluierungen gemacht wurden [7]. Der Prüfzyklus dieser Arbeit startet mit der Literaturrecherche und der Analyse des aktuellen Stands der Technik in den Kapiteln 2 und 3. Es werden Grundbegriffe geklärt und aktuelle wissenschaftliche Lösungen für ähnliche Probleme aufgezeigt und verglichen. Die Resultate der Recherche werden zusammengefasst und fließen in die Entwicklung der Artefakte ein. Die im Prüfzyklus an die Wissensbasis rückgeführten Erkenntnisse werden in Kapitel 8 diskutiert.

## 1.5 Aufbau der Arbeit

Um die Struktur der Arbeit darzulegen, werden die einzelnen Kapitel in chronologischer Reihenfolge beschrieben. In vorherigen Kapiteln wurden sowohl die Ausgangssituation und die Problemstellung beleuchtet, um ein allgemeines Verständnis für die Motivation dieser Arbeit zu schaffen, als auch die Zielsetzung, Forschungsfragen und das Forschungsdesign festgelegt.

In den beiden darauffolgenden Kapiteln wird eine Literaturrecherche durchgeführt. Hier werden zuerst die theoretischen Grundlagen erarbeitet, um eine solide Wissensbasis aufzubauen, welche für alle weiteren Schritte benötigt wird. Es werden dabei die Grundbegriffe aus allen Disziplinen geklärt und definiert: jene der industriellen Assistenzsysteme, der Evaluierungsprozesse und der wissenschaftlichen Softwareentwicklung. Der Fokus der Recherche wird sich vermehrt auf Papers aus Journals und Konferenzen beziehen. Nach der Klärung der theoretischen Grundlagen wird im nächsten Kapitel der Stand der Technik recherchiert und beleuchtet. Es wird geklärt, welche Lösungsansätze es für die Beantwortung der Forschungsfrage bereits gibt und welche relevanten Arbeiten zur Problemstellung vorhanden sind. Die Ergebnisse der Recherche werden diskutiert und zu einer Conclusio zusammengeführt.

Bevor mit der Entwicklung begonnen wird, wird eine Anforderungsanalyse durchgeführt. Die darauffolgenden Kapitel befassen sich mit der Entwicklung der Software, um die Problemstellung zu lösen und die Forschungsfrage zu beantworten. Es wird ein Prototyp zur Überprüfung der prinzipiellen Wirkweise vorbereitet, konzeptioniert, umgesetzt und getestet, um im nächsten Schritt mithilfe der Erfahrungen aus der Prototypenentwicklung das Evaluierungstool in der gewünschten Zielsoftwarearchitektur zu entwickeln.

Nach der Fertigstellung des Evaluierungstools steht dieses im Rahmen des IMPACT-sXR Projekts den Industriepartner:innen zur Verfügung. Durch Tests werden die Funktionalität und Benutzer:innenfreundlichkeit überprüft und weiteres Feedback für zukünftige Entwicklungsschritte eingeholt. Zusätzlich werden beim Testen potenziell nicht gefundene Fehler aufgedeckt und ggfs. ausgebessert. Abschließend werden alle Ergebnisse diskutiert, Limitationen aufgezeigt und die Beantwortung der Forschungsfrage durchgeführt. Dabei wird ein Ausblick darauf gegeben, in welchen Feldern weiterer Forschungsbedarf besteht.

## 2. Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel wird allgemein auf die Mensch-Maschine-Interaktion und später speziell auf industrielle Assistenzsysteme eingegangen. Für das bessere Verständnis zur Evaluierung solcher Systeme wird ein Überblick über Evaluierungen gegeben und für die spätere Umsetzung dieser Prozesse auf die Grundlagen der Softwareentwicklung eingegangen.

### 2.1 Mensch-Maschine-Interaktion

Um die steigenden Anforderungen an die Arbeit der Zukunft zu unterstützen, kommen digitale Assistenzsysteme zum Einsatz [4]. Kollaborierende Roboter und Datenbrillen sind zwei Beispiele, welche für den weitreichenden Wandel der industriellen Arbeit und Produktion stehen [9]. Diese Systeme haben gemein, dass ein Mensch mit einer Maschine (bzw. einem Computer) interagiert. Dies fällt in den Kompetenzbereich der sogenannten Mensch-Maschine-Interaktion (MMI).

Die MMI basiert auf den menschlichen Mechanismen der Wahrnehmung und Kognition, also auf der Verarbeitung wahrgenommener Reize. Wenn maschinelle Systeme ihre Aufgaben als kognitive Werkzeuge zur Unterstützung des Menschen erfüllen wollen, müssen diese auf grundlegendem Wissen über die menschliche Informationsverarbeitung aufgebaut werden [10].

#### 2.1.1 Anwender:in - Aufgabe - Werkzeug

Um näher auf MMI und die Aufgabe der Maschine einzugehen, wird hier die Aufgabe des Menschen beleuchtet. Abbildung 2.1 zeigt den Zusammenhang zwischen der Anwender:in (=Benutzer:in), ihrer Aufgabe und dem Werkzeug (=Maschine) im Nutzungskontext. Der Mensch will eine Aufgabe unter Zuhilfenahme einer Maschine lösen. Die Aufgabe beeinflusst das Ziel der Anwender:in und die Maschine als Werkzeug stellt Funktionalität bzw. Mittel zur Lösung der Aufgabe zur Verfügung [10].



Abbildung 2.1: Schema Mensch-Maschine-System [11]

#### 2.1.2 Ziel der Mensch-Maschine-Interaktion

Die Disziplin der MMI hat es sich zur Aufgabe gemacht, das Mensch-Maschine-System zu optimieren. Das bedeutet, dass Aufgaben im Hinblick auf Effizienz, Effektivität und möglichst große subjektive Zufriedenstellung verbessert werden [10].

Zur Umsetzung dieses Ziels ist es wichtig, auf die Wahrnehmung und Kognition des Menschen Rücksicht zu nehmen. Die motorischen Eigenschaften der Anwender:in sind von hoher Bedeutung, da diese eine viel genutzte Möglichkeit sind, um mit den maschinellen Systemen zu interagieren. Außerdem ist es von Vorteil, wenn die natürlichen Einschränkungen des Menschen bekannt sind, um die Maschine optimal auf diese einzustellen, wodurch die unterschiedlichen Stärken und Schwächen der beiden Akteure komplementär genutzt werden. Menschen besitzen die Fähigkeit, komplexe Informationen wie Sprache oder räumliche Szenen sicher zu erkennen und sich trotz großer Mengen an Informationen auf das Wesentliche zu konzentrieren. Auf der anderen Seite lösen Maschinen algorithmisch formulierte Probleme schnell, erkennen bekanntes schnell und zuverlässig, speichern große Datenmengen und führen Operationen beliebig oft durch [10]. Ein Anwendungsgebiet der MMI sind industrielle Assistenzsysteme [9, 12, 13], welche in Kapitel 2.2 näher beleuchtet werden.

## 2.2 Industrielle Assistenzsysteme

Industrielle Assistenzsysteme helfen Anwendenden dabei, die steigenden Anforderungen der industriellen Produktion zu bewältigen und die Gesundheit des Menschen dabei so lange wie möglich aufrecht zu halten. Konkreter geht es um die Erfüllung von Aufgaben, wie sie in Kapitel 2.1.1 beschrieben wurde. Dabei adressieren unterschiedliche Assistenzsysteme unterschiedliche Aspekte der Unterstützung: Entscheidungs-, Ausführungs- oder Informationshilfe [14].

Ein wichtiger Aspekt der industriellen Assistenzsysteme ist die Betonung der Assistenz. Es handelt sich bei diesen Technologien nicht um eine Ablöse des Menschen und einen Ersatz durch eine Maschine. Die Anwender:in steht nach wie vor im Mittelpunkt der Tätigkeit und die Aufgabe wäre ohne sie nicht bewältigbar [12].

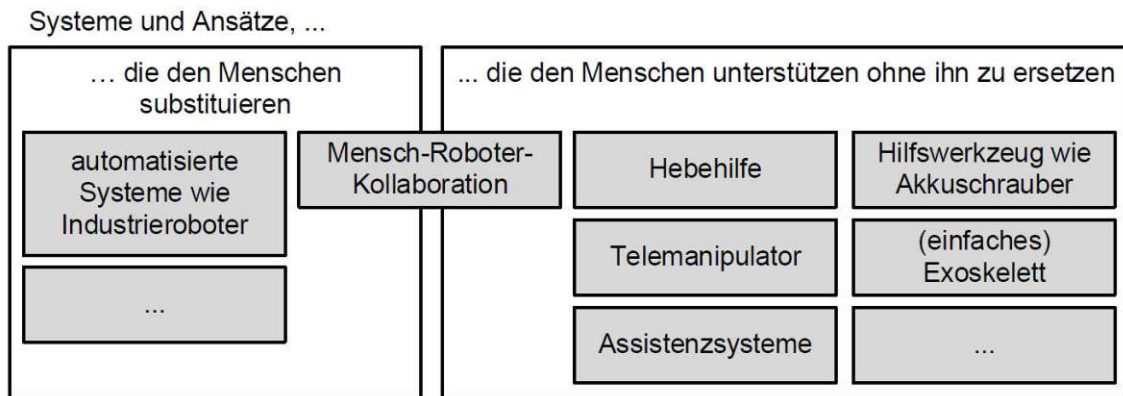
Abbildung 2.2 zeigt die von Weidner et al. (2015) getroffene Unterscheidung zwischen Systemen, die den Menschen substituieren und welchen, die ihn unterstützen. Die Autoren ordnen die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) beiden Szenarien zu, da dadurch unter Umständen Arbeitskräfte eingespart werden. Exoskelette und andere Assistenzsysteme werden aber klar den unterstützenden Systemen zugeordnet [15].

Abgesehen von der Einordnung von industriellen Assistenzsystemen aus Abbildung 2.2 werden diese anders kategorisiert. Dafür gibt es in der Literatur verschiedene Ansätze. Ein detaillierter Ansatz, Assistenzsysteme einzuordnen, ist es diese in ein Diagramm einzutragen. Auf der ersten Achse wird das räumliche Verhältnis und auf der zweiten Achse die Art der Kommunikation zwischen Mensch und Maschine eingetragen [16].

Reinhart (2017) hingegen unterscheidet zwischen kognitiven und physischen Assistenzsystemen. Die kognitiven werden vom Autor weiter in Wahrnehmungs- und Entscheidungsassistenzsysteme unterteilt, während er die physischen als Ausführungsassistenzsysteme bezeichnet. Wahrnehmungsassistenz beginnt bereits bei einfachen Stücklisten der zu verarbeitenden Komponenten und geht bis zu komplexen IT-basierten Informationssystemen, die die Mitarbeiter:in über die nächsten Schritte ihrer



Aufgabe informieren. Zur Zeit der Erstellung des Werkes von Reinhart (2017) waren wenige Assistenzsysteme zur Entscheidungsunterstützung im Einsatz [14]. Dies ändert sich mit dem Vorrücken von Artificial Intelligence (AI) Anwendungen in den industriellen Bereich [17]. Im Bereich der Ausführungsassistenzsysteme waren bereits damals wie heute einige Systeme in Verwendung. Diese reichen von Handgabelhubwagen bis hin zur MRK [14]. Der Ansatz von Reinhart (2017) wird für diese Arbeit herangezogen.



**Abbildung 2.2:** Industrielle Unterstützungssysteme: Vergleich Substitution und Unterstützung [15]

## 2.3 Kognitive Assistenzsysteme

Kognitive Assistenzsysteme unterstützen durch die Verbesserung der kognitiven Verarbeitbarkeit mittels geeigneter Darstellung der zu verarbeitenden Informationen [18]. Sie dienen dabei vor allem der Reaktions-, Denk-, Merk-, oder Schlussfolgerungsfähigkeit [9, 18].

Abbildung 2.3 liefert einen Überblick für die Einteilung kognitiver Assistenzsysteme. Zigart (2022) ordnet alle gezeigten Systeme den digitalen Werkerassistenzsystemen zu, welche zum Einsatz kommen, damit es Beschäftigten möglich ist, sich besser auf ihre Kernkompetenz zu konzentrieren und ihre Fehlerhäufigkeit zu verringern [19]. Dies wird z.B. durch die Bereitstellung von Arbeitsanweisungen und Verfahrensschritte zur Qualitätskontrolle ermöglicht [20].



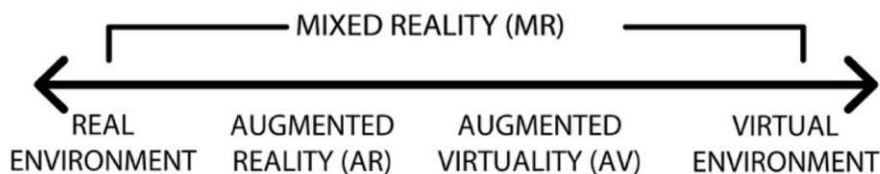
**Abbildung 2.3:** Einteilung kognitiver Assistenzsysteme [21]

Dabei unterscheiden sich PC-Terminals und mobile Geräte wie Smartphones oder Tablets noch weiter von der Gruppe der Mixed Reality Anwendungen.

In den folgenden Unterkapiteln wird vor allem auf die Mixed Reality und zwei weitere Unterscheidungen eingegangen, nämlich die Augmented Reality (AR) und die Virtual Reality (VR), da diese Anwendungen im 'IMPACT-sXR' Projekt, welches in der Ausgangssituation in Kapitel 1.1 beschrieben wurde, im Fokus standen [6].

### 2.3.1 Mixed Reality

Zwischen der vollständig realen Welt und einer vollständig virtuellen Umgebung definieren Milgram und Kishino (1994) ein Reality-Virtuality-Kontinuum, wie in Abbildung 2.4 zu sehen ist. Mixed Reality (MR) beschreibt alle Technologien, die innerhalb dieses Kontinuums liegen [22].



**Abbildung 2.4:** Reality-Virtuality-Kontinuum [22]

MR-Anwendungen kommen heute in vielen Bereichen der Industrie zur Anwendung, unter anderem: Produktdesign, Training, Instandhaltung, Montage und andere Prozesse der Produktion [23]. Ein weiteres Anwendungsfeld der MR hat sich aufgetan,

als von sozialer, physischer Nähe abgeraten wurde, was zum Beispiel während der COVID-19 Pandemie der Fall war. Über die bereits weiter verbreiteten Technologien, wie Video- und Telekonferenzen hinaus, haben es Mixed Reality Anwendungen möglich gemacht, kollaborativ und trotzdem von zu Hause aus zusammenzuarbeiten. Das betrifft die Industrie, die Forschung und Einzelpersonen [24]. Die nächsten beiden Kapitel befassen sich mit AR und VR, welche ein Teil der Mixed Reality sind.

### 2.3.2 Augmented Reality

Augmented Reality (deutsch: erweiterte Realität) ist eine Technologie, die im Spektrum des Reality-Virtuality-Kontinuums der realen Umgebung näher ist, als der vollständig realen Welt [22]. Dabei geht es um eine Erweiterung der Realität mit zusätzlichen Informationen. Diese Informationen verschmelzen durch das Einbringen computergenerierter Objekte mit der realen Welt [25]. Um die Technologie besser zu verstehen, werden hier die Key-Features näher erläutert.

Wichtige Aspekte dieser Technologie sind die Registrierung und Nachverfolgung (=Tracking) der Umgebung, ohne die es unmöglich wäre, die reale und virtuelle Welt miteinander zu verschmelzen. Eine schlechte Nachverfolgung würde sich für die Nutzenden als wackelig-virtuelles über dem stabilen realen Objekt manifestieren [23]. Neben dem Tracking spielt die Darstellung der Informationen eine entscheidende Rolle. Dabei geht es darum, die virtuelle und die reale Welt darzustellen. Nee et al. (2012) stellen hierfür vier Technologiegruppen vor [26]:

- das Abspielen eines Videos über ein Head-Mounted-Display (HMD)
- Durchsicht-HMDs, bei denen die Nutzenden die echte Welt ähnlich wie bei einer Brille durch eine Scheibe sehen, welche aber virtuelle Objekte anzeigt
- projektorbasierte Geräte
- mobile Geräte

Beispiele hierfür sind in Abbildung 2.3 ersichtlich.

### 2.3.3 Virtual Reality

Während sich die Nutzenden bei AR-Anwendungen in einer semi-immersiven Umgebung befinden [23], tauchen Anwender:innen von VR-Anwendungen in eine rein virtuelle Welt ein [22]. VR-Brillen gibt es kabelgebunden oder kabellos, gesten- oder controllergesteuert. Für die Anregung zusätzlicher Sinne steht VR-Zubehör, wie zum Beispiel Schuhe oder Handschuhe, zur Verfügung. Sogar Geruchsstimulation ist bereits umsetzbar [21]. Ein Beispiel für eine kabellose, controllergesteuerte VR-Variante befindet sich in Abbildung 2.3.

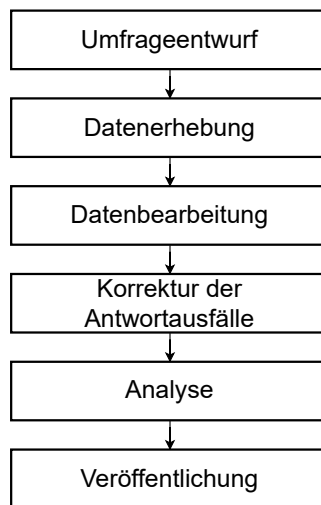
Durch die Verfügbarkeit kostengünstiger HMDs ist VR bereits in viele Branchen vorgegangen, wie die Gaming-, Unterhaltungs-, Verkaufs- und Fertigungsbranche [27]. In der Produktherstellung wird VR hauptsächlich für Schulungszwecke verwendet [28].

## 2.4 Evaluierung

'Evaluation' als Synonym zum Wort 'Evaluierung' wird im Duden als eine 'sach- und fachgerechte Bewertung' definiert [29]. Im weiteren Text wird ausschließlich das Wort 'Evaluierung' und nicht 'Evaluation' verwendet.

### 2.4.1 Evaluierung mittels Umfragen

Wir leben in einer informationsgetriebenen Gesellschaft, in der der Bedarf an statistischen Daten über Wirtschaft und Bevölkerung der ganzen Welt stetig steigt. Diese Informationen werden unter anderem von industriellen Entscheidungstragenden dazu verwendet, wissensbasierte Vorgaben für ihre Betriebe zu tätigen. Für die Durchführung von Evaluierungen werden unter anderem Umfragen genutzt. Diese werden von einer genau definierten Population (z.B. Montagemitarbeiter:in eines Betriebs) durchgeführt, allerdings nicht von deren Gesamtheit, sondern nur einer Stichprobe. Um den ganzen Prozess einheitlich und konsistent zu gestalten, werden Fragebögen eingesetzt [30]. Es folgt ein kurzer Überblick über den Ablauf einer Umfrage vom Entwurf bis zur Veröffentlichung der Ergebnisse. Abbildung 2.5 zeigt die verschiedenen Stadien eines solchen Prozesses.



**Abbildung 2.5:** Ablauf eines Umfrageprozesses nach Bethlehem (2009), eigene Darstellung [30]

Der Entwurf der Umfrage fordert als ersten Schritt sorgfältige Entscheidungen und beginnt mit der Bestimmung der Zielpopulation. Darüber hinaus werden Entscheidungen zur Auswahl einer repräsentativen Stichprobe und der Bestimmung des Stichprobenumfangs getroffen [30].

Die Methoden der Datenerhebung (zweiter Schritt) haben sich im Laufe der Zeit weiterentwickelt. Zu den traditionellen Ansätzen gehörten Fragebögen in Papierform, die häufig in persönlichen Gesprächen ausgefüllt wurden, was zwar zu qualitativ hochwertigen Daten, aber zu hohen Kosten führte. Telefonische Befragungen boten eine

kosteneffiziente Alternative, während Erhebungen auf dem Postweg zwar den Einsatz von Interviewern überflüssig machten, aber häufig geringere Antwortquoten aufwiesen. Moderne Methoden verwenden elektronische Technologien, wie z.B. die computergestützte Befragung (computer-assisted interviewing - CAI) oder die webbasierte Befragung (computer-assisted web interviewing - CAWI), welche kostengünstiger sind und qualitativ hochwertigere Daten liefern [30, 31, 32].

Nach der Datenerhebung folgt die Datenbearbeitung, um deren Genauigkeit zu gewährleisten. Dieser Prozess umfasst die Identifizierung und Behebung von Fehlern, was unter Umständen ein schwieriges Unterfangen darstellt, insbesondere wenn die Befragten nicht erneut kontaktiert werden können. Das macht Techniken zur Schätzung fehlender Werte erforderlich. Bei Antwortausfällen kommt es unter Umständen zu einer Überrepräsentation einer Gruppe der Stichprobe, welche die Ergebnisse verfälschen (sample bias). Diesem Fehler wird mittels Gewichtungskorrektur entgegengewirkt. Im fünften Schritt erfolgt die eigentliche Analyse der Daten, welche entweder die Aufdeckung von Mustern und Beziehungen (explorative Analyse) oder Rückschlüsse über die gesamte Population (induktive Analyse) zum Ziel hat [30].

## 2.4.2 Evaluierung im industriellen Kontext

Im industriellen Kontext definieren Romero und Barbosa (2012) mehrere Phasen, die durchlaufen werden, um Technologien zu evaluieren: (1) Ideenfindungsphase, (2) Screening-Phase, (3) Ideenbewertungsphase, (4) Durchführbarkeitsphase und (5) Opportunitätsphase [33].

Die erste Phase ist die Ideengenerierungsphase, in der mehrere Ideen informell und ohne Bewertung generiert werden. Hier werden in der Regel Instrumente wie Meetings, Brainstorming und Checklisten eingesetzt. In der Screening-Phase werden die vielversprechendsten Ideen einer ersten Bewertung unterzogen. Diese Phase ist stark von subjektiven Elementen wie Erfahrung, Meinungen und Ratschlägen von Unternehmen und Institutionen abhängig. In der Ideenbewertungsphase verlagert sich der Schwerpunkt auf die Erhebung konkreter Daten zu ausgewählten Ideen. Hier treten Kriterien wie Erfahrung, Wettbewerbsvorteil und Übereinstimmung mit den Unternehmenszielen in den Vordergrund. In dieser Phase beginnt der Übergang von subjektiven zu stärker strukturierten und quantitativen Bewertungsmethoden. In der Durchführbarkeitsphase liegt der Schwerpunkt insbesondere auf der Wirtschaftlichkeit. Es geht um die Konsolidierung des Ideenkonzepts und eine strenge Bewertung seiner funktionalen und operativen Durchführbarkeit. In der fünften Phase, der Opportunitätsphase, findet schließlich eine umfassende Finanz- und Projektbewertung statt. Hier wird die finanzielle Analyse zum Schwerpunkt und quantitative Methoden dominieren den Entscheidungsprozess. Diese Phase stellt den Höhepunkt des Technologiebewertungsprozesses dar, wobei der Schwerpunkt auf objektiven, datengestützten Bewertungen liegt [33]. Abgesehen von den unterschiedlichen Phasen einer industriellen Evaluierung wird zwischen quantitativen und qualitativen Evaluierungen unterschieden.

### 2.4.3 Unterschied quantitativer und qualitativer Evaluierung

Die wissenschaftliche Literatur bietet zahlreiche Beispiele quantitativer Evaluationsmethodiken, welche häufig etablierte Verfahren verwenden, um den Status eines Prozesses in metrischen oder ordinalen Skalen abzubilden. Diese Verfahren tendieren dazu, vorgegebene Antwortoptionen im Rahmen eines "Single Choice"-Verfahrens zu verwenden. Ein großer Stichprobenumfang ist erforderlich, um mit diesen zugrunde liegenden Methoden signifikante Ergebnisse zu erlangen [34, 35, 36, 37].

Im Gegensatz dazu basieren qualitative Evaluierungsmethoden weniger auf standardisierten Fragebögen mit vordefinierten Worten, sondern vielmehr auf individuell an die Zielsetzung des jeweiligen Anwendungskontextes angepasste Fragestellungen, wobei diese stets als offene Fragen gestellt werden. In einigen Fällen reicht bereits eine geringere Anzahl von Umfrageteilnehmenden aus, um aussagekräftige Resultate zu erzielen [38, 39, 40]. Evaluierungen werden basierend auf der Anzahl der verwendeten Bewertungskriterien klassifiziert, was im folgenden Kapitel beschrieben wird.

### 2.4.4 Multikriterielle Evaluierung

Evaluierungen werden auf Basis eines, zweier oder mehrerer Kriterien durchgeführt [41]. Entscheidungstragende stehen oft vor der Herausforderung, ihre Alternativen anhand mehrerer Kriterien zu wählen. Um zwei unterschiedliche Ziele zu erreichen, müssen teilweise konträr wirkende Maßnahmen ergriffen werden. Das Problem wird folglich mit jedem weiteren Entscheidungskriterium immer komplexer. Abhilfe schaffen sogenannte "multikriterielle" Modelle, wie z.B. die "Multi-Criteria Decision Analysis" (MCDA) [42]. Dabei wird in einem ersten Schritt die Art des erwarteten Ergebnisses festgelegt, um danach ein passendes Verfahren zu wählen. Es besteht die Möglichkeit, dass quantitative und qualitative Kriterien berücksichtigt werden. MCDA kommt auch bei komplexen Problemstellungen zur Anwendung [34]. Im nächsten Kapitel werden die "Grundlagen der Softwareentwicklung" näher beleuchtet.

## 2.5 Grundlagen der Softwareentwicklung

Da die später entwickelten Artefakte Softwarelösungen sein werden, wird in diesem Kapitel näher auf die Grundlagen der Softwareentwicklung eingegangen. Es werden nichtfunktionale Anforderungen, der Software-Lebenszyklus und Ziele der Softwareentwicklung beschrieben.

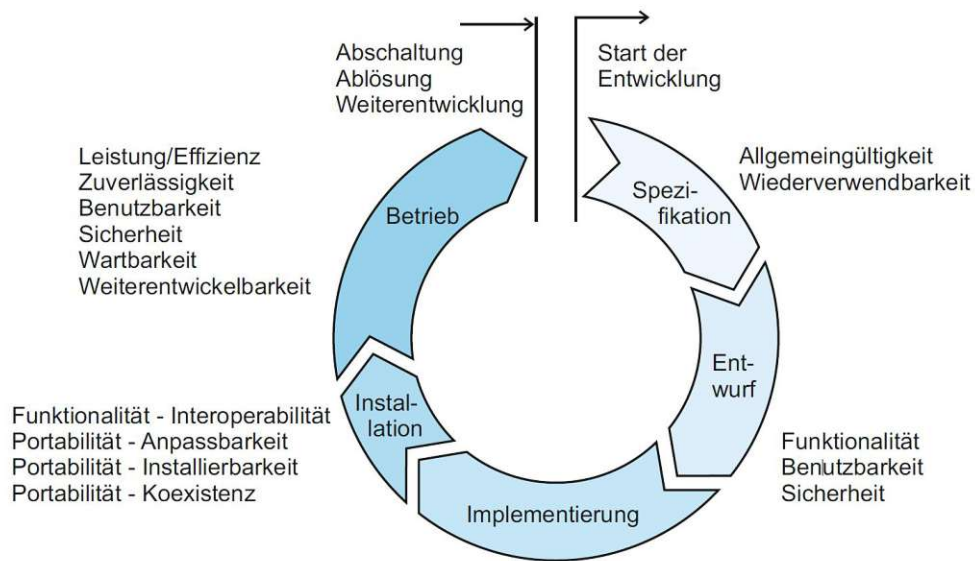
### 2.5.1 Nichtfunktionale Anforderungen

Funktionale Anforderungen spezifizieren, wie sich ein Softwareprodukt unter festgelegten Umständen verhält. Nichtfunktionale Anforderungen beschreiben hingegen ein breiteres Verhaltensmuster der Software, welches sich nicht auf einzelne Situationen definieren lässt, sondern mehrere funktionale Anforderungen umfasst. Dabei stehen nichtfunktionale Anforderungen, wie Security und Benutzbarkeit im Konflikt zueinander. Das bedeutet, dass eine genaue Abstimmung erforderlich ist. Für Websysteme

werden folgende nichtfunktionale Anforderungen als Beispiele genannt: Leistung, Security, Benutzbarkeit (Usability), Integrität und Skalierbarkeit [43]. Die in diesem Kapitel vorkommenden Definitionen werden benötigt, um den Software-Lebenszyklus im folgenden Kapitel zu beschreiben.

## 2.5.2 Software-Lebenszyklus

Abbildung 2.6 zeigt den Software-Lebenszyklus nach Balzert inklusive nichtfunktionaler Anforderungen, welche den einzelnen Phasen des Zyklus zugeordnet sind.



**Abbildung 2.6:** Software-Lebenszyklus [43]

Der Lebenszyklus eines Softwareprodukts ist der Prozess von der Entstehung bis zur Ablösung des Produkts. Er beginnt mit der Spezifikation des Produkts, bei der die Anforderungen ermittelt und dokumentiert werden. Sind Allgemeingültigkeit und Wiederverwendbarkeit als nichtfunktionale Anforderungen definiert, gilt es, diese in der Spezifikationsphase umzusetzen. Anschließend folgt der Entwurf, in dem die Architektur des Produkts festgelegt wird, wobei Funktionalität, Benutzbarkeit und Sicherheit eine zentrale Rolle spielen. In dieser Phase wird mit Modellierungssprachen wie dem Entity-Relationship-Modell (ERM) oder der Unified Modeling Language (UML) gearbeitet, um den Entwurf zu strukturieren und den Ausschnitt der realen Welt, der für das Softwareprodukt relevant ist, möglichst lückenlos abbilden zu können. In der Implementierung wird das Produkt in Code umgesetzt, wobei die Anforderungen aus der Spezifikation und dem Entwurf berücksichtigt werden. In der Testphase wird das Produkt auf Fehler überprüft, um sicherzustellen, dass es zuverlässig und sicher ist. Nach der Auslieferung wird das Produkt in Betrieb genommen und gewartet, wobei Leistung, Effizienz, Benutzbarkeit, Sicherheit, Wartbarkeit und Weiterentwickelbarkeit wichtige Faktoren sind. Der Lebenszyklus endet schließlich mit der Ablösung des Produkts, z.B. weil es veraltet ist oder neue Anforderungen nicht erfüllt [43].

### 2.5.3 Ziele der Softwareentwicklung

Es wird zwischen verschiedenen Zielen der Softwareentwicklung unterschieden: Geschäftsprozessziele, Ziele des Systementwicklungsprozesses und Ziele im Sinne von Software-Qualitätsmerkmalen, die sich auf das Software-Produkt beziehen. Geschäftsprozessziele adressieren Probleme in Geschäftsprozessen. Die Reduktion von Durchlaufzeiten oder Prozesskosten gelten als typische Beispiele für Geschäftsprozessziele [44]. Ziele des Systementwicklungsprozesses sind z.B. die Erhöhung der Planungssicherheit im Bezug auf Termin- und Budgettreue [45]. Ziele im Sinne von Software-Qualitätsmerkmalen sind laut Norm ISO/IEC 25010:2011: Funktionalität, Zuverlässigkeit, Benutzbarkeit, Effizienz, Wartbarkeit und Übertragbarkeit [46].

Mit diesem Überblick über Grundlagen der Softwareentwicklung endet das Kapitel Theoretische Grundlagen, in welchem die grundlegenden Begrifflichkeiten, die für das Verständnis der gesamten Arbeit wichtig sind, erläutert wurden. Im nächsten Kapitel wird der aktuelle Stand der Technik zu der Evaluierungen von AR/VR, deren Tools und der webbasierten Softwareentwicklung beleuchtet.



## 3. Stand der Technik

In diesem Kapitel wird der aktuelle Stand der Technik, in den für diese Arbeit relevanten Gebieten, beleuchtet. Im nächsten Unterkapitel wird die Methodologie der Recherche beschrieben. Durch eine quantitative und qualitative Auseinandersetzung mit der Literatur werden die folgenden Fragen beantwortet: Wie werden im wissenschaftlichen Kontext Evaluierungen von AR/VR-Anwendungen durchgeführt? Wie häufig kommen multikriterielle Evaluierungen zum Einsatz? Welche Softwarelösungen werden aktuell eingesetzt, um Evaluierungen durchzuführen? Welche Vor- und Nachteile bringt webbasierte Softwareentwicklung mit sich und welchen Herausforderungen stellen sich deren Entwickler:innen aktuell? Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse diskutiert.

### 3.1 Methodologie der Recherche

Um die Reproduzierbarkeit der Recherche zu ermöglichen, wird in diesem Kapitel die Vorgehensweise dieser beschrieben. Die Datenbanken der TU Wien Bibliothek und Scopus wurden durchsucht. Es wurden ausschließlich Publikationen berücksichtigt, die nach 2019 publiziert wurden und mit den Zugriffsrechten der Technischen Universität Wien erhältlich waren. Es sind Konferenz- und Journal-Paper berücksichtigt worden. Die festgelegten Schlüsselwörter für die Suche in den Datenbanken sind Tabelle 3.1 zu entnehmen. Für Kapitel 3.2.1 wurde als Ziel festgelegt, auf Evaluierungen von AR/VR-Anwendungen der produzierenden Industrie einzugehen. Im Fall von Kapitel 3.2.2 sind erst Software-Tools zur Evaluierung von AR/VR-Anwendungen gesucht worden. Nachdem die Recherche mit diesen Parametern in den verwendeten Datenbanken nur eine geringe Anzahl an relevanten Publikationen ergeben hat, wurde der Fokus in einem zweiten Durchlauf auf technische Systeme erweitert, was die gewünschte Menge an Resultaten gebracht hat. Der Fokus der Recherche für Kapitel 3.2.3 ist die Analyse von Weblösungen. Dabei ist keine Einschränkung für Evaluierungen von industriellen AR/VR-Anwendungen vorgenommen worden. Durch die Erweiterung der Recherche auf alle Disziplinen wird ein vertiefendes Verständnis für webbasierte Softwareanwendungen geschaffen. Um präzise auf die Herausforderungen und die Vor- und Nachteile der Thematik einzugehen, wurde die Suche auf zwei Durchläufe aufgeteilt. Dies ist in Tabelle 3.1 ersichtlich.

Die Titel, Abstracts und Results der gefundenen Publikationen wurden gelesen und jene aussortiert, die die Ziele der einzelnen Unterkapitel nicht behandeln. Im Fall von Unterkapitel 3.2.1 "Evaluierung von AR/VR-Anwendungen" wurden jene aussortiert, die weder AR- noch VR-Anwendungen behandelt haben, keinen Bezug auf die Evaluierung der AR/VR-Systeme nehmen oder keinen Bezug zur Produktion oder Montage haben. Außerdem wurden Paper, die sich mit AI oder Deep Learning befassen, ausgeschlossen, da diese meist vom Fokus dieser Recherche abweichen und sich mehr auf AI konzentrieren. Für das Kapitel 3.2.2 "Software-Tools für Evaluierungen" sind jene Paper als relevant eingestuft worden, die nicht nur Tools, sondern explizit Software eingesetzt haben, um die behandelten Systeme zu evaluieren. Dabei wurde eigenentwickelten und bestehenden Lösungen gleichermaßen Relevanz zugeschrieben. Im Fall von Kapitel 3.2.3 "Webbasierte Softwareanwendungen" wurden Publi-

kationen, die keinen Herausforderungen, Vor- oder Nachteile zum Thema behandelt haben, aussortiert. Im Folgenden wird die Auswahl der Publikationen erst qualitativ dann quantitativ beschrieben, um einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik zu erlangen.

**Tabelle 3.1:** Schlüsselwörter der Recherche

Kapitel	Durchlaufnummer	Schlüsselkategorie	Schlüsselwörter
3.2.1	1	Titel-Abstract-Keywords	(Manufacturing OR Assembly OR Production OR "Smart Industry" OR "Industry 4.0") AND (Evaluation OR Assessment) AND (AR OR VR OR "Virtual Reality" OR "Augmented Reality") AND Application
3.2.2	1	Titel-Abstract-Keywords	(Manufacturing OR Assembly OR Production OR "Smart Industry" OR "Industry 4.0" OR "Producing Industry") AND (AR OR VR OR "Virtual Reality" OR "Augmented Reality")
		Keywords	(Evaluation OR Assessment) AND Tool
3.2.3	2	Titel-Abstract-Keywords	(Manufacturing OR Assembly OR Production OR "Smart Industry" OR "Industry 4.0" OR "Producing Industry" OR "Assembly Industry")
		Keywords	"Evaluation Tool" OR "Assessment Tool"
3.2.3	1	Titel-Abstract-Keywords	web-based AND (programming OR implementation) AND advantages AND disadvantages
	2	Titel-Abstract-Keywords	web-based implementation AND challenges

## 3.2 Qualitative und quantitative Analyse der Literatur

In dem folgenden Unterkapitel wird die qualitative und quantitative Auseinandersetzung mit der Literatur dargestellt. Die als relevant eingestuftten Publikationen werden nach ihrer Wichtigkeit bezüglich dieser Arbeit gereiht und inhaltlich beschrieben. Die

Reihung erfolgt nach Relevanz, beginnend bei der niedrigsten. Dadurch wird der aktuelle Stand der Technik wiedergegeben, um die wissenschaftliche Grundlage für die restliche Arbeit zu schaffen.

### 3.2.1 Evaluierung von AR/VR-Anwendungen

In diesem Kapitel wird der aktuelle Stand der Technik zum Thema Evaluierung von AR/VR-Anwendungen beleuchtet. Es wird geklärt welche Möglichkeiten und unterschiedlichen Ausprägungen bezüglich der Evaluierung von AR/VR-Anwendungen in der wissenschaftlichen Literatur verwendet werden.

Dhalmahapatra et al. (2021) haben die Effektivität und Benutzer:innenfreundlichkeit einer VR-Trainingsanwendung für den Betrieb von elektrischen Brückenkränen evaluiert, indem sie drei verschiedene Umgebungen entwickelt haben, die die Proband:innen getestet haben. Die Datenerhebung hat mittels teils standardisierten Fragebögen stattgefunden [47]. Havard et al. (2021) vergleichen in einer Studie die Unterschiede zwischen der Informationsaufnahme mittels AR-Tablet-Anwendung und dem Lesen eines PDF-Dokuments auf einem Tablet. Es wurden die Kriterien "Effektivität", "mentale Belastung" und "Benutzer:innenfreundlichkeit" evaluiert. Die Autor:innen schlagen für die Evaluierung ein Vorgehensmodell vor, das die Verwendung von standardisierten Fragebögen beinhaltet [48]. Žilak et al. (2022) verweisen mit ihrer systematischen Literaturrecherche auf eine Lücke im Hinblick auf die Evaluierung des Kriteriums "Barrierefreiheit" [49]. Bezüglich der zu evaluierenden Kriterien zeigen Quandt und Freitag (2021) die hohe Bedeutung der Nutzer:innenakzeptanz durch die Verwendung standardisierter Fragebögen im Bezug auf AR-Anwendungen auf [50]. Lavric et al. (2022) führen eine vergleichende Evaluierung von zwei AR-Systemen durch. Es wurde die Effektivität durch das Messen der Fertigstellungszeit und der Fehlerrate evaluiert. Die mentale Arbeitsbelastung und die Benutzer:innenfreundlichkeit wurden mittels standardisierter Fragebögen bewertet [51]. Kim et al. (2020) haben einen Fragebogen für die Evaluierung von VR Montagetrainings entwickelt. Zur Verwendung des Evaluierungstools müssen Nutzende 45 Fragen beantworten. Zu jeder Frage stehen vordefinierte Antwortmöglichkeiten zur Verfügung. Die Autor:innen evaluieren sieben Faktoren. Das Ergebnis des entwickelten Modells ist eine Punktezahl für jeden dieser sieben Faktoren. Kim et al. spezifizieren aber nicht, wie sie die Umfragen durchführen [52].

Fang et al. (2023) haben in einer Literaturübersicht 142 relevante Publikationen zum Thema "HMD AR in der Produktion" identifiziert. Die Autor:innen berücksichtigten in ihrer Recherche "Benutzer:innenfreundlichkeit", "Nutzer:innenakzeptanz" und "mentale Arbeitsbelastung" als Evaluierungskriterien, welche mittels Fragebögen und standardisierten Methoden ausgewertet werden. Ein weiteres Kriterium ist die Aufgabendauer. In der Untersuchung wird der Vergleich zwischen AR und traditionellen Papierarbeiten gezogen [53]. Hegenberg und Schmidt (2021) vergleichen in zwei Studien einen Schulungsprozess mittels AR bzw. mittels Papier- und Videoanleitung. Die zu vergleichenden Kriterien der beiden Schulungsgruppen sind: "Benutzer:innenfreundlichkeit", "mentale Arbeitsbelastung" und die Aufgabendauer. Als Methoden zur Erhebung wurden Fragebögen mit standardisierten Methoden und eine Zeitmessung

eingesetzt. Es wurde qualitatives Feedback mittels semistrukturierter Interviews eingeholt [54].

Zigart und Schlund (2020) haben in ihrem Literatur-Review überprüft, wie AR-Anwendungen in der Produktion evaluiert werden. Beginnend mit einer Auswahl von 156 Publikationen wurden 42 relevante identifiziert, die sich mit der Evaluierung von AR-Anwendungen im Bereich der Herstellung, Produktion oder Montage beschäftigen. Laut Zigart und Schlund (2020) werden die folgenden Kriterien verwendet, um AR-Systeme zu evaluieren. Das Kriterium, das am häufigsten (69% der Publikationen) evaluiert wurde, ist "Effektivität und Effizienz". "Benutzer:innenfreundlichkeit", "Nutzer:innenakzeptanz", "mentale Arbeitsbelastung" und "Qualität" wurden häufig und "Kosten" kaum berücksichtigt. Bezüglich der verwendeten Methoden wurde festgestellt, dass für das Kriterium "Effektivität und Effizienz" nur in 2 von 29 Fällen ein reproduzierbares Verfahren, wie z.B. ein standardisierter Fragebogen, verwendet wurde. Ein großer Teil der Evaluierungen bzgl. "Benutzer:innenfreundlichkeit", "Nutzer:innenakzeptanz" und "mentale Arbeitsbelastung" wurde mittels standardisierter Methoden evaluiert. Außerdem kamen Fragebögen und nicht reproduzierbare Methoden zum Einsatz. Bezugnehmend auf die Anzahl der evaluierten Kriterien wurde beschrieben, dass durchschnittlich zwei Kriterien pro Publikation evaluiert wurden, wobei das Minimum bei einem und das Maximum bei fünf Kriterien lag [5].

Tabelle 3.2 zeigt die quantitative Darstellung der untersuchten Kriterien der relevanten Publikationen. Sieben von neun wissenschaftlichen Arbeiten berücksichtigen das Kriterium "Effektivität und Effizienz". "Benutzer:innenfreundlichkeit", "mentale Belastung" und "Nutzer:innenakzeptanz" werden in jeweils sechs, fünf und drei Publikationen behandelt. Qualitatives Feedback, "Qualität" und "Barrierefreiheit" spielen im wissenschaftlichen Diskurs über die Evaluierung von industriellen AR/VR-Anwendungen eine untergeordnete Rolle und werden nur in jeweils einem Paper behandelt. Sieben Publikationen behandeln AR-Anwendungen und zwei VR-Anwendungen. Standardisierte Methoden werden für die Kriterien "Benutzer:innenfreundlichkeit", "mentale Belastung" und "Nutzer:innenakzeptanz" verwendet. Für die restlichen ist dies entweder nicht der Fall, oder die Vorgehensweise ist nicht definiert.

Im nächsten Kapitel wird der aktuelle Stand der Technik zum Thema 'Software-Tools für Evaluierungen' beleuchtet.

**Tabelle 3.2:** Quantitative Darstellung der Evaluierungskriterien

Kriterium	AR/VR	standardisierte Methoden	Referenzen	Anzahl
Effektivität und Effizienz	5/2	Nein	[5][47][48] [51][52][53] [54]	7
Benutzer:innen-freundlichkeit	5/1	Ja	[5][47][48] [51][53][54]	6
mentale Belastung	5/0	Ja	[5][48][51] [53][54]	5
Nutzer:innen-akzeptanz	3/0	Ja	[5][50][53]	3
qualitatives Feedback	1/0	Nein	[54]	1
Qualität	1/0	-	[5]	1
Barrierefreiheit	1/0	-	[49]	1

### 3.2.2 Software-Tools für Evaluierungen

In diesem Kapitel wird die Frage beantwortet, welche Lösungen die Wissenschaft für die Evaluierung unter Zuhilfenahme von Software-Tools zur Verfügung stellt. Dafür werden die als relevant eingestuften Publikationen qualitativ beschrieben, um Erkenntnisse für die Beantwortung der Forschungsfrage zu gewinnen.

Boldt et al. (2021) entwickeln ein Excel-basiertes Tool zur Evaluierung des Rekonfigurierbarkeitslevels existierender Produktionssysteme. Das zugrundeliegende Modell evaluiert qualitativ und generiert eine Punktezahl als Ergebnis. Zur Anwendung des Tools müssen kategorisierte Fragen beantwortet werden. Die Autor:innen beziehen sich abgesehen von ihrem selbst entwickelten Tool auf andere Tools zur Evaluierung aus der Literatur, wobei nicht näher beschrieben wird, ob es sich um Softwarelösungen handelt, oder eine Implementierung dieser stattgefunden hat [55].

Joppen et al. (2022) diskutieren, welche Möglichkeiten es zur Evaluierung von Technologien der produzierenden Industrie 4.0 im Hinblick auf verschiedene Aspekte von Investitionen gibt. Sie beschreiben den Prozess der Evaluierung von Industrie 4.0 Anwendungen als einen oftmals intransparenten Prozess, weshalb ein systematischer Ansatz in einem Evaluierungstool vorgeschlagen wird. Die Autor:innen spezifizieren jedoch nicht, wie das Tool umgesetzt wird, ob es auf der Basis eines Tabellenkalkulationsprogramms, webbasiert oder anders realisiert wird [56].

Dinler und Işık (2020) implementieren ein von ihnen entwickeltes mathematisches Modell in einer Softwarelösung für die Montageindustrie. Die Logik des Software-Tools basiert auf der Evaluierung von ergonomischen Risiken. Das Tool wurde mit

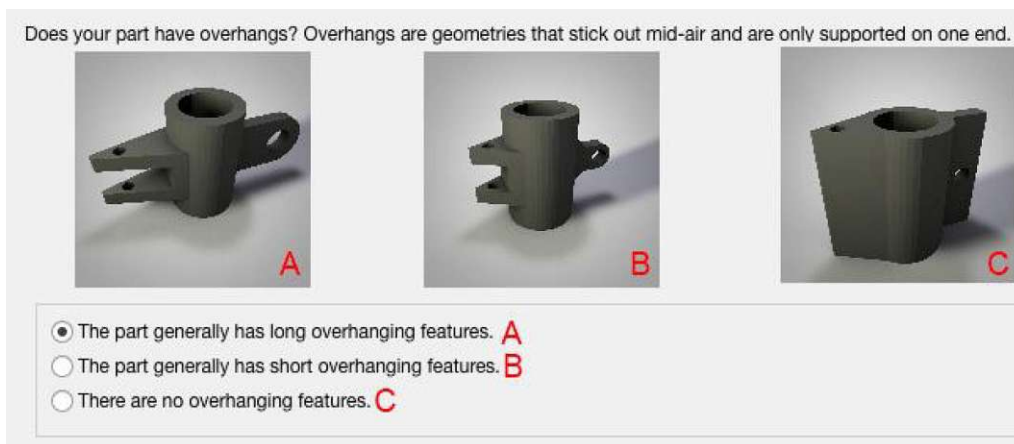
einem Framework namens "IBM ILOG CPLEY Optimization Studio" entwickelt, welches den Entwicklungsprozess von Optimierungsproblemen unterstützt. Die Ergonomiewerte der Montageaufgaben aus dem bestehenden Evaluierungsmodell und die Qualifikation für die Aufgaben der Montagemitarbeiter:innen dienen als Eingabewerte für die Software. Das ausgegebene Ergebnis ist eine optimierte Job-Rotation-Abfolge, die ergonomische Risiken minimiert [57, 58].

Jiang et al. (2022) entwickeln und implementieren ein Evaluierungstool zur Lebenszyklusbewertung von Deep Learning Frameworks im Edge Computing. Es werden drei Dimensionen evaluiert: (1) Komplexität der Programmierung, (2) Komplexität der Bereitstellung und (3) Laufzeitleistung, welche anhand von weiteren Kategorien bewertet werden. Als Input wird eine Konfigurationsdatei benötigt, die Informationen über die Frameworks, Geräte und Knotenpunkte des Edge-Netzwerks beinhaltet. Das Software-Tool sammelt und visualisiert anschließend die Daten der Dimensionen automatisch. Die Software ist in drei Module gegliedert: (1) Auswahl der Bedingungen, (2) Datenerfassung und (3) Verarbeitung und Ergebnisse. Es handelt sich um eine Open-Source-Lösung, welche über Github global zur Verfügung gestellt wird. [59].

Danielsson et al. (2021) haben ein Online-Tool zur Evaluierung von Augmented Reality Smart Glasses (ARSG) für Montageanwendungen in der Industrie entwickelt, welches auf einem bereits existierenden Evaluierungs-Framework basiert. Anwender:innen des Tools evaluieren, ob ARSG geeignete Assistenzsysteme zur Unterstützung der Montagemitarbeiter:innen im Falle der konkreten Montageanwendung sind. Die Verwendung des Tools basiert auf einem Fragebogen, der aus 15 Fragen mit bis zu 5 möglichen Folgefragen besteht. Die Fragen haben vordefinierte Antwortmöglichkeiten. Nach der Beantwortung des Fragebogens wird eine normalisierte Punktezah zwischen 1 und 100 als Ergebnis ausgegeben, die angibt, wie geeignet ARSG sind, um im konkreten Anwendungen als Unterstützung eingesetzt zu werden. Abhängig von der Punktezah werden generalisierte Vorschläge zur Implementierung der ARSG gegeben, welche zuvor von Fokusgruppen erstellt wurden. Zur Entwicklung des Tools geben die Autor:innen an, dass ein kombinierter Ansatz der beiden Methoden "Method Triangle" und "Five Iterative Steps" verwendet wurde. In Kombination sieht der iterative Ablauf wie folgt aus. Im ersten Schritt werden die Möglichkeiten und der Bedarf an Wissen bzgl. ARSG in der Industrie ermittelt. Schritt 2 beinhaltet die detaillierte Ermittlung der Anforderungen, welche im dritten Schritt von Fokusgruppen mit den Möglichkeiten und dem Bedarf aus Schritt 1 in Verbindung gesetzt werden. Im vierten Schritt folgt die Entwicklung des Tools auf Basis der Rückmeldungen der Fokusgruppe zur Verbesserung des Artefakts. Schritt 5 beinhaltet die Validierung des Tools in Feldstudien [60].

Cayley et al. (2022) entwickeln eine Softwarelösung für die Anwendung eines Evaluierungsmodells für die additive Fertigungsindustrie. Es wird evaluiert, ob die Eingabemodelle für einen 3D-Druck geeignet sind. Die Nutzer:innen laden ein 3D-Modell als STL-Datei in die Software. Diese dient als Startpunkt der Evaluierung, während im nächsten Schritt die Durchführung eines Fragebogens folgt. Dabei werden Fragen bezüglich spezifischer Konstruktionsmerkmale gestellt und beantwortet. Zur Beantwortung stehen vordefinierte Antwortmöglichkeiten zur Auswahl. Abbildung 3.1 zeigt einen Screenshot der Nutzer:innenoberfläche der Software, in dem eine der gera-

de beschriebenen Fragen beantwortet wird. Das Evaluierungstool berechnet anhand der Eingabewerte zwei unterschiedliche Ergebniswerte. Den Nutzenden wird eine Bewertungsskala zur Verfügung gestellt, anhand der sie die ausgegebenen Werte in die Kategorien: "gut", "mittel" oder "schlecht" einordnen können. Außerdem werden Vorschläge zu Konstruktionsänderungen ausgegeben. Nach deren Einarbeitung, können die Ergebnisse als Startpunkt für eine weitere Evaluierung gewählt werden. Die Autor:innen haben sich für eine Softwarelösung entschieden, weil sie dadurch Faktoren wie die Benutzer:innenfreundlichkeit, Interaktivität, Einfachheit der Anwendung und Visualisierung der Ergebnisse bestmöglich umsetzen konnten. In der Publikation wird erwähnt, dass die Implementierung des vorliegenden Prototyps mithilfe von "MATLAB GUI" umgesetzt wurde, was die Entwicklung einer Softwareanwendung in einer grafischen Nutzer:innenoberfläche ohne das Schreiben von Quellcode ermöglicht [61, 62].



**Abbildung 3.1:** Screenshot der Nutzer:innenoberfläche aus Cayley et al. (2022) [61]

Die folgenden beiden Tabellen zeigen den quantitativen Überblick über die relevanten Publikationen dieses Unterkapitels. Tabelle 3.3 zeigt die unterschiedlichen Umsetzungsarten der Evaluierungstools. Lösungen, bei denen das Front- und Backend eigenentwickelt ist, sind am häufigsten vorgekommen. Eine Alternative dazu ist die Excel-basierte Implementierung der Logik. Hierbei wird das Lösungsschema in ein Tabellenkalkulationsprogramm eingebettet. Dies ist in einer Publikation vorgekommen. Eine weitere wissenschaftliche Arbeit hat ein kommerzielles Framework verwendet, um ihr Evaluierungstool umzusetzen. Dies ermöglicht es, ein Frontend aus vorgegebenen Modulen zu entwickeln, ohne für die Logik im Backend Programmierkenntnisse zu benötigen. Tabelle 3.4 zeigt die Unterscheidung zwischen der Ausgabe quantitativer und qualitativer Ergebnisse. Fünf der sechs Publikationen geben Ergebnisse quantitativ aus, also in Form von Punktezahlen oder quantitativen Graphen. Vier Tools geben den Nutzenden qualitative Ergebnisse aus. Diese liegen als Verbesserungsvorschläge für die eingegebenen Modelle, Job-Rotations-Abfolgen, oder zusätzliche Informationen vor. Drei Publikationen wählen den hybriden Weg und geben sowohl qualitative als auch quantitative Resultate aus.

**Tabelle 3.3:** Umsetzungsarten von Evaluierungstools

Entwicklungsart	Beschreibung	Referenzen	Anzahl
eigenentwickelte Software	Front- und Backend sind eigenentwickelt	[59][60][61]	3
Excel-basiert	die Lösung wurde in Excel implementiert	[55]	1
kommerzielle Frameworks	eigenentwickelte Logik der Lösung; Front- und Backend mit kommerzieller Lösung umgesetzt	[57]	1
nicht beschrieben	das Paper beschreibt nicht, wie das Tool umgesetzt ist	[56]	1

**Tabelle 3.4:** Arten der Ergebnisdarstellung von Evaluierungstools

Darstellungsart	Beschreibung	Referenzen	Anzahl
quantitativ	die Ergebnisse liegen als Zahlenwert oder quantitativer Graph vor	[55][56][59][60][61]	5
qualitativ	Job-Rotations-Abfolgen, Verbesserungsvorschläge, zusätzliche Informationen	[56][57][60][61]	4

Im nächsten Unterkapitel werden die Herausforderungen der webbasierten Softwareentwicklung qualitativ beschrieben.

### 3.2.3 Webbasierte Softwareanwendungen

In diesem Kapitel wird der aktuelle Stand der Technik zum Thema "Webbasierte Softwareanwendungen" dargestellt. Die durchsuchten Datenbanken liefern mit den in Kapitel 3.1 gezeigten Suchparametern eine Vielzahl an Publikationen, die sich mit webbasierten Anwendungen befassen. Außerdem wurde die Publikation von Danielsson et al. (2021), welche bereits in Kapitel 3.2.2 vorgestellt wurde, für dieses Kapitel ebenfalls als relevant eingestuft. In einem ersten Schritt werden die Anwendungsfälle genannt und die Herausforderungen, denen sich die webbasierte Entwicklung aktuell stellt, um zu zeigen, in welchen Bereichen sich die wissenschaftlichen Anstrengungen bewegen. Durch die große Anzahl an Publikationen wird in einem zweiten Schritt die Möglichkeit genutzt, neben der qualitativen Auseinandersetzung mit der Literatur einen quantitativen Überblick über die Vor- und Nachteile der webbasierte Entwicklung darzustellen.

Eine große Anzahl an Publikationen kommt aus dem Bereich der Bildung. Takac (2020) entwickelt eine webbasierte VR-Anwendung für die Lehre von höheren mathematischen Konzepten [63]. Kraveva et al. (2020) entwerfen ein Framework für eine E-Learning-Plattform für junge Menschen [64]. Die Arbeiten von Oktapratama und



Hidayat (2022) und Lazarova et al. (2023) behandeln jeweils die Entwicklung einer webbasierten Plattform für Lehrende zur Speicherung und zum Austausch von Lehrinhalten. Erstere mit dem Fokus auf die Lehre in der Zeit nach der Pandemie und letztere speziell für Unterrichtende eines konkreten Landes [65, 66]. Li und Huang (2022) nutzen ein bereits existierendes Online-Tool zur Evaluierung von Lernplattformen [67].

Weitere aktuelle Anwendungsfelder für webbasierte Software in der Wissenschaft zeigen Viktoriia et al. (2022) mit der von ihnen behandelten Bike-Sharing-Plattform [68] und Kendre et al. (2022) mit einem Tool für den Entwurf von modularen, pneumatischen Schaltungen für Softroboter auf [69]. Wissenschaft aus der Medizin nutzt webbasierte Anwendungen, um rechen- und speicherintensive Aufgaben für Regionen mit leistungsarmen, lokalen Computern auf leistungsfähige Server auszulagern, wie Li et al. (2020) [70]. Sukums et al. (2021) implementieren ein webbasiertes Gesundheitssystem innerhalb eines Landes [71]. Im Bereich der IT gehen die als relevant eingestuften Publikationen nicht auf spezifische webbasierte Anwendungen ein. Die Autor:innen befassen sich mit Caching-Strategien in Zulfa et al. (2020) [72] und Sicherheitsrisiken in Mekruksavanich et al. (2021) [73].

Eine weitere Gruppe von Publikationen beschäftigt sich mit webbasierten Anwendungen, mit einer thematischen Nähe zu unternehmerischen Themen. Setiawan et al. (2021) bringen auf ihrer Plattform Freelancer:innen und nach Serviceleistung Suchende zusammen [74]. Goyal et al. (2023) analysieren und entwickeln ein Online-Auktionssystem, welches in einer webbasierten Anwendung implementiert wird [75]. Bégin et al. (2022) untersuchen in ihrem Review Smartphone-Anwendungen und andere Online-Programme für Arbeitende im Bezug auf Achtsamkeit und Selbstmitgefühl [76]. Beckmann et al. (2021) entwickeln ein kollaboratives Online-Whiteboard zur Produkt- und Serviceentwicklung [77].

Bezug auf kognitive Assistenzsysteme nehmen Schauer et al. (2021) und die Arbeit von Danielsson et al. (2021), welche bereits in Kapitel 3.2.2 bezüglich der entwickelten Methodik zur Evaluierung von ARSG für Montageanwendungen näher beschrieben wurde. Abbildung 3.2 zeigt einen Screenshot der Webanwendung. Auf die Vorgehensweise und Methodik bezüglich der konkreten Implementierung des Tools in einer webbasierten Softwarelösung gehen die Autor:innen nicht weiter ein [60]. Schauer et al. (2021) entwickeln eine webbasierte AR-Anwendung in Zusammenarbeit mit einem Museumsverband. Der webbasierte Ansatz wurde gewählt, weil die Autor:innen Neuartigkeit und hohe Benutzer:innenfreundlichkeit angestrebt haben. Durch das Scannen eines QR-Codes gelangen Nutzende über einen Browser zur Anwendung. 3D-Modelle, Bilder oder Videos zu einem bestimmten Objekt werden angezeigt, um dieses von allen Winkeln und mit dem gewünschten Zoom zu betrachten. Die Autor:innen haben einen Prototyp entwickelt, um Erfahrungen zu sammeln, bevor die endgültige Anwendung implementiert wurde. Es wurden zwei Frameworks namens "AR.js" und "AFrame" verwendet, welche für die Darstellung von 3D-Inhalten in Webbrowsern entwickelt wurden. Die so entstandenen JavaScript-Dateien wurden mit einer übergeordneten HTML-Verzeichnisdatei verbunden. Das Sicherheitsprotokoll HTTPS wurde verwendet, da sonst kein Zugriff auf die Smartphonekameras möglich wäre [78].

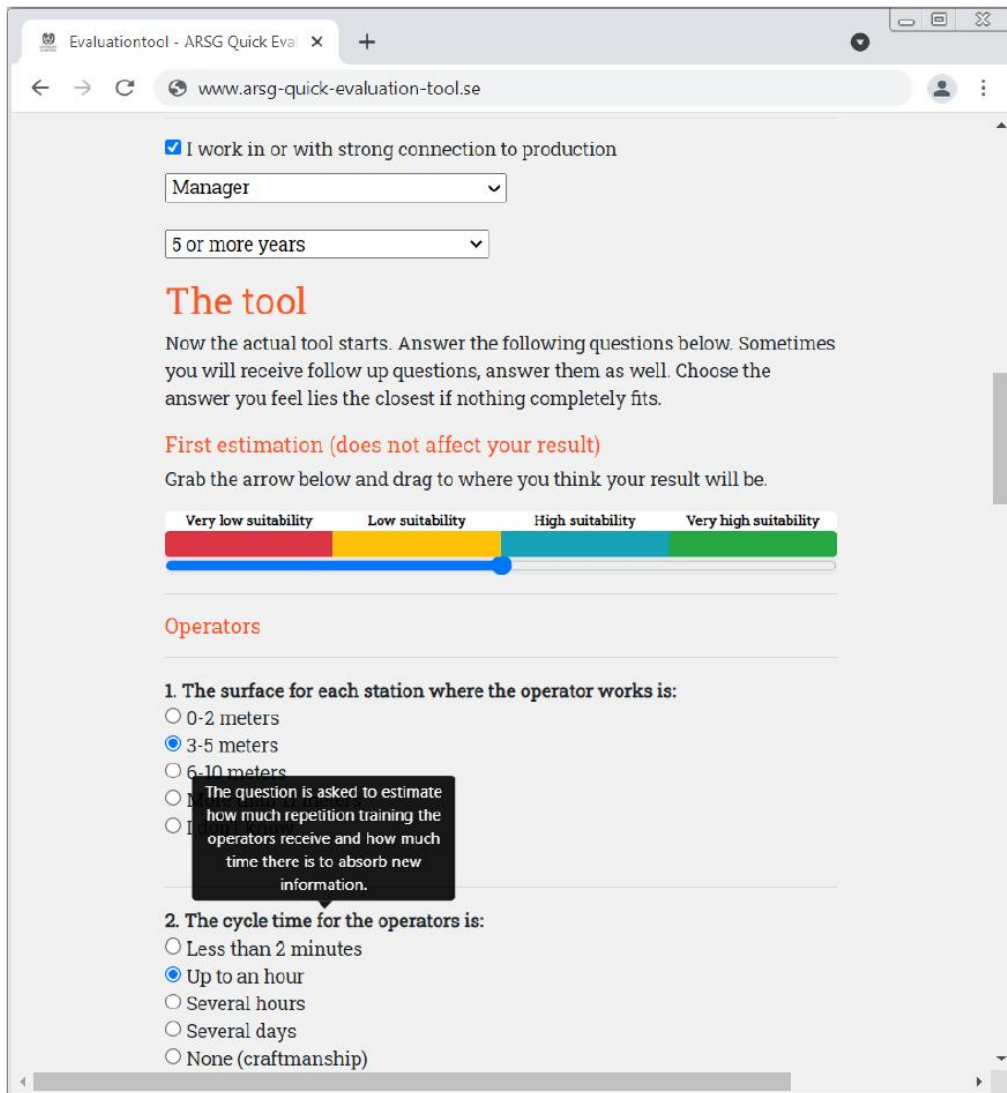


Abbildung 3.2: Nutzer:innenoberfläche aus Danielsson et al. (2021) [60]

Herausforderungen der webbasierten Softwareentwicklung sind die Umsetzung von nutzer:innenzentriertem Design [64] und die Schließung von neuen Sicherheitslücken [73]. Für die Qualität der Nutzer:innenerfahrung sind niedrige Reaktionszeiten der Webanwendungen entscheidend [72]. Speziell im Bereich des kollaborativen Arbeitens sind deshalb niedrige Latenzen von besonderer Bedeutung und eine weitere Herausforderung für den Erfolg von webbasierten Softwareanwendungen [77]. Mit dem Aufkommen neuer Endgeräte (z.B. HMD) und deren vermehrte Verwendung in der Gesellschaft, wird es für Entwickler:innen von Weblösungen immer herausfordernder, für alle Nutzenden eine intuitive Nutzungserfahrung zu gewährleisten [63]. Die Schulung der Nutzer:innen von Webanwendungen stellt eine weitere Herausforderung dar, da anders als bei vor Ort Methoden, keine Trainer:in vorhanden ist, um auf mögliche Fragen der Anwendenden einzugehen [71].

Im Folgenden werden die Vor- und Nachteile bezüglich webbasierter Softwarelösungen, welche in der Literatur diskutiert werden, aufgezeigt. Ein quantitativer Überblick

über diese Vorteile wird in Tabelle 3.5 dargestellt. Das am häufigsten genannte Argument für die Verwendung von Weblösungen ist die hohe Zugänglichkeit (Accessibility). Diese wurde in 11 der 16, als relevant eingestuften Publikationen genannt. Gründe hierfür sind z.B. die niedrige Eintrittshürde, da keine Installation, sondern nur eine URL benötigt wird, um die Anwendung zu starten [63, 65, 66, 67, 68, 69, 74, 75, 76, 78, 71]. Als weiterer häufig (sechs mal) genannter Vorteil, wurde die Nutzer:innenfreundlichkeit genannt. Webbasierte Lösungen können orts- und zeitunabhängig verwendet werden, was unter anderem einfache kollaborative Zusammenarbeit ermöglicht [64, 66, 76, 77, 78, 71]. Von zwei Publikationen wurde die vereinfachte Entwicklung genannt, was unter anderem durch das etablierte Web-Ökosystem (JavaScript, HTML und CSS und Open-Source Bibliotheken) zu erklären ist [63, 78]. Ebenfalls sind von jeweils zwei Gruppen von Autor:innen die einfache Wartung [64, 78] und die stets gleiche Wissensbasis aller Nutzenden beschrieben worden [65, 66]. Weitere Vorteile sind Tabelle 3.5 zu entnehmen.

**Tabelle 3.5:** Vorteile webbasierter Softwareanwendungen

Benennung	Erklärungen	Referenzen	Anz.
Zugänglichkeit	keine Installation erforderlich; niedrige Eintrittshürde durch URL; unabhängig vom Endgerät; große Reichweite	[63][65][66] [67][68][69] [74][75][76] [78][71]	11
Benutzer:innenfreundlichkeit	orts- und zeitunabhängige Verwendung; einfaches, kollaboratives Zusammenarbeiten	[64][66][76] [77][78][71]	6
vereinfachte Entwicklung	verglichen mit Smartphoneanwendungen, dank dem etablierten Web-Ökosystem (JavaScript, HTML und CSS und Open-Source Bibliotheken); plattformunabhängig	[63][78]	2
einfache Wartung	Updates sind sofort für alle verfügbar	[64][78]	2
gleiche Wissensbasis	alle Nutzenden verwenden stets dieselbe Version	[65][66]	2
niedrige Entwicklungskosten	verglichen mit Smartphoneanwendungen (keine Lizenzen oder Gebühren von App-Stores)	[78]	1
gute Skalierbarkeit	aufgrund der Client/Server-Lösung	[76]	1
Auslagerung von Aufgaben	rechen- und speicherintensive Aufgaben können vom Server übernommen werden	[70]	1

Ein quantitativer Überblick über die Nachteile webbasierter Lösungen wird in Tabelle 3.6 dargestellt. Das am häufigsten genannte Argument gegen die Verwendung dieser ist die Abhängigkeit vom Internet. Störungen oder Ausfälle der Internetverbindung zwischen Endgerät und Server beeinträchtigen die Benutzbarkeit der Anwendung oder verhindern sie vollständig. Dieser Nachteil wurde in drei Publikationen beschrieben [68, 72, 76]. Die folgenden Nachteile wurden in jeweils zwei Publikationen erwähnt. Webbasierte Anwendungen bieten Webangreifer:innen Möglichkeiten, Schaden anzurichten und Daten zu stehlen. Dies ist ein Beispiel dafür, warum Sicherheitsrisiken als Nachteil für die Weblösungen genannt werden [73, 75]. In Fällen, in denen Anwendungen auf spezielle Gerätehardware, wie z.B. die Kamera oder Grafikkarte (GPU), angewiesen sind, kann diese Abhängigkeit den Einsatz webbasierter Ansätze erschweren und zu Fehlern führen [63, 78]. Der Widerstand gegen digitale Methoden wird als weiterer Nachteil von zwei Publikationen genannt, da in diesen Fällen ein Vergleich mit traditionellen Methoden, die vor Ort durchgeführt werden, stattfindet [76, 68]. Weitere Nachteile sind Tabelle 3.6 zu entnehmen. Im nächsten Kapitel werden die Ergebnisse der Recherche diskutiert und zu einer Conclusio zusammengefasst.

**Tabelle 3.6:** Nachteile webbasierter Softwareanwendungen

Benennung	Erklärungen	Referenzen	Anz.
Abhängigkeit vom Internet	Service störung oder -ausfall bei Problemen mit der Verbindung, oder beim Server; Bandbreitenabhängigkeit	[68][72][76]	3
Sicherheitsrisiken	Webangriffe; Identitätsüberprüfung schwieriger als bei Präsenzmethode n	[73][75]	2
Probleme mit Zugriff auf Gerätehardware	falls die Kamera oder die GPU des Endgeräts benötigt sind	[63][78]	2
Widerstand gegen digitale Methoden	In Fällen in denen traditionelle Methoden vor Ort bereits etabliert sind; Skepsis bezüglich Datenschutz	[76][68]	2
Veraltete Browser	erhöhen die Störungswahrscheinlichkeit	[78]	1
Berücksichtigung unterschiedlicher Displayformate	bei unterschiedlichen Endgeräten (Workstation, Laptop, Tablet, Smartphone)	[63]	1
Weniger soziale Interaktion	verglichen mit Methoden, die in Präsenz umgesetzt werden	[64]	1
aufwendige Implementierung	von Nutzer:innen-Rollen aufgrund von aufwendigen Authentifizierungsverfahren	[66]	1

### 3.3 Diskussion und Ergebnis der Recherche

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Recherche dargestellt und diskutiert. Dafür werden die wichtigsten Punkte aus Kapitel 3 zusammengefasst und es wird auf Lücken in der Wissenschaft eingegangen, die zur Beantwortung der Forschungsfrage geschlossen werden müssen.

Der Methodologieansatz dieser Recherche wurde gewählt, um deren Reproduzierbarkeit zu gewährleisten. Die Datenbank Scopus wurde herangezogen, allerdings wurden nur Publikationen berücksichtigt, die mit den Zugriffsrechten der Technischen Universität Wien erhältlich sind und die nicht vor 2020 veröffentlicht wurden. Es wurden ausschließlich Konferenz- und Journalpaper in die Recherche einbezogen.

In Kapitel 3.2.1 wurden Evaluierungen von AR/VR-Anwendungen beleuchtet. Ein häufig behandeltes Kriterium ist die Effektivität. Für diese Evaluierung werden meist speziell auf den Anwendungsfall zugeschnittene Verfahren verwendet, die in den seltensten Fällen reproduzierbar sind [5]. Es wurden "Benutzer:innenfreundlichkeit", "Nutzer:innenakzeptanz" und "mentale Arbeitsbelastung" vermehrt evaluiert. Hierfür sind standardisierte Fragebögen zum Einsatz gekommen, die anwendungsfeldunabhängig zu einem reproduzierbaren Ergebnis führen, wodurch sie für diese Arbeit besondere Relevanz erlangen [5, 54]. Zigart und Schlund (2020) haben gezeigt, dass die multikriterielle Evaluierung von mehreren Kriterien eine häufig angewandte Praxis der Wissenschaft ist [5]. Die Verwendung von Fragebögen mit vordefinierten Antwortmöglichkeiten zur Evaluierung der einzelnen Kriterien und die Vergabe einer Punktezahl als Evaluierungsergebnis entsprechen einer erprobten Vorgehensweise, die einen strukturierten und reproduzierbaren Ablauf verspricht [52]. Abgesehen davon wird in der Literatur die Möglichkeit genutzt, neben quantitativen Evaluierungen auch qualitative Meinungen von Befragten einzuholen [54].

In Kapitel 3.2.2 wurden Software-Tools vorgestellt, welche für Evaluierungen in Anwendungsfeldern nahe der produzierenden Industrie eingesetzt wurden. Evaluierungsprozesse werden von Anwendenden als intransparent beschrieben, weshalb die Notwendigkeit von systematischen Ansätzen und deren Implementierung in Softwarelösungen beschrieben wird [56]. Die Ergebnisse werden als Punktezahl ausgegeben [55, 60, 61] und visualisiert [61]. Die Eingangsgrößen der Softwarelösungen sind unterschiedliche Prozess- oder Produktinformationen [57, 59], gegebene Antworten auf Fragen von Fragebögen [55, 60] oder beides [61]. Die Beantwortung der Fragen erfolgt durch vordefinierte Antwortmöglichkeiten [60, 61]. In der Literatur kommen Excelbasierte [55], vollständig eigenentwickelte [59, 60] und mit Hilfe von kommerziellen Frameworks entwickelte Tools [57, 61] zum Einsatz. Es kommen iterative Implementierungsverfahren zum Einsatz [60]. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die meisten Publikationen die Implementierung der Methoden in der Softwarelösung kaum dokumentieren und die Architektur des entstehenden Softwareartefakts nebensächlich behandeln. Das zeigt eine Lücke für die Dokumentation von Implementierungsprozessen auf. Speziell im Bereich der industriellen AR/VR-Anwendungen ist der wissenschaftliche Diskurs bezüglich geeigneter Softwarelösungen, die die entwickelten Lösungsansätze der Literatur in die Praxis umsetzen, sehr rückständig. Dennoch zeigen andere Forschungsbereiche schlüssige Ansätze für solche Implementie-

ungsverfahren, welche unter Umständen gut auf das Forschungsfeld mutikriterieller Evaluierung industrieller AR/VR-Anwendungen übertragbar sind.

In Kapitel 3.2.3 werden die aktuellen Diskussionsfelder zum Thema "Webbasierte Softwareanwendungen" aufgezeigt. Vor allem die Forschung im Bereich der Bildung beschäftigt sich vermehrt mit den Herausforderungen, Vor- und Nachteilen in diesem Feld [63, 64, 65, 66, 67]. Unter weiteren werden in der Medizin [70] und der IT [72, 73] unterschiedliche Aspekte zur Thematik beleuchtet. Bezug auf AR/VR-Anwendungen nehmen zwei Publikationen [78, 60]. Die Arbeit von Schauer et al. (2021), welche den benutzer:innenfreundlichen Charakter von Webanwendungen hervorhebt, verwenden etablierte Web-Frameworks für die Implementierung ihrer Lösungen verwenden [78]. Als Herausforderungen wird in der Literatur auf Sicherheitsaspekte [73, 78], niedrige Reaktionszeiten zur positiven Beeinflussung der Benutzer:innenfreundlichkeit [72] und auf Schwierigkeiten bei der Schulung von Anwendenden hingewiesen [71]. Die am häufigsten hervorgehobenen Vorteile webbasierter Softwareanwendungen sind die hohe Zugänglichkeit und Benutzer:innenfreundlichkeit. Ein weiterer Vorteil, der für diese Arbeit hohe Relevanz hat, ist die vereinfachte Entwicklung aufgrund des etablierten Web-Ökosystems (siehe Tabelle 3.5). Unter den Nachteilen sind die Sicherheitsrisiken bezogen auf Webangriffe hervorzuheben (siehe Tabelle 3.6).

Die multikriterielle Evaluierung industrieller AR/VR-Anwendungen hat den Einzug in den wissenschaftlichen Diskurs bereits gefunden, wodurch wichtige Erkenntnisse bezüglich der Methodik gewonnen wurden, z.B. die Verwendung standardisierter Verfahren zur Reproduzierbarkeit der Ergebnisse (siehe Kapitel 3.2.1). Unter den gefundenen Software-Tools für Evaluierungen nehmen nur wenige Bezug auf industrielle AR/VR-Anwendungen. Wird die Suche auf die produzierende Industrie ausgeweitet, zeigt sich eine größere Gruppe an Forschenden, deren Erkenntnisse von großem Wert für diese Arbeit sind. Dazu gehören unter anderem die Verwendung von Fragebögen zur Datenerhebung und die Ausgabe und Visualisierung von Punktezahlen als Ergebnis (siehe Kapitel 3.2.2). Die Recherche webbasierter Lösungen zeigt, dass sich die Vorteile dieser Ansätze mit den Zielen dieser Arbeit in vielen Bereichen decken (siehe Kapitel 3.2.3), weshalb diese Technologie als vielversprechend für die Beantwortung der Forschungsfrage eingestuft und weiter verfolgt wird.

Dennoch bleiben auch nach der Recherche einige Fragen offen. Die Literatur zeigt Herausforderungen, Stärken und Schwächen von webbasierten Softwareanwendungen, jedoch zeigt keine Arbeit detaillierte Wege auf, wie multikriterielle Evaluierungen industrieller AR/VR-Anwendungen implementiert werden können, sodass z.B. Organisationen, als Teilnehmerinnen der Umgebung im Sinne des DSR (siehe Abbildung 1.1), Zugang zu den Methoden der Wissenschaft erhalten. Diese Arbeit soll der Intransparenz von Evaluierungsprozessen entgegenwirken, die in der Literatur aufgezeigt wird [56] und einen Beitrag zur Klärung der Herausforderung bei der Schulung von Anwender:innen webbasierter Lösungen liefern [71].

Im nächsten Kapitel werden die Erkenntnisse der Recherche, abgestimmt auf die Ziele dieser Arbeit, in Anforderungen an die Softwareanwendung umgewandelt.

## 4. Anforderungen an das Evaluierungstool

Um die Forschungslücke zu schließen, welche in Kapitel 3 aufgezeigt wurde, werden in diesem Kapitel die Anforderungen an die spätere Lösung erarbeitet. Dieser Arbeitsschritt entspricht dem Relevanzzyklus von DSR, welcher in Kapitel 1.4 beschrieben wurde. Die zu findende Lösung zur Schließung der Lücke, welche gleichzusetzen ist mit dem zu entwickelnden DSR-Artefakt, wird im weiteren Verlauf der Arbeit synonym als "Evaluierungstool" bezeichnet.

### 4.1 Anforderungen aus dem Stand der Technik

In Kapitel 3 wurde der aktuelle Stand der Wissenschaft für Evaluierungen von AR/VR-Anwendungen, Software-Tools für Evaluierungen und webbasierte Softwareanwendungen erläutert. Aus diesem lassen sich Anforderungen für das Evaluierungstool ableiten. Die Recherche hat gezeigt, dass sich vor allem die folgenden Kriterien in multikriteriellen Evaluierungen wiederfinden: "Benutzer:innenfreundlichkeit" (Usability), "Nutzer:innenakzeptanz" und "mentale Arbeitsbelastung". Das Kriterium "Effektivität und Effizienz", das von einer großen Anzahl an Publikationen berücksichtigt wurde, ist meist mit nicht reproduzierbaren Methoden, die auf spezifische Anwendungsfälle zugeschnitten sind, evaluiert worden. Dies spricht gegen die Aufnahme des Kriteriums "Effektivität und Effizienz" als Anforderung für das Evaluierungstool. Es ist das Ziel dieser Arbeit, bestehende Evaluierungsmethoden für Anwendende zugänglich zu machen. Es sollen nicht einzelne Anwendungsfälle berücksichtigt, sondern eine Lösung zur Verfügung gestellt werden, die für möglichst viele AR/VR-Systeme anwendbar ist. Die Verwendung von Fragebögen mit standardisierten Methoden und vordefinierten Antwortmöglichkeiten wird gewählt, um die Reproduzierbarkeit zu begünstigen. Es soll ein Vergleich zwischen den unterschiedlichen Fällen möglich sein, wodurch die zu evaluierenden AR/VR-Systeme mit dem traditionell vorherrschenden Ist-Zustand vergleichbar gemacht werden. Das Ergebnis soll die Ausgabe einer Punktezahl für jeden Fall und jedes Evaluierungskriterium sein. Zusätzlich zu den quantifizierbaren Evaluierungskriterien werden in der Literatur qualitative Merkmale evaluiert. Die Möglichkeit für semistrukturierte Fragen wird deshalb ebenfalls in den Anforderungskatalog aufgenommen.

Im Unterschied zu den oben genannten Anforderungen, welche sich auf die Methodik des Evaluierungsprozesses beziehen, wird im Folgenden näher auf die Anforderungen aus dem Stand der Technik bezüglich der zu entwickelnden Softwarelösung eingegangen. Die Recherche hat gezeigt, dass Evaluierungsprozesse als intransparent wahrgenommen werden, weshalb ein systematischer Lösungsansatz innerhalb einer Softwarelösung empfohlen wird. Die Benutzer:innenfreundlichkeit und Interaktivität wurden in Kapitel 3 als positive Eigenschaften von digitalen Anwendungen genannt. Diese decken sich, gemeinsam mit der Anforderung einer systematischen Lösung, mit dem Ziel der Arbeit. Wie in Kapitel 1.3 beschrieben, ist es ein Ziel, ein einfach anwendbares System auf Basis von objektiven und transparenten Entscheidungsprozessen zu entwickeln, welches für Wissenschaft und Industrie eine Verbesserung

bringt. Weiters wird in der Literatur den niedrigen Reaktionszeiten eine besondere Bedeutung zugewiesen [72], was für einen effizienten Ablauf der Aufgaben in einer Softwarelösung spricht. Diese erhöht die Benutzer:innenfreundlichkeit, was wiederum entscheidend ist, um eine Verbesserung der Umgebung im Sinne des DSR (siehe Kapitel 1.4) zu erzielen. Die beste Lösung für ein Problem bewirkt nur eine Verbesserung, wenn sie auch verwendet wird. In diesem Sinne sprechen die Ergebnisse der Literaturrecherche für die Entwicklung einer webbasierten Lösung, da diese hohe Zugänglichkeit und Benutzer:innenfreundlichkeit verspricht. Neben der direkten Ausgabe von Ergebnissen als Zahlenwerte, werden eine Visualisierung dieser Werte und zusätzliche Informationen als Anforderungen aufgenommen. Diese Vorgehensweise soll gleichzeitig der Intransparenz entgegenwirken und mögliche Lösungsansätze zur Bewältigung der Herausforderung, Webanwender:innen zu schulen, liefern. Der in der Literatur verwendete modulare Aufbau von Software mit den Modulen der Datenerhebung, Datenverarbeitung und Ergebnisausgabe begünstigt eine schnellere Entwicklung, welche aufgrund der beschränkten Ressourcen innerhalb dieser Arbeit angestrebt wird. Etablierte Frameworks zur Entwicklung von Anwendungen können den Prozess ebenfalls beschleunigen und werden angestrebt. Sowohl Excel-basierte also auch vollständig eigenentwickelte Lösungen werden als mögliche Lösungsansätze in Betracht gezogen, wobei die Variante mittels Tabellenkalkulationsprogramm als besonders vielversprechend für die Erstellung eines Prototyps eingestuft wird. Sicherheitsaspekte wie der Schutz der Nutzer:innendaten haben eine besonders hohe Priorität, vor allem wenn das endgültige Artefakt eine Websoftware wird, da Sicherheitsfragen eine der Herausforderungen der Webentwicklung sind. Eine weitere Anforderung bezüglich der Software ist eine gute Dokumentation des Implementierungsprozesses. Die Recherche hat gezeigt, dass auf diesen Aspekt der Lösungsfindung wenig Augenmerk gelegt wird. Für eine ganzheitliche Rückführung der Ergebnisse in die Wissensbasis im Sinne des Prüfzyklus des DSR (siehe Kapitel 1.4) ist die inhaltlich vollständige Dokumentation von hoher Bedeutung.

## 4.2 Anforderungen aus der Industrie

Wie in Kapitel 1.4 beschrieben, stammen die Anforderungen an das Artefakt aus der Umgebung. In Abbildung 1.1 ist ersichtlich, dass Organisationen ein Teil dieser Umgebung sind. Im Zuge des IMPACT-sXR Projekts [6] wurden die teilnehmenden Vertreter:innen der Industrie bezüglich ihrer Anforderungen an ein Evaluierungstool befragt. Diese Erhebung hatte den Charakter eines Brainstormings. Es konnten Ideen und Vorstellungen unabhängig von dem damit verbundenen Aufwand oder ihrer Realisierbarkeit genannt werden. Demnach werden nicht alle erwähnten Anforderungen aufgenommen oder umgesetzt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4.1 zu sehen.

Die Fragen und die gegebenen Antworten darauf werden in der folgenden Aufzählung im Sinne des besseren Verständnisses leicht abgeändert dargestellt.

- **Frage 1:** "Welche Informationen erwarten Sie von einem Evaluierungstool zu erhalten und wie sollen diese dargestellt werden?" Antworten:
  - Zielgruppenorientiertheit



- Zusätzliche Informationen zu den Ergebnissen
- grafische Darstellung

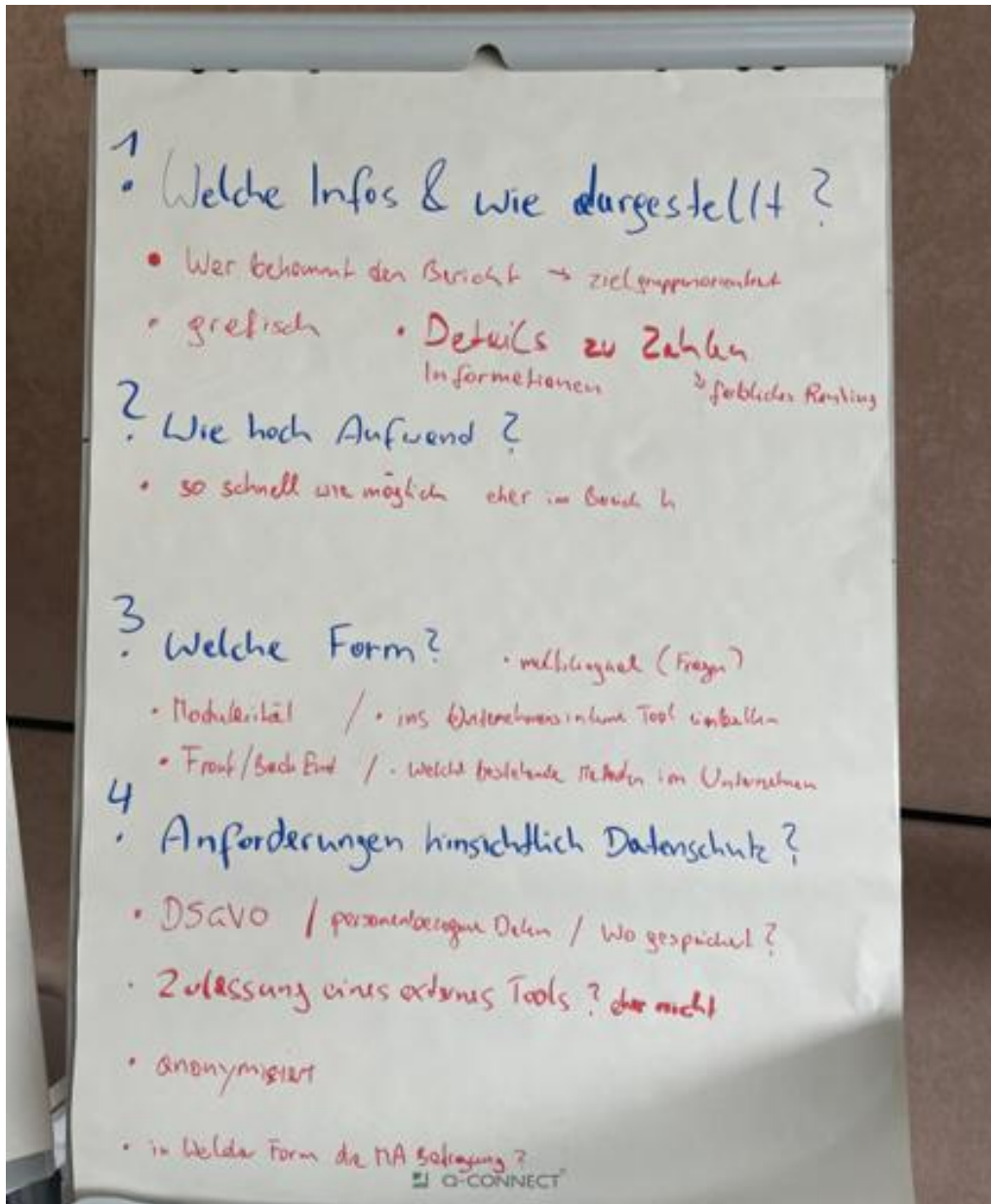
- **Frage 2:** "Wie hoch darf der Aufwand bei der Nutzung des Evaluierungstools sein?" Antworten:
  - so gering wie möglich
  - im Bereich von Stunden
- **Frage 3:** "In welcher Form soll das Evaluierungstool vorliegen?"
  - mehrsprachig
  - modulare Anwendbarkeit
  - mit anderen (unternehmensinternen) Tools verknüpfbar
  - auf bestehende Unternehmensprozesse abstimmbare
- **Frage 4:** "Welche Anforderungen bestehen an die technische Umsetzung hinsichtlich unternehmensinterner Datenschutzregeln?"
  - personenbezogene Daten müssen DSGVO-konform behandelt werden
  - externe Tools bekommen keinen Zugriff auf das interne Netzwerk im Unternehmen
  - In welcher Form werden Mitarbeiter:innen befragt?
  - Wo werden die Daten gespeichert?
- **Frage 5:** "Was soll auf jeden Fall bzw. darf auf keinen Fall Teil des Evaluierungstools sein?"
  - es dürfen keine Installationen notwendig sein
  - es darf keine Microsoft Forms Lösung sein

Die Teilnehmenden der Unternehmen im IMPACT-sXR Projekt haben sich am Tag der Befragung im Bezug auf die Informationsbereitstellung für eine zielgruppenorientierte und grafische Darstellung ausgesprochen, bei der auftretende Zahlen mit zusätzlichen Informationen hinterlegt sind. Diese Anforderungen sind deckungsgleich auch aus der Recherche entstanden. Der Aufwand der Nutzung soll dabei so gering wie möglich sein, was wiederum für den effizienten Ablauf der Prozesse der Software spricht und die aus der Literatur geforderte "Benutzer:innenfreundlichkeit" bestätigt. Als zusätzliche Funktionalität sollen Modularität und Mehrsprachigkeit bei der Verwendung möglich sein. Einerseits soll das Tool mit unternehmensinternen Werkzeugen und bestehenden Prozessen verknüpfbar sein, andererseits bezweifeln die Vertretenden, dass ein externes Tool im Unternehmen zugelassen wird. Ein DSGVO-konformer Umgang mit den Daten wird vorausgesetzt. Installationen und Microsoft Forms Lösungen sind hingegen unerwünscht.

Während der Befragung sind neue Fragen aufgetreten, die nach der Erstellung eines Artefakts beantwortet werden. Diese können im Zuge des Relevanzzykluses an die

Umgebung rückgeführt werden, um zu testen, ob das bestehende Design eine Verbesserung im Sinne des DSR bringt. Die aufgetretenen Fragen beziehen sich auf den Datenschutz und lauten wie folgt:

- In welcher Form werden Mitarbeiter:innen befragt?
- Wo werden die Daten gespeichert?



**Abbildung 4.1:** Foto des Flipcharts der Unternehmensbefragung im Zuge des IMPACT-sXR Projekts

Im folgenden Unterkapitel werden die Anforderungen an die Lösung in einen Anforderungskatalog überführt.

## 4.3 Anforderungskatalog

Die in Unterkapitel 4.2 gezeigte Befragung wurde mit den Erkenntnissen aus dem Stand der Technik abgeglichen und erweitert. Die erarbeiteten Anforderungen wurden in einen Anforderungskatalog überführt, welcher in Tabelle 4.1 zu sehen ist. In der ersten Spalte werden die Anforderungen anhand ihres Fachbereichs unterschieden. Dabei steht V für eine Anforderung, die sich auf das Verfahren zur Evaluierung, und S für eine, die sich auf die Softwareeigenschaften bezieht. Zeilenweise werden erst Anforderungen tabelliert, die mit der Priorität "hoch" eingestuft werden. Jene mit Priorität "niedrig" werden zuletzt genannt und stammen alle aus dem Brainstorming der Befragung der Unternehmenspartner:innen. Im nächste Kapitel werden die erarbeiteten Anforderungen in die Entwicklung eines Prototyps überführt.

**Tabelle 4.1:** Anforderungskatalog des Evaluierungstools

V/S	Anforderung	Beschreibung	Priorität
V	multikriterielles Verfahren	siehe Unterkapitel 1.3 "Zielsetzung und Forschungsfrage"	hoch
V	geeignete Kriterienauswahl	Benutzer:innenfreundlichkeit, Nutzer:innenakzeptanz und mentale Arbeitsbelastung	hoch
V	Erhebung qualitativer Merkmale	durch semistrukturierte Frage	hoch
V	standardisierte Fragebögen	samt vordefinierten Antwortmöglichkeiten zur Begünstigung der vom Anwendungsfall unabhängigen Anwendung	hoch
V	Fallvergleich	traditionelle Methode mit AR/VR-Anwendung vergleichbar machen	hoch
V+S	geeignete Ergebnisdarstellung	Punktezahl(V), zielgruppenorientiert(V), grafisch(S) und mit zusätzlichen Informationen hinterlegt(S)	hoch
S	Datenschutz	DSGVO-konformer Umgang mit Daten	hoch
S	webbasierte Lösung	für eine hohe Zugänglichkeit und Benutzer:innenfreundlichkeit	hoch
S	hohe Benutzer:innenfreundlichkeit	für eine hohe Akzeptanz und Zugänglichkeit	hoch
S	Modularität	Software soll modular anwendbar sein	hoch
S	Installationen vermeiden	Installationen können administrative Probleme verursachen	hoch
S	schnelle Reaktionszeit	zur Begünstigung der Benutzer:innenfreundlichkeit	hoch
S	Verwendung etablierter Frameworks	zur Vereinfachung der Entwicklung	hoch
S	Mehrsprachigkeit	die Software soll in verschiedenen Sprachen zur Verfügung stehen	niedrig
S	Integration mit anderen Tools	für bessere Einbindung in interne Prozesse	niedrig
S	Abstimmung mit bestehenden Prozessen	verbessert die individuelle Anwendbarkeit	niedrig

# 5. Entwicklung eines Prototyps

In diesem Kapitel wird der Entwicklungsprozess des Prototyps dargestellt. Es wird eine Unterscheidung zwischen den Anforderungen an den Prototyp und jenen an die finale Lösung durchgeführt. Mit dem Unterkapitel "Vorbereitung der Prototypentwicklung" startet der erste Designzyklus. Es werden die grundlegende Struktur und die verwendeten Programme der Prototypentwicklung festgelegt. Nach der Konzeptionierung, Umsetzung und Testung des Prototyps werden die wichtigsten Erkenntnisse aus diesem Kapitel zusammengefasst und für den nächsten Zyklus aufbereitet.

## 5.1 Anforderungen an den Prototyp

In diesem Unterkapitel wird beschrieben, welche Anforderungen der Prototyp erfüllen soll. Tabelle 4.1 beschreibt die Anforderungen, welche für die finale Lösung dieser Arbeit angestrebt werden. In diesem Kapitel wird allerdings keine Vollständigkeit angestrebt. Stattdessen geht es um das Sammeln von Erfahrungen anhand einfacher Lösungen. Um die Komplexität dieses Designschrittes zu verringern, wurden die Anforderungen aus Tabelle 4.1 auf ein Minimum reduziert. Tabelle 5.1 zeigt die auf den Prototyp zugeschnittene Variante, welche durch die Anforderung an eine "(S) einfache Lösung" erweitert wurde. Dadurch wird der Fokus auf die Umsetzung der wesentlichen Funktionalitäten im Bezug auf das Evaluierungsverfahren gelenkt. Auffallend ist, dass im Zuge dieses Prozesses Anforderungen an das Evaluierungsverfahren erhalten geblieben sind und jene, die sich auf Softwareeigenschaften beziehen, für diesen Schritt als weniger relevant eingestuft wurden. Im nächsten Unterkapitel wird auf die Vorbereitung der Prototypentwicklung eingegangen.

**Tabelle 5.1:** Anforderungskatalog des Prototyps

V/S	Anforderung	Beschreibung
V	multikriterielles Verfahren	siehe Unterkapitel 1.3 "Zielsetzung und Forschungsfrage"
V	geeignete Kriterienauswahl	Benutzer:innenfreundlichkeit, Nutzer:innenakzeptanz und mentale Arbeitsbelastung
V	Erhebung qualitativer Merkmale	durch semistrukturierte Frage
V	standardisierte Fragebögen	samt vordefinierten Antwortmöglichkeiten zur Begünstigung der vom Anwendungsfall unabhängigen Anwendung
V	Fallvergleich	traditionelle Methode mit AR/VR-Anwendung vergleichbar machen
V+S	Ergebnisdarstellung	Punktezahl(V), grafisch(S)
S	einfache Lösung	zielgerichtetes Sammeln von Erfahrungen bzgl. der Umsetzung des Evaluierungsverfahrens

## 5.2 Vorbereitung der Prototypentwicklung

In diesem Unterkapitel werden die Vorbereitungen für die erste Iteration des Designzyklus dargestellt. Die grundlegende Struktur (Excel-basiert, webbasiert, lokale Installation, ...), in welcher der Prototyp umgesetzt werden soll, wird diskutiert und die verwendeten Programme werden vorgestellt.

### 5.2.1 Wahl der grundlegenden Struktur des Prototyps

Für die Umsetzung des Prototyps kommen mehrere Grundstrukturen in Frage: (1) Excel-basiert, (2) eigenentwickelte lokale Installation, (3) eigenentwickelte webbasierte Lösung oder (4) kommerzielle Frameworks. Aus Kostengründen wird Option 4 ausgeschlossen. Die drei übrigen Möglichkeiten werden im Folgenden verglichen.

Eine eigenentwickelte lokale Installation hat ähnlich wie eine webbasierte Lösung den Vorteil, dass die Entwicklung sehr flexibel gestaltet werden kann. Bei einer Excel-basierten Lösung sind die Möglichkeiten, das Front- und Backend zu gestalten, beschränkt. Der niedrigeren Flexibilität steht aber ein geringerer Entwicklungsaufwand gegenüber, da die Lösung nicht von Grund auf entwickelt werden muss. Option 2 wird dennoch als Grundstruktur des Prototyps ausgeschlossen, da in der endgültigen Lösung eine Installation nicht notwendig sein soll, um das Evaluierungstool zu verwenden (siehe Tabelle 4.1). Die Erfahrungen, welche durch die Prototypentwicklung einer lokalen Installation gewonnen werden, haben also einen geringeren Wert für die Entwicklung der weiteren Artefakte verglichen mit einer webbasierten Lösung. Werden die beiden übrig bleibenden Optionen 1 und 3 verglichen, zeigt sich, dass eine Excel-basierte Lösung die Anforderung an eine einfache Lösung erfüllt und eine webbasierte Lösung nicht. Der vorgegebene Rahmen eines Tabellenkalkulationsprogramms schränkt zwar die Flexibilität ein, ermöglicht jedoch den schnellen Fokus auf das Evaluierungsverfahren. Aus diesen Gründen wird eine Excel-basierte Lösung erarbeitet. Im nächsten Unterkapitel werden die dafür verwendeten Programme vorgestellt.

### 5.2.2 Verwendete Programme

Für die Datenerhebung, also die Durchführung der Umfragen, wurde LimeSurvey genutzt. LimeSurvey ist eine Onlineanwendung, welche kostenlos verwendet werden kann, um Umfragen zu erstellen und durchzuführen zu lassen [79]. LimeSurvey bietet die Möglichkeit, unterschiedliche Typen von Fragen zu erstellen, unter anderem: Single-Choice-, Multiple-Choice-, Text- und Matrixfragen. In dieser Arbeit wurden vor allem Matrixfragen erstellt, um die standardisierten Evaluierungsmethoden umzusetzen. Sie bieten die Möglichkeit, einen allgemein gültigen Text anzuzeigen. Die Fragen werden in der ersten Spalte angezeigt und die vordefinierten Antworten für den gesamten Fragenblock in der ersten Zeile. Likert-Skalen wurden ebenfalls auf diese Art umgesetzt. Abbildung 5.1 zeigt zwei Matrixfragen aus LimeSurvey für die Dimension "Mitarbeiter:innenzufriedenheit". Neben Matrixfragen wurden Textfragen verwendet, um qualitatives Feedback von Studienteilnehmer:innen einzuholen. LimeSurvey bietet eine Reihe von Optionen für weitere Einstellungen zu den einzelnen Fragen an.

Beinahe alle Fragen wurden mit der "Zwingend notwendig" Option versehen, welche es Studienteilnehmer:innen unmöglich macht, zur nächsten Fragengruppe zu gelangen, bevor nicht alle Fragen beantwortet sind. Dies ist ebenfalls in Abbildung 5.1 zu erkennen und durch den roten Stern am linken oberen Rand der beiden Fragen gekennzeichnet.

**\*Bitte beantworten Sie folgende Frage auf einer Skala von 0 - 10.**  
 (0 = sehr unwahrscheinlich | 10 = sehr wahrscheinlich)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Wie wahrscheinlich ist es, dass Sie Ihren Arbeitgeber einem Freund oder Familienmitglied empfehlen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**\*Bitte bewerten Sie folgende Eigenschaften im Bezug auf Ihre Tätigkeiten.**  
 Gemeint ist der Inhalt Ihrer Tätigkeit, bzw. die Art Ihrer Arbeitsaufgaben.

	Nein	Eher Nein	Eher Ja	Ja
gefällt mir	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
langweilig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
festgefahren	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
unselbständig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
nutzlos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
angesehen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
enttäuschend	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
unterfordert mich	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
sehe Ergebnisse	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
kann meine Fähigkeiten einsetzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**Abbildung 5.1:** Matrixfragen aus LimeSurvey

Um die Daten aus LimeSurvey zu extrahieren und im Prototyp zu verwenden, wurde eine statistische Ausgabe in Form einer Excel-Datei erstellt. In dieser werden die Anzahl der durchgeführten Umfragen (gleichbedeutend mit der Anzahl an Datensätze), die gestellten Fragen und die Antwortmöglichkeiten dargestellt. Die Anzahl an gegebenen Antworten und deren prozentueller Anteil bezogen auf die Gesamtmenge werden ausgegeben. Abbildung 5.2 zeigt einen Ausschnitt einer solchen Ausgabedatei für eine Umfrage der Dimension "Anwender:in".

	A	B	C
1	Anzahl der Datensätze in dieser Abfrage:	29	
2	Gesamtzahl der Datensätze dieser Umfrage:	29	
3	Anteil in Prozent:	100,00%	
4			
5			
6	Zusammenfassung für G01Q01(SQ001)[Wie stark wurden Sie während des Prozesses geistig beansprucht?]		
7	Bitte beantworten Sie folgende Fragen zum Thema Arbeitsbelastung.		
8	Antwort	Anzahl	Prozent
9	Gering (AO01)	8	27,59%
10	Gering-mittel (AO02)	8	27,59%
11	Mittel (AO03)	10	34,48%
12	Mittel-hoch (AO04)	3	10,34%
13	Hoch (AO05)	0	0,00%
14	Keine Antwort	0	0,00%
15	Nicht beendet oder nicht gezeigt	0	0,00%

**Abbildung 5.2:** Ausgabedatei einer LimeSurvey-Umfrage

Das Tabellenkalkulationsprogramm Excel wird verwendet, um die Umfragedaten aus LimeSurvey einzulesen, den Evaluierungsmethoden entsprechend zu verarbeiten und die Ergebnisse darzustellen. Die Datenverarbeitung und Ergebnisdarstellung ist bereits mit den Grundfunktionen von Excel möglich. Um die Übergabe der Daten von der Ausgabedatei (aus LimeSurvey) zum Excel-basierten Prototyp mit möglichst geringem manuellen Aufwand zu bewerkstelligen, wird Visual Basic for Applications (VBA) verwendet. Im nächsten Unterkapitel wird auf die Prototypentwicklung und damit den ersten Designzyklus des DSR-Artefakts eingegangen.

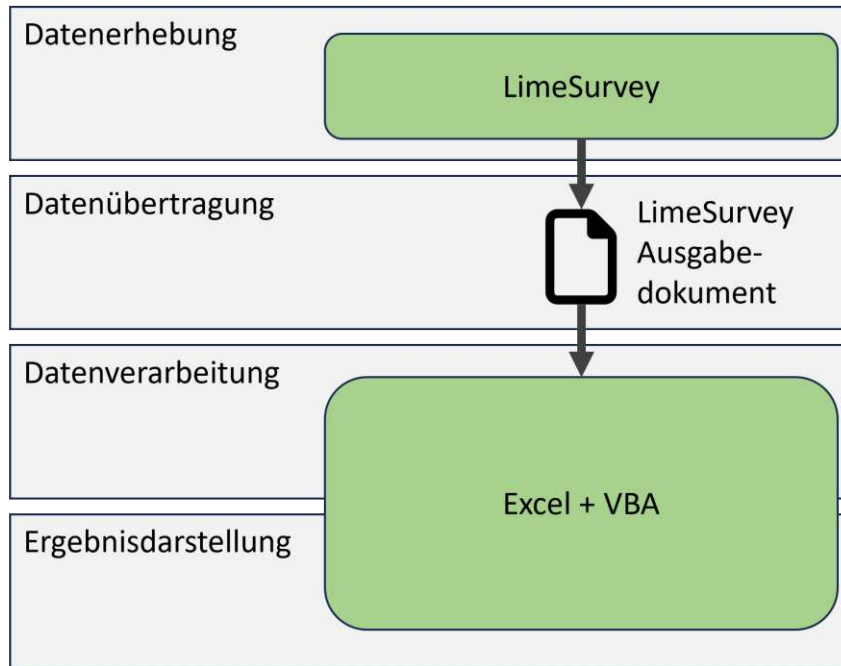
## 5.3 Erster Designzyklus

Dieses Unterkapitel befasst sich mit dem ersten Designzyklus des DSR-Artefakts und damit gleichzeitig mit der Umsetzung des Prototyps. Es werden grundlegende Konzepte definiert, die die Arbeitsweise des Prototyps festlegen. Anhand dieser erfolgt die Umsetzung, welche ebenfalls in diesem Unterkapitel dargestellt wird. Abschließend wird überprüft, ob der Prototyp alle Anforderungen aus Tabelle 5.1 erfüllt, und die Erkenntnisse der Prototypentwicklung werden zusammengefasst.

### 5.3.1 Konzeptionierung der Prototyplösung

Abbildung 5.3 zeigt das Zusammenspiel und die Schnittstellen der Softwarearchitektur. Die Datenerhebung und die Erstellung des Ausgabedokuments werden auf LimeSurvey ausgelagert. Die Datenverarbeitung und Ergebnisdarstellung werden durch Excel und VBA umgesetzt. Im Folgenden werden erst die grundlegenden Konzepte zur Erstellung der Umfragen mittels LimeSurvey und dann jene des Prototyps beschrieben.

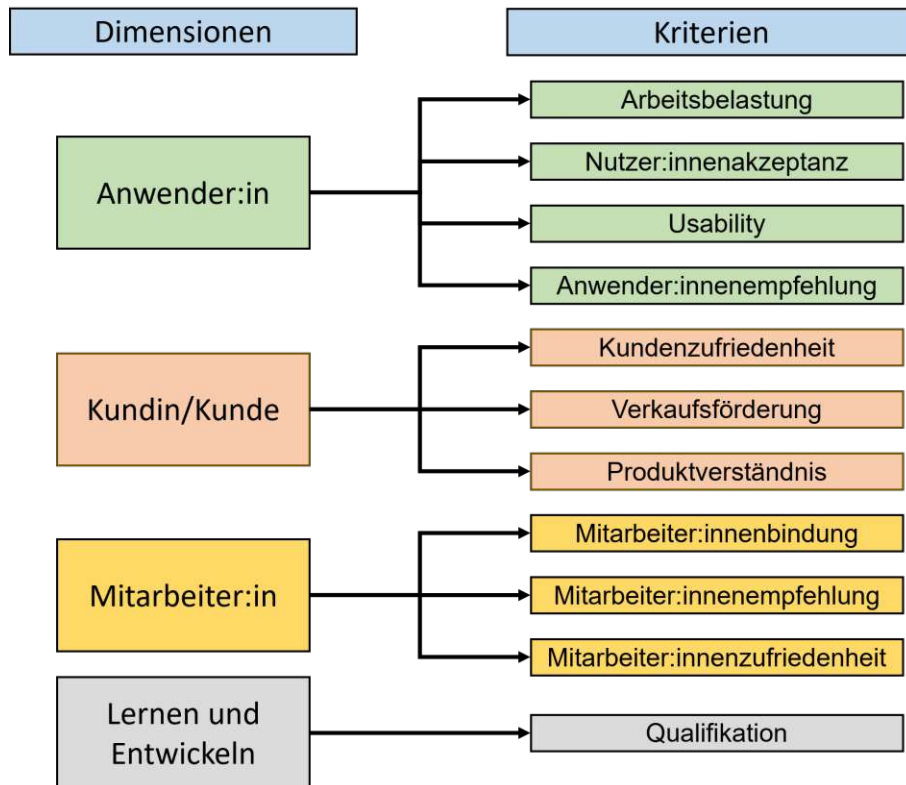




**Abbildung 5.3:** Softwarearchitektur des Prototyps

Um die Konzeptionierung der Datenerhebung zu verstehen, wird erst ein grober Überblick über das verwendete Evaluierungsverfahren gegeben. Dieses ist ebenfalls im Rahmen des IMPACT-sXR Projekts entstanden [80] und wird für diese Arbeit herangezogen. Abbildung 5.4 zeigt welche Evaluierungskriterien verwendet und zu welchen Dimensionen sie zusammengefasst wurden. Die Dimension "Anwender:in" setzt sich beispielsweise aus den Evaluierungskriterien (1) Arbeitsbelastung, (2) Nutzer:innenakzeptanz, (3) Usability und (4) Anwender:innenempfehlung zusammen. Der Inhalt der Fragebögen setzt sich aus den Evaluierungsmethoden der einzelnen Kriterien zusammen. Jedem Evaluierungskriterium liegen jeweils ein standardisierter Fragebogen und ein Verfahren für dessen Auswertung zu Grunde. Hinter dem Kriterium "Usability" steht beispielsweise eine Evaluierungsmethode namens "System Usability Scale" (SUS), welche zur technologieunabhängigen Bewertung der Benutzer:innenfreundlichkeit von Systemen eingesetzt wird.

Auf Basis dieses multikriteriellen Evaluierungsverfahrens wurden die Unterteilung der Fragebögen und die Fragebögen selbst konzipiert. Zur Evaluierung einer Dimension und den dazu gehörenden Kriterien ist eine spezielle Personengruppe erforderlich, welche innerhalb einer Dimension konstant ist. Dimensionsübergreifend muss dies allerdings nicht der Fall sein. Aus diesem Grund wurde jeder Fragebogen genau einer Dimension zugeordnet. Um der Anforderung eines möglichen Fallvergleichs gerecht zu werden (siehe Tabelle 5.1), werden Fragebögen zusätzlich nach ihrem Fall unterschieden. Für jede Dimension wurden somit vier Umfragen mit den folgenden Fällen erstellt: IST-Fall, Fall 1, Fall 2, Fall 3. Hier wird davon ausgegangen, dass alle Anwendenden des Prototyps im aktuellen Ist-Fall keine AR/VR-Anwendungen verwenden. Die Fälle 1 bis 3 stellen mögliche Varianten für die Einführung und Evaluierung von AR/VR-Systemen dar.



**Abbildung 5.4:** Evaluierungsdimensionen und -kriterien [80]

Mit der Datenübertragung endet der Wirkungsbereich von LimeSurvey und jener des eigentlichen Prototyps beginnt (siehe Abbildung 5.3). Arbeitsblätter in Excel (Excel-Sheets) bieten die Möglichkeit den Prototyp in Module einzuteilen. Abbildung 5.5 zeigt die Grundmodule des Prototyps. Schon beim ersten Artefakt wird auf eine hohe Benutzbarkeit bzw. Benutzer:innenfreundlichkeit geachtet, um einen Mehrwert für die Umgebung zu liefern. Das bedeutet, dass ein händisches Übertragen bei mehr als 1800 Werten nicht in Frage kommt. Deshalb ist als erstes Modul ein Excel-Sheet vorgesehen, welches es ermöglicht, die Daten der Ausgabedatei von LimeSurvey per Knopfdruck einzulesen. Dies soll mittels Kopieren und Einfügen stattfinden, damit die Daten nach dem Import tatsächlich im Prototyp gespeichert sind und keine Referenz auf die Ausgabedatei mehr nötig ist. Die Durchführung einer individuellen Gewichtung der Dimensionen und Kriterien ist ein weiteres Konzept, welches als eigenes Modul im Prototyp umgesetzt wird. Nach der automatischen Berechnung der Ergebnisse werden diese im Ergebnis-Sheet dargestellt. Dabei wird der Großteil der Berechnungen im Modul "Kriterien" umgesetzt. Für jedes Evaluierungskriterium wird ein eigenes Arbeitsblatt vorgesehen. Im nächsten Unterkapitel werden die vorgestellten Konzepte umgesetzt.



**Abbildung 5.5:** Module des Prototyps

### 5.3.2 Umsetzung des Prototyps

Um die Datensätze in den Prototyp zu importieren wurden eigene Bereiche (Matrizen) für die einzelnen Dimensionen und Kriterien vorgesehen. In den meisten Fällen sind die standardisierten Fragebögen so aufgebaut, dass die zu beantwortenden Fragen mit denselben vordefinierten Antwortmöglichkeiten zu beantworten sind. Für diese Kriterien wurde eine Antwortenmatrix pro Fall erstellt. Abbildung 5.6 zeigt diese Matrizen für das Kriterium "Arbeitsbelastung". Die Antwortmöglichkeiten werden zeilenweise aufgetragen und die Fragen spaltenweise. Die Zahlenwerte der Matrizen bilden die Anzahl der gegebenen Antworten zu den zugehörigen Fragen im korrespondierenden Fall ab. Für Kriterien, welche aus mehreren Gruppen von Antwortmöglichkeiten bestehen, wurden mehrere solcher Matrizengruppen erstellt.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y		
2	Arbeitsbelastung G01Q01																										
3		IST Fall						Fall 1						Fall 2						Fall 3							
4	Antwort																										
5			SQ001	SQ002	SQ003	SQ004	SQ005	SQ006	SQ001	SQ002	SQ003	SQ004	SQ005	SQ006	SQ001	SQ002	SQ003	SQ004	SQ005	SQ006	SQ001	SQ002	SQ003	SQ004	SQ005	SQ006	
6																											
7		Gering (AO01)	3	0	3	3	1	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
8		Gering-mittel (AO02)	1	3	0	1	3	2	1	0	0	1	0	2	1	0	0	1	0	2	1	0	0	1	0	1	0
9	Mittel (AO03)	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	
10	Mittel-hoch (AO04)	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	
11	Hoch (AO05)	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	

**Abbildung 5.6:** Antwortmatrizen des Kriteriums "Arbeitsbelastung" im Prototyp

Um die Datenübertragung zu verwirklichen wird VBA verwendet, um selbstentwickelte Funktionen (sogenannte "Makros") zu definieren. Nach deren Erstellung ist es möglich, diese Makros mit Schaltflächen zu verbinden, um sie per Knopfdruck auszuführen. Für jede Dimension ist eine Funktion erstellt worden, welche anhand der übergebenen Funktionsparameter erkennt, welcher Fall zu importieren ist. Pseudocode 5.1 zeigt die grundsätzliche Logik eines solchen Funktionsaufrufs. Für die Fallunterscheidung werden die Positionen der ersten Zellen jeder Matrix jedes Kriteriums durch das IF-Statement unterschieden. Im Beispiel von Abbildung 5.6 wäre das für den Import des IST-Falls die Zelle "B7". Im nächsten Schritt wird die Ausgabedatei anhand des übergebenen Dateinamens geladen. Hierfür wurde zusätzlich eine Fehlerhandhabung implementiert, damit das Makro nicht abstürzt, falls eine Datei nicht gefunden werden kann. Fallunabhängig befinden sich die Werte in der Ausgabedatei für eine Dimension immer an der gleichen Stelle. Deshalb können ohne Fallunterscheidung die Spalte und die erste Gruppe an gegebenen Antworten für die erste Frage eingegrenzt werden. Für die Werte in Abbildung 5.2 wäre das Spalte B beginnend mit Zeile 9 und endend mit Zeile 13. In einer For-Schleife wird die Anzahl an Fragen pro Kriterium durchlaufen. Die Ausgabedatei wird geöffnet, der vorher eingegrenzte Zellenbereich wird ausgewählt und kopiert. Nachdem die Excel-Datei des Prototyps wieder geöffnet wird, wird die erste Zelle der Matrix des richtigen Falls und Kriteriums ausgewählt und die Inhalte werden eingefügt. Dieser Vorgang wird für alle Fragen und Kriterien wiederholt. Als weitere Funktionalität wurden Schaltflächen für das Löschen aller Werte und das Importieren einzelner Fälle im Gegensatz zum Importieren aller Fälle entwickelt.

---

**Pseudocode 5.1: Werte importieren - Prototyp**

---

```
1 übernehme Dateiname aus Funktionsaufruf;
2 übernehme Fallunterscheidung aus Funktionsaufruf;

3 if Fallunterscheidung then
4   | erkenne erste Zelle der Prototyp-Matrizen für jedes Kriterium dieses Falls;

5 lade Ausgabedatei;

6 initialisiere Spalte B;
7 initialisiere Startzeile_Ausgabedatei;
8 initialisiere Endzeile_Ausgabedatei;

9 for alle Kriterien do
10  | for  $x = 0$  bis Anzahl_Fragen_Kriterium - 1 do
11    | öffne Ausgabedatei;
12    | kopiere Zellen aus Spalte B zwischen Startzeile und Endzeile;
13    | öffne Prototyp;
14    | wähle Zeile der richtigen Matrix und Spalte der richtigen Matrix + x;
15    | füge kopierte Werte ein;

16  | erhöhe Startzeile um festen Wert erhöhe Endzeile um festen Wert

17 schließe Ausgabedatei;
```

---

Nach dem Import der Werte werden diese vom Kriterienmodul übernommen. Abbildung 5.7 zeigt eines dieser Arbeitsblätter für das Kriterium "Arbeitsbelastung". Die Antwortmöglichkeiten sind zeilenweise aufgetragen und die Fragen spaltenweise. Der Wert in einer Zelle spiegelt wieder wie oft eine Antwort zu einer Frage gegeben wurde. Das verwendete Evaluierungsverfahren sieht die Ermittlung von Mittelwerten vor, welche anschließend anhand von vorgegebenen Grenzwerten in eine Skala von -2 bis +2 überführt werden. Der gezeigte Ausschnitt des Kriterienmoduls führt die Auswertung für das gezeigte Kriterium und den Ist-Fall durch. Auf dem selben Arbeitsblatt wird ebenfalls die Auswertungen für alle anderen Fälle durchgeführt.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<b>Arbeitsbelastung</b>									
2	Methode	NASA-TLX Scoring Worksheet								
3										
4	<b>IST Fall</b>									
5	Gesamtbewertung	14,08								
6	Skala -2-+2	2								
7										
8	Anzahl Fragen	6								
9	Anzahl der Umfrageteilnehmer	100								
10	Antworten									
11	Gering (AO01)	57	55	57	54	61	52	336	0	0
12	Gering-mittel (AO02)	33	39	35	34	31	36	208	25	5200
13	Mittel (AO03)	6	4	4	12	6	7	39	50	1950
14	Mittel-hoch (AO04)	4	2	4	0	2	4	16	75	1200
15	Hoch (AO05)	0	0	0	0	0	1	1	100	100

**Abbildung 5.7:** Kriterienmodul für das Kriterium "Arbeitsbelastung" im Prototyp

Für die Umsetzung des Gewichtungsmoduls wurden in einem eigenen Excel-Sheet mehrere Matrizen für paarweise Vergleiche erstellt. Nutzende des Prototyps beantworten durch diese folgende Fragen: "Welche(s) der beiden Dimensionen/Kriterien ist wichtiger?" und "Wie viel wichtiger ist die/das gewählte Dimension/Kriterium gegenüber der/dem anderen?". Abbildung 5.8 zeigt die beiden Fragen und die damit verbundenen Matrizen. In diesem Fall ist der paarweise Vergleich für die Dimensionen abgebildet. Nutzende vergleichen in der linken Matrix zeilenweise jeweils zwei Dimensionen und markieren ihre Entscheidung durch das Setzen des Buchstaben "x". Ist die gewählte Dimension bzw. das gewählte Kriterium sehr viel wichtiger als das damit verglichene, soll eine hohe Zahl in der rechten Matrix gewählt werden und vice versa. Dieser Vorgang wird für die Kriterien innerhalb einer Dimensionen wiederholt. Des Weiteren wird der sogenannte "Konsistenzindex" berechnet. Dieser Wert gibt an, ob die Angaben der Nutzenden in sich konsistent sind. Ist der Index < 10%, liegt er im empfohlenen Bereich.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
		Welches der beiden Kriterien ist wichtiger?				Wie viel wichtiger ist das gewählte Kriterium gegenüber dem anderen?							Konsistenzindex	
1		(mit x markieren)				sehr viel wichtiger			ein bisschen wichtiger					
2	<b>Dimension 1</b>	linkes wichtiger	gleich wichtig	rechtes wichtiger	<b>Dimension 2</b>	9	8	7	6	5	4	3	2	9,3%
3	Anwender:in			x	Kundin/Kunde									x
4	Anwender:in	x			Mitarbeiter:in						x			
5	Anwender:in		x		Lernen & Entwickeln							x		
6	Kundin/Kunde	x			Mitarbeiter:in		x							
7	Kundin/Kunde	x			Lernen & Entwickeln			x						
8	Mitarbeiter:in		x		Lernen & Entwickeln							x		

**Abbildung 5.8:** Screenshot des Gewichtungsmoduls des Prototyps

Die Ergebnisse des Gewichtungsmoduls und jene des Kriterienmoduls fließen im Ergebnismodul zusammen. Abbildung 5.9 zeigt einen Teil der Ergebnisdarstellung. Im oberen, linken Bereich ("A3:E14") werden die Dimensionen und Kriterien aufgelistet und mit den jeweiligen Gewichtungen in Verbindung gebracht. Die Gesamtgewichtung ergibt sich aus dem Produkt von der Kriteriumsgewichtung und der dazugehörigen Dimension.

Für die Ergebnisse jedes Falls sind zwei Spalten vorgesehen. In der ersten werden die errechneten Werte in der Skala von -2 bis +2 importiert. In der zweiten werden diese Werte mit den Gesamtgewichtungen der Kriterien multipliziert. Durch das spaltenweise Aufsummieren werden fallweise Endergebnisse berechnet. Die Ergebnisse werden automatisch miteinander verglichen und farblich gekennzeichnet. Zum Zwecke der besseren Übersicht wurde außerdem eine eigene Darstellung auf Dimensionsebene erstellt, welche sich aus den summierten Werten der Kriterien zusammensetzt. Zur grafischen Darstellung der Ergebnisse wurde die automatische Erstellung von Netzdiagrammen implementiert.

Ergebnisse					Bewertung der Kriterien					
Dimension	Gewichtung Dimension	Kriterium	Gewichtung Kriterium	Gewichtung gesamt	Ist-Zustand		Fall 1		Fall 2	
					Bewertung (Skala -2+2)	Bewertung mit Gewichtung	Bewertung (Skala -2+2)	Bewertung mit Gewichtung	Bewertung (Skala -2+2)	Bewertung mit Gewichtung
Anwender:in	22,60%	Arbeitsbelastung	56,78%	12,83%	2	0,257	1	0,128	-2	-0,257
		Nutzerakzeptanz	25,93%	5,86%	0	0,000	0	0,000	-2	-0,117
		Usability	11,94%	2,70%	0	0,000	1	0,027	-2	-0,054
Kundin/Kunde	57,69%	Kundenzufriedenheit	15,77%	9,10%	-1	-0,091	1	0,091	-2	-0,182
		Verkaufsförderung	8,17%	4,71%	0	0,000	1	0,047	-2	-0,094
		Produktverständnis	76,06%	43,88%	2	0,878	1	0,439	0	0,000
Mitarbeiter:in	7,52%	Mitarbeiterbindung	38,73%	2,91%	0	0,000	2	0,058	0	0,000
		Mitarbeiterempfehlung	16,98%	1,28%	-1	-0,013	0	0,000	-1	-0,013
		Mitarbeiterzufriedenheit	44,29%	3,33%	0	0,000	0	0,000	1	0,033
Lernen & Entwickeln	12,19%	Qualifikation	100,00%	12,19%	1	0,122	2	0,244	-2	-0,244
<b>Summe</b>	<b>100,00%</b>		<b>400,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>3</b>	<b>1,13</b>	<b>9</b>	<b>1,03</b>	<b>-12</b>	<b>-0,58</b>
Technologie-Reifegrad					Bewertung der Dimensionen					
6					Ist-Zustand		Fall 1		Fall 2	
		Dimension	Gewichtung Dimension		Bewertung	Bewertung mit Gewichtung	Bewertung	Bewertung mit Gewichtung	Bewertung	Bewertung mit Gewichtung
		Anwender:in	22,60%		2	0,257	2	0,155	-6	-0,428
		Kundin/Kunde	57,69%		1	0,787	3	0,577	-4	-0,276
		Mitarbeiter:in	7,52%		-1	-0,013	2	0,058	0	-0,013
		Lernen & Entwickeln	12,19%		1	0,122	2	0,244	-2	-0,244
		<b>Summe</b>	<b>100,00%</b>		<b>3</b>	<b>1,13</b>	<b>9</b>	<b>1,03</b>	<b>-12</b>	<b>-0,58</b>

Abbildung 5.9: Screenshot des Ergebnismoduls des Prototyps

Im nächsten Unterkapitel wird der Prototyp getestet und es wird geprüft, ob die Anforderungen aus Tabelle 5.1 erfüllt werden.

### 5.3.3 Testen des Prototyps

Zum allgemeinen Testen der Funktionalität wurde eine Reihe von Testumfragen durchgeführt. Hierfür wurden lediglich willkürliche Antworten auf die entsprechenden Fragen gegeben, um Datensätze zu produzieren. Für jede der 16 Umfragen wurden auf diese Art 2 Umfragen ausgefüllt. Beim Durchführen der Umfragen ist aufgefallen, dass in manchen Fällen ein Auslassen einer Frage möglich war. Dies war auf das falsche Setzen der verpflichtenden Option zurückzuführen und musste im Nachhinein behoben werden. Nach dem Exportieren der Datensätze aus LimeSurvey wurde der Import getestet. Dabei ist aufgefallen, dass das schnelle, automatische Wechseln

zwischen den unterschiedlichen Excel-Dateien bzw. -Fenstern zu unangenehmen optischen Reizen führt. Wenn gleichzeitig alle 4 Fälle importiert werden sollen, kommt es aufgrund der Tatsache, dass für jede Frage in jedem Fall einmal hin und her gewechselt werden muss, zu einer sehr hohen Anzahl an Fensterwechseln. Nachdem die Werte richtig importiert wurden, wurde überprüft, ob die Ergebnisse des Kriterienmoduls richtig berechnet werden. Durch händisches Nachrechnen wurde überprüft, ob der Prototyp zu den gleichen Ergebnissen kommt, wie die manuelle Methode. Anschließend wurde eine Gewichtung durchgeführt, wobei die Rechenwege bis hin zum Gewichtungsfaktor und die dadurch erhaltenen Konsistenzindizes kontrolliert wurden. Im Falle der Konsistenzindizes ist zusätzlich eine Plausibilitätsanalyse durchgeführt worden. Im Ergebnismodul wurden die korrekte Zusammenführung der Werte und die Berechnung der Gesamtgewichtung kontrolliert. Bzgl. der Darstellung der Ergebnisse wurde auf eine intuitive Unterscheidung von gut und schlecht bewerteten Fällen geachtet.

Bezugnehmend auf den Anforderungskatalog in Tabelle 5.1, wird getestet, inwiefern der Prototyp diese Anforderungen erfüllt. Nach den Tests kann bestätigt werden, dass der Prototyp ein multikriterielles Evaluierungsverfahren erfolgreich umsetzt. Neben den geforderten Kriterien ("Benutzer:innenfreundlichkeit", "Nutzer:innenakzeptanz" und "mentale Arbeitsbelastung") stehen noch weitere zur Evaluierung zur Verfügung. Die Evaluierung basiert auf der Beantwortung standardisierter Fragebögen. Die Erhebung qualitativer Merkmale ist im Prototyp umgesetzt. Die semistrukturierten Fragen sind in den Umfragen vorhanden und werden vom Prototyp während des Imports eingelesen. Der Prototyp ermöglicht den Vergleich eines Ist-Zustandes mit der Anwendung von AR/VR-Systemen. Die Ergebnisse werden sowohl als Punktezahl als auch grafisch dargestellt. Durch die Verwendung einer Excel-basierten Lösung und eines Onlineumfragentools konnte eine einfache Variante eines Evaluierungstools realisiert werden. Der Abschluss dieser Testphase kennzeichnet gleichzeitig den Abschluss des ersten Designzyklus. Im nächsten Unterkapitel werden die Erkenntnisse der Prototypentwicklung zusammengefasst.

### 5.3.4 Erkenntnisse der Prototypentwicklung

Durch die Durchführung der Prototypentwicklung konnten grundlegende Erfahrungen mit dem Umgang und der Anwendung des Evaluierungsverfahrens gesammelt werden. Diese beinhaltet alles von der Erstellung der Fragebögen, über den Prozess der Datenerhebung, über die Datenverarbeitung bis hin zur Ergebnisdarstellung. Eine weitere wichtige Erkenntnis, die aus der Prototypentwicklung hervorgegangen ist, ist die Notwendigkeit, dass Studienteilnehmende verpflichtend alle Fragen eines Fragebogens beantworten müssen, da sonst inkonsistente Datensätze entstehen, die den Ablauf der Ergebnisberechnung stören und ggfs. aussortiert werden müssen und damit verloren gehen.

Im nächsten Kapitel werden die Erfahrungen der Prototypentwicklung verwendet, um eine weitere Iteration zu starten und das Evaluierungstool erstmalig in der endgültigen Softwarearchitektur umzusetzen.

## 6. Entwicklung der Softwarelösung für den Evaluierungsprozess

In diesem Kapitel wird dokumentiert, wie das Evaluierungstool nach der Erstellung des Prototyps entwickelt wurde. Es werden die Anforderungen aus Kapitel 4 herangezogen. Zur Vorbereitung der nächsten iterativen Designzyklen werden die für die Entwicklung relevanten Programme vorgestellt und die Datenstruktur dokumentiert. Der zweite Designzyklus wird durch das Aufzeigen der grundlegenden Konzepte gestartet. Nach deren Umsetzung folgt eine Testphase, bei der Verbesserungsvorschläge eingeholt werden. Diese werden in einer weiteren Iteration teilweise eingearbeitet.

### 6.1 Vorbereitung der Evaluierungstoolentwicklung

In diesem Unterkapitel werden die Vorbereitungen der Entwicklung des Evaluierungstools dokumentiert. Es werden die für die Entwicklung der Evaluierungssoftware nötigen Programme und Softwarelösungen vorgestellt. Diese wurden unter der Berücksichtigung des Anforderungskatalogs aus Tabelle 4.1 so gewählt, dass der Anforderung nach einer webbasierten Lösung nachgekommen wird.

Für die Programmierung des Backends wurde die Programmiersprache Python verwendet. Damit wurde sämtliche Logik, die hinter dem Evaluierungsverfahren steckt, die Datenverarbeitung, der Umgang mit Nutzenden und die Navigation im Tool abgedeckt. Um den webbasierten Charakter des Tools zu realisieren, wurde das Framework Flask verwendet, welches für die Entwicklung von Webanwendungen entworfen wurde. Für die Darstellung der Inhalte wurde für das Frontend die Auszeichnungssprache HTML gemeinsam mit dem Web-Vorlagen-Engine Jinja2 und die Auszeichnungssprache CSS gemeinsam mit dem Framework Bootstrap verwendet. HTML wird verwendet, um die Inhalte von Internetseiten zu strukturieren. Jinja2 hilft dabei, die Schreibaarbeit von HTML-Dateien zu verringern, indem Listen, Zeichenketten (Strings) oder andere Pythonelemente aus dem Backend übernommen werden und durch das Schreiben der Variablennamen eingefügt werden. Außerdem besteht die Möglichkeit Python-ähnlichen Code zu schreiben, mit dessen Hilfe die Verwendung von Programmier-elementen wie Schleifen oder Verzweigungen ermöglicht wird. Die Auszeichnungssprache CSS dient dazu, die optische Erscheinung von HTML-Dateien zu verändern. Damit besteht die Möglichkeit, HTML-Elementen verschiedene Klassen zuzuordnen. Damit kann z.B. einer Nachricht, die Nutzenden angezeigt wird, der Charakter einer Warnung oder einer erfolgreichen Ausführung vermittelt werden. Das Framework Bootstrap stellt einen großen Katalog dieser CSS-Klassen zur Verfügung. Während des ersten Teils der Entwicklung des Evaluierungstools wurde das Datenbanksystem SQLite verwendet, um die benötigten Daten zu speichern und zu verwalten. Dieses System ermöglicht den einfachen Umgang mit einer Datenbank in der Entwicklung, ist jedoch nicht für den Betrieb einer Webanwendung geeignet, weshalb in einem späteren Stadium auf das Datenbankmanagementsystem PostgreSQL umgestellt wurde. Für das Aufsetzen einer Entwicklungsumgebung wurde das Programm "Visual Studio Code" verwendet. Im nächsten Unterkapitel wird der zweite Designzyklus dokumentiert.



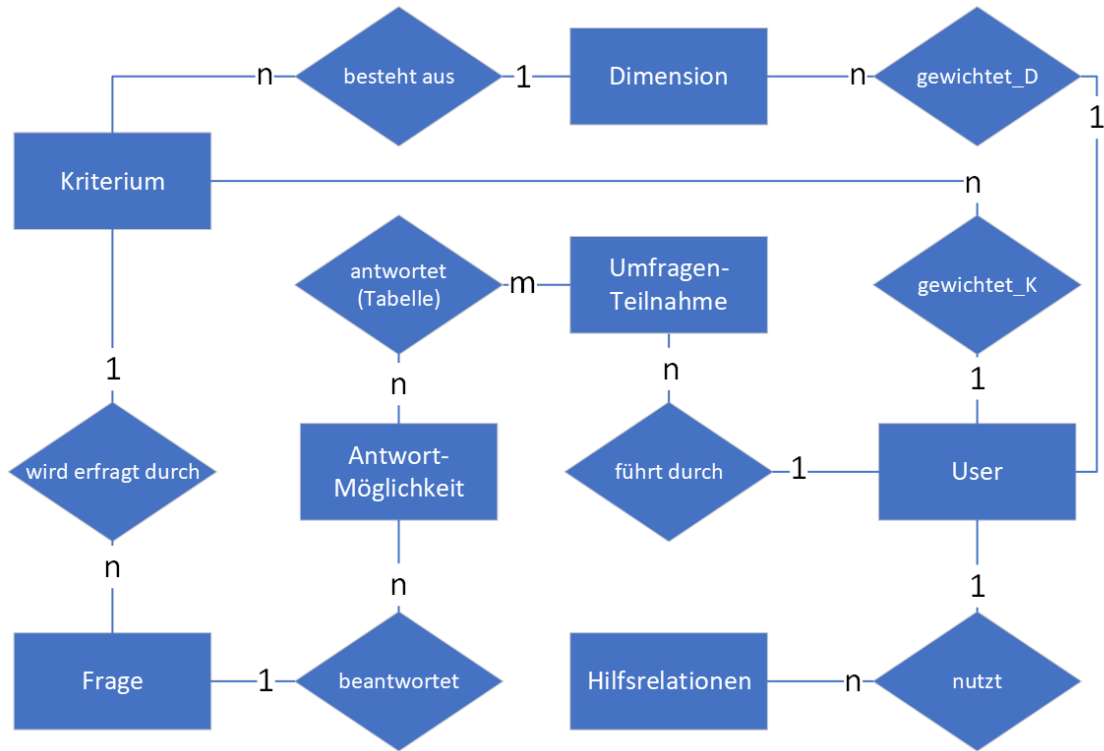
## 6.2 Zweiter Designzyklus

In diesem Unterkapitel wird der zweite Designzyklus erarbeitet. Zuerst werden die grundlegenden Konzepte, welche hinter dem Evaluierungstools stehen, beschrieben. In einem weiteren Schritt wird ein detaillierter Einblick in die Umsetzung gegeben. Zuletzt wird das entstandene Artefakt getestet.

### 6.2.1 Konzeptionierung der Software

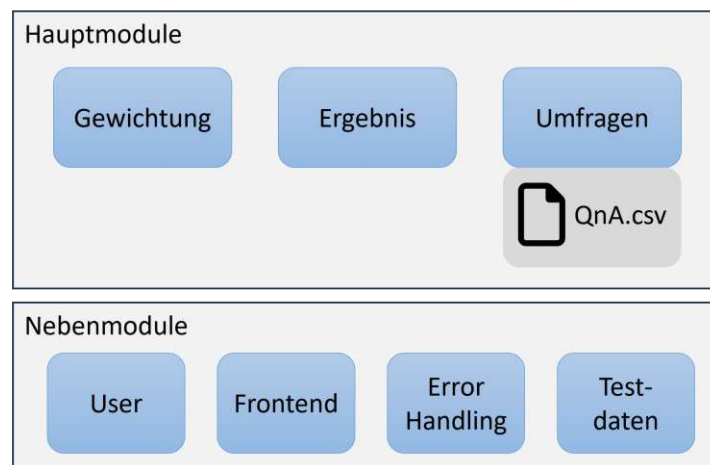
Diese Iteration des Designzyklus baut auf der vorherigen auf. Die Erfahrungen, welche mit dem Evaluierungsverfahren des Prototyps gesammelt wurden, werden im Evaluierungstool genutzt. Um diese Synergieeffekte zu nutzen, wird in dieser Iteration dasselbe Evaluierungsverfahren zur Anwendung kommen. Neben der Umsetzung des multikriteriellen Evaluierungsverfahrens ist der webbasierte Charakter des Tools ein zentrales Konzept, auf dem alle weiteren Konzepte aufbauen. Nutzenden soll durch die Eingabe einer URL und die Verwendung eines internetfähigen Endgeräts der Zugang zur Evaluierungslösung ermöglicht werden.

Um ein besseres Verständnis dafür zu bekommen, wie die Softwarelösung aufzubauen ist, um ein multikriterielles Evaluierungsverfahren in einer webbasierten Lösung zu realisieren, wurde ein Entity-Relationship-Modell (ERM) entworfen. Die endgültige Version dieses ERM wurde durch mehrere Revisionen erarbeitet und ist in Abbildung 6.1 zu finden. Neben dem bereits genannten Mehrwert des besseren Verständnisses, ist die Grundidee das Erstellen eines Schaubildes, welches die in der Datenbank vorkommenden Relationen (=Tabellen) und deren Verbindung (=Assoziation) zueinander darstellt. Tabellen werden durch Rechtecke und deren Assoziationen durch Rauten symbolisiert. Alle bis auf eine Verbindung haben eine sogenannte "1 zu n" oder "1:n" Multiplizität, was bedeutet, dass genau ein Eintrag einer Tabelle mit mehreren Einträgen der anderen Tabelle in Verbindung steht. Am Beispiel der Nutzenden (User) und Umfrageteilnahme bedeutet das, dass jede Nutzer:in mehrere Umfrageteilnahmen durchführen kann, aber jede Umfrageteilnahme zu genau einer Nutzer:in gehört. 1:n-Beziehungen haben den Vorteil, dass sie durch einfache Fremdschlüsseinschränkungen umgesetzt werden können. Im Falle der n:m-Beziehung zwischen den Tabellen "Umfrageteilnahme" und "Antwortmöglichkeit" muss eine sogenannte Assoziationstabelle erstellt werden, um die Beziehung abbilden zu können. Um das Relationenschema möglichst einfach zu halten, wurden 1:n-Beziehungen bevorzugt. Eine einfache Lösung für diese Umsetzungsart ist die Verbindung der Tabelle "User" mit allen anderen Tabellen. Diese Beziehungen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht im ERM eingezeichnet. Das so vorliegende ERM besteht somit aus sechs Relationen, einer Assoziationsrelation und einer Reihe von Hilfsrelationen, die aus Gründen der Übersichtlichkeit im Modell zu einem Rechteck zusammengefasst wurden. Die Hilfstabellen werden benötigt, um gewisse Funktionalitäten im Evaluierungstool realisieren zu können.



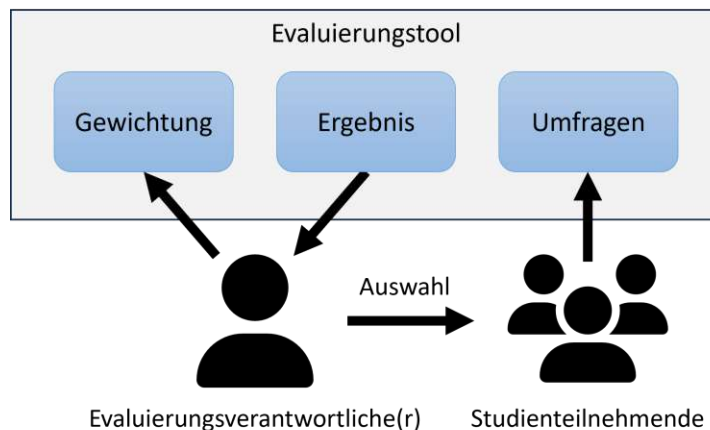
**Abbildung 6.1:** Entity-Relationship-Modell des Evaluierungstools

Aus dem ERM leiten sich die Module der Softwarelösung ab. Diese sind in Abbildung 6.2 dargestellt. Im Vergleich zu den Modulen des Prototyps (vgl. Abbildung 5.5) kommt im Evaluierungstool ein Umfragenmodul vor, welches stark von einer CSV-Datei abhängt. Im Gegensatz dazu ist es nicht mehr nötig, Werte von einer Softwarelösung zur anderen zu importieren, weshalb kein "Werte importieren" Modul in dieser Lösung vorkommt. Das Kriterienmodul des Prototyps wird in der eigenprogrammierten Lösung vollständig vom Ergebnismodul übernommen. Es kommen eine Reihe von Nebenmodulen zum Einsatz, welche durch die komplexere Softwarearchitektur zu begründen sind.



**Abbildung 6.2:** Modularer Aufbau des Evaluierungstools

In einem nächsten Schritt werden die Hauptmodule erweitert, um zu zeigen, welche unterschiedlichen Nutzer:innengruppen das Evaluierungstool verwenden. Dies ist in Abbildung 6.3 zu sehen. Für ein besseres Verständnis wird im Folgenden der mögliche Ablauf einer Evaluierung mit dem Evaluierungstool beschrieben. In diesem Beispiel wird davon ausgegangen, dass ein Betrieb einen geeigneten Anwendungsfall ausgewählt hat, der potenziell durch die Einführung eines AR/VR-Systems verbessert werden kann. Außerdem liegt zumindest eine Ausführung dieses Systems vor, welche für Tests zur Verfügung steht. Die für die Evaluierung verantwortliche Person erstellt das Nutzendenkonto im Tool und führt die Gewichtung der Dimensionen und Kriterien durch. Sie wählt außerdem die geeignete Personengruppe aus, welche die Umfragen durchführt. Die Auswahl der Personen ist von der zu evaluierenden Dimension abhängig. Ist die Dimension "Anwender:in" zu evaluieren, sind vorzugsweise Personen auszuwählen, welche die AR/VR-Anwendung im Betrieb anwenden. Die oder der Evaluierungsverantwortliche teilt die Teilnehmer:innen in zwei möglichst gleich große Gruppen. Dies dient der Fallunterscheidung. Eine Gruppe testet das neue AR/VR-System, die andere fungiert als Kontrollgruppe und durchläuft den Prozess im Ist-Zustand. Nachdem die Probanden und Probandinnen den Prozess unter der Anleitung der für die Evaluierung verantwortlichen Person durchgeführt haben, öffnet diese für jede Teilnehmer:in die richtige Umfrage und lässt diese durchführen. Nachdem die Fragebögen ausgefüllt sind, hat die bzw. der Evaluierungsverantwortliche Zugriff auf die Ergebnisse.

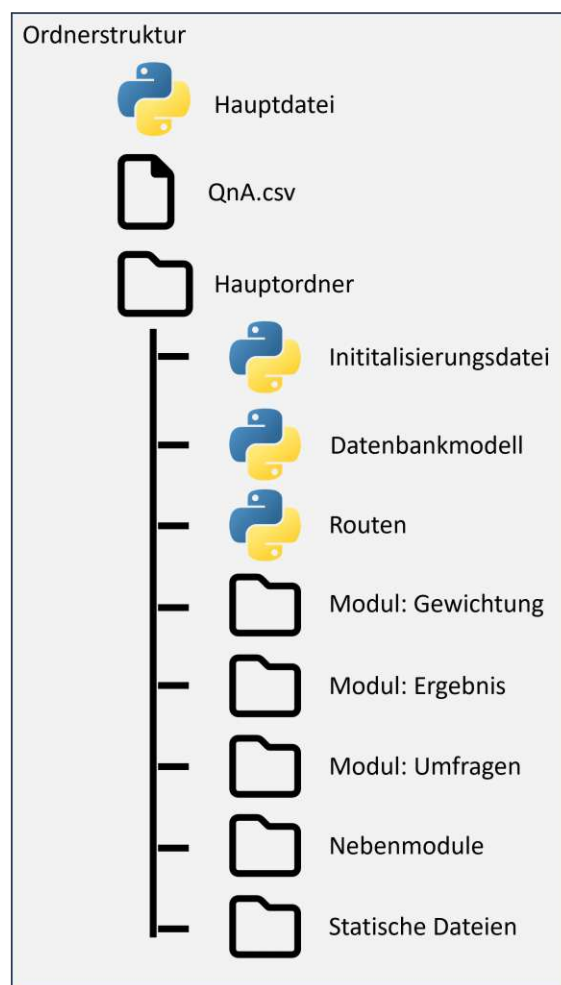


**Abbildung 6.3:** Nutzer:innengruppen des Evaluierungstools

Weitere Konzepte, die bei der Umsetzung realisiert werden sollen, sind der DSGVO-konforme Umgang mit Daten, eine einfache Navigation durch das Tool mittels Navigationsleiste, die Zurverfügungstellung zusätzlicher Informationen und die Verbesserung der qualitativen Erhebung durch eine Anleitung zur Auswertung. Die in diesem Unterkapitel vorgestellten Konzepte werden im folgenden umgesetzt.

## 6.2.2 Umsetzung der Software

Im Folgenden werden der grundsätzliche Aufbau und die Arbeitsweise der Software beschrieben. Beides ist maßgeblich durch das verwendete Framework (Flask) geprägt. Abbildung 6.4 zeigt die grundlegende Ordnerstruktur des Evaluierungstools. Python-Dateien sind mit einem Python-Logo symbolisiert, andere Dateien durch ein Dokumentensymbol und Ordner durch ein Ordnersymbol. Die Hauptdatei ist der Startpunkt der Entwicklung und ermöglicht das Aufrufen der Applikation. Die CSV-Datei "QnA.csv" spielt eine zentrale Rolle in der Durchführung des Evaluierungsverfahrens und beinhaltet alle Frage und deren Antwortmöglichkeiten. Jede Frage enthält außerdem die Information darüber, welcher Dimensionen, welchem Kriterium und welchem Fall sie zugeordnet ist. Jeder Antwortmöglichkeit sind Informationen beigefügt, welche für die Auswertung benötigt werden.



**Abbildung 6.4:** Grundlegende Ordnerstruktur des Evaluierungstools

Das in Abbildung 6.1 gezeigte ERM wurde in die Datei des Datenbankmodells überführt, auf die zu einem späteren Zeitpunkt näher eingegangen wird. Wird die Anwendung zum ersten Mal ausgeführt, werden anhand dieser Datei die Relationen der Datenbank erstellt. Routen spiegeln die anzuzeigenden Seiten einer webbasierten Anwendung wieder. Wird das Evaluierungstool durch eine URL ohne weitere Endung

aufgerufen, landen Nutzende auf der Startseite der Anwendung. Ein Beispiel für eine solche URL, samt dem zu verwendenden Sicherheitsprotokoll, sieht wie folgt aus: "https://www.evaluiierungstool.at". Dies wird als "Home-Route" bezeichnet. Für alle weiteren Seiten wird an die URL eine Endung nach dem letzten "/" angehängt. Ein Beispiel hierfür ist "https://www.evaluiierungstool.at/impressum". Um diese Funktionalität von Internetanwendungen abzubilden, werden in Flask Funktionen erstellt, die aufgerufen werden, wenn die ihnen zugeteilte Route aufgerufen wird. Für Seiten, welche funktional keinem Modul zuordenbar sind, wie der Home-Route oder dem Impressum, sind diese Funktionen in der Routendatei direkt im Hauptordner gespeichert (siehe Abbildung 6.4). Die funktional gruppierten Module aus Abbildung 6.2 sind durch Unterordner im Hauptordner realisiert. Im Ordner für statische Dateien sind die Ergebnisplots und andere statische Dateien, wie z.B. CSS-Files gespeichert.

Der Hauptordner und die Modulordner fungieren programmiertechnisch als Bibliotheken, welche von anderen Dateien importiert werden können. Alle Module bestehen aus mindestens drei Dateien: einer Initialisierungs-, einer Funktionen- und einer Routendatei. In der Funktionendatei sind alle Funktionen definiert, welche vom Modul benötigt werden. Die Routendatei enthält die speziellen Routenfunktionen, welche wie im Hauptordner ausgeführt werden, wenn die ihnen zugeteilte URL aufgerufen wird. Diese Routenfunktionen rufen Funktionen der Funktionendatei auf und leiten Nutzende zu den richtigen Routen weiter, wenn die entsprechenden Nutzendeneingaben getätigt wurden.

Die bereits erwähnte Modellierung der Datenbank und ihrer Relationen spielt eine zentrale Rolle im Evaluierungstool, weshalb hier ein grober Überblick über dessen Aufbau gegeben wird. Die Grundstruktur wird vom gewählten Framework Flask vorgegeben. Dieses ist mit einer Unterbibliothek namens "Flask-SQLAlchemy" kombinierbar, welche die einfache Integration der Bibliothek "SQLAlchemy" in eine Flask-Anwendung ermöglicht. "SQLAlchemy" wiederum ist ein Framework, durch dessen Anwendung die Datenbanksprache SQL in Python-Code umgesetzt werden kann. Relationen werden in diesem Framework durch die Erstellung von Klassen realisiert. Wie bereits in Abbildung 6.1 gezeigt, sind die meisten Verbindungen zwischen Tabellen durch eine 1:n-Beziehung bestimmt. Um eine 1:n-Beziehung abzubilden, wird in der Kindtabelle eine Spalte angelegt, die mit einem Fremdschlüssel auf eine Spalte der Elternteiltabelle verweist. Um die n:m-Beziehung zwischen den Tabellen "Umfrageteilnahme" und "Antwortmöglichkeit" abzubilden, wurde die Assoziationstabelle "antwortet" entworfen. In diesem Fall sind die Spalten mit den Fremdschlüsseln in der Assoziationstabelle vorgesehen.

Um ein tieferes Verständnis dafür zu schaffen, wie das Evaluierungstool umgesetzt wurde, wird im Folgenden dessen Arbeitsweise bei der Durchführung einer Evaluierung beschrieben. Erstellt eine Nutzer:in ein Konto im Evaluierungstool, werden die Nutzer:inneneingaben in der Tabelle "User" gespeichert, wobei das Passwort nur als Hash in der Datenbank hinterlegt ist. Dies geschieht durch den Hash-Algorithmus "SHA256". Um nutzer:innenspezifische Bewertungen zu ermöglichen, werden für jede Nutzer:in eigene Einträge in den Tabellen "Dimension" und "Kriterium" erstellt. Für die Gewichtungen der Dimensionen und Kriterien werden in dieser Iteration des Designzyklus bei der Erstellung eines neuen Kontos keine Werte in die Relation einge-

tragen. Dies spiegelt das Verhalten des Prototyps wieder. Bei der Erstellung der Einträge für die Tabellen "Frage" und "Antwortmöglichkeit" wird auf die Datei "QnA.csv" zugegriffen, welche in den Abbildungen 6.4 und 6.2 symbolisiert ist. Diese enthält alle Parameter, die benötigt werden, um die Tabellen zu befüllen und die multikriterielle Evaluierung durchzuführen.

Nach der erfolgreichen Kontoerstellung, werden Nutzende zur Home-Route weitergeleitet. Auf dieser sind Informationen darüber zu finden, wie eine Evaluierung mit Hilfe des Tools durchzuführen ist. Durch die Navigationsleiste haben Nutzende die Möglichkeit, zu den Hauptmodulen "Gewichtung", "Ergebnis" und "Umfragen" zu wechseln, oder sich abzumelden. Das Gewichtungsmodule des Evaluierungstools ist in Abbildung 6.5 zu sehen. Nutzende führen hier die paarweisen Vergleiche durch. Durch das Anwählen eines Radioknopfes wird gewählt, welche der beiden Optionen wichtiger ist, oder ob beide gleich wichtig sind. Im darauf folgenden aufklappbaren Menü wird die Wichtigkeit auf einer Skala von 2 bis 9 angegeben. Nachdem alle Dimensionen und Kriterien gegeneinander verglichen wurden, werden die Angaben durch das Drücken eines Knopfes am Ende der Seite an das Backend weitergeleitet. Im Backend werden erst die Nutzer:inneneingaben in einer Hilfsrelation (siehe Abbildung 6.1) gespeichert. Anschließend werden die Eingaben verarbeitet, um die Gewichtungsfaktoren und Konsistenzindizes zu berechnen. Sind die Indizes kleiner als 0.1, werden die Faktoren in der Datenbank aktualisiert. Andernfalls wird eine Warnung angezeigt, die die Nutzenden darüber informiert, welche Konsistenzindizes den Schwellwert überschreiten. In diesem Fall werden die Gewichtungsfaktoren nicht in der Datenbank gespeichert. Die Nutzer:inneneingaben werden in jedem Fall gespeichert, damit diese beim erneuten Aufrufen der Seite angezeigt werden und die Eingabe nicht in allen Feldern von vorne begonnen werden muss.

**Gewichtung**  
Gewichten Sie die folgenden Dimensionen

Anwender:in vs Kundin/Kunde

Anwender:in wichtiger  
 gleich wichtig  
 Kundin/Kunde wichtiger

Wie viel wichtiger ist die gewählte Dimension gegenüber der anderen?

9 (sehr viel wichtiger)

Anwender:in vs Mitarbeiterin

Anwender:in wichtiger  
 gleich wichtig  
 Mitarbeiterin wichtiger

Wie viel wichtiger ist die gewählte Dimension gegenüber der anderen?

9 (sehr viel wichtiger)

**Abbildung 6.5:** Gewichtungsmodule des Evaluierungstools

Die erste Seite des Umfragenmoduls ist in Abbildung 6.6 gezeigt. Nutzende haben die Möglichkeit zwischen den Umfragen der beiden Fälle zu entscheiden. Da sich die Umfrage zur Dimension "Lernen und Entwickeln" an das Management eines Betriebs richtet, ist der dazugehörige Knopf mit der Aufschrift "Management" beschriftet. Außerdem handelt es sich um eine Umfrage, welche den Ist-Zustand mit dem Soll-Zustand vergleicht, weshalb die Umfrage nur für den Fall "Assistenzsystem" zur Verfügung steht. Im Prototyp hieß dieser Fall noch Fall 1, welcher zugunsten des besseren Verständnisses umbenannt wurde. Durch das Starten einer Umfrage, werden Nutzende erst zu einer allgemein gehaltenen DSGVO-Erklärung für Studienteilnehmende weitergeleitet. Diese dient den Evaluierungsverantwortlichen als Startmöglichkeit, um ihre Studienteilnehmer:innen über ihre Rechte im Bezug auf den Datenschutz aufzuklären. Verantwortliche sind dazu angehalten, eine für ihre Studie spezifische Erklärung zu ergänzen. Ab diesem Zeitpunkt, bis zum Ende der Umfrage wird das Tool von den Studienteilnehmenden genutzt. Nach der DSGVO-Erklärung für die Studienteilnehmenden folgt die ausgewählte Umfrage. Eine Seite einer dieser Umfragen ist im Anhang in Abbildung A.1 zu sehen. Es müssen alle Fragen beantwortet werden, um durch einen Klick auf den Weiter-Knopf zur nächsten Seite der Umfrage zu gelangen. Nachdem alle Fragen der letzten Umfragenseite beantwortet und bestätigt wurden, werden Nutzende zurück zur Startseite des Umfragenmoduls weitergeleitet.



**Abbildung 6.6:** Startseite des Umfragenmoduls im Evaluierungstool

Im Backend werden mit dem Auswählen einer Umfrage die Dimension und der Fall dieser in einer sogenannten Session gespeichert. Die DSGVO-Erklärung ist für alle Umfragen gleich. Nachdem sie verarbeitet wurde, werden die Informationen aus der Session verwendet, um jene Umfrage aufzurufen, welche auf der Startseite des Umfragenmoduls ausgewählt wurde. Der Algorithmus, welcher zur Anwendung kommt, um die richtigen Fragen und Antwortmöglichkeiten anzuzeigen, ist im Pseudocode 6.1 zu sehen. Zuerst werden alle Kriterien der nutzenden Person angezeigt, welche zur entsprechenden Dimension und dem entsprechenden Fall gehören. Es wird also nach drei Parametern gesucht: (1) Nutzenden-ID, (2) Dimensionsbezeichnung und (3) Fallbezeichnung. Anschließend werden durch die Fremdschlüsselbeziehungen alle Fragen und Antwortmöglichkeiten zu den entsprechenden Kriterien aus der Datenbank abgefragt. Die Gruppierungen aus "Kriterium", "Frage" und "Antwortmöglichkeit" werden in der Session gespeichert. Im Frontend wird nacheinander eine dieser Grup-

pierungen angezeigt. Mit jedem Klick auf den Weiter-Knopf wird eine Gruppierung aus der Session entfernt. Wenn keiner dieser Einträge mehr in der Session vorhanden ist, ist die Umfrage beendet und die Nutzenden werden zur Startseite des Umfragenmoduls weitergeleitet.

---

**Pseudocode 6.1:** Fragen und Antwortmöglichkeiten für Umfragen anzeigen

---

**Input:** UserID, Dimensionsbezeichnung, Fallbezeichnung

```
// Finde alle Fragen und Antwortmöglichkeiten
1 Durchsuche Datenbank nach Kriterien bzgl. Input;

2 Initialisiere Variable(Dict);

3 for alle Kriterien do
4   finde alle zugehörigen Fragen;
5   for alle Fragen do
6     finde alle zugehörigen Antwortmöglichkeiten;
7   Speichere Kriterium, Fragen und Antwortmöglichkeiten in Dict;

8 Übergib Dict an Session;

// Starte Anzeige der Umfrage
9 for Einträge in Session do
10  Übergib die Fragen und Antwortmöglichkeiten an das Frontend;
11  Entferne gerade verwendete Einträge aus der Session;
```

---

Um die gegebenen Antworten in der Datenbank zu speichern, wird mit dem Start der Umfrage ein Eintrag in der Tabelle "Umfrageteilnahme" erstellt. Danach wird für jede gegebene Antwort ein Eintrag in der Assoziationstabelle "antwortet" gespeichert, welcher jeweils auf einen Eintrag der Tabellen "User", "Umfrageteilnahme" und "Antwortmöglichkeit" mittels Fremdschlüssel verweist. Somit kann für alle Nutzenden festgestellt werden, welche Antworten insgesamt gegeben wurden.

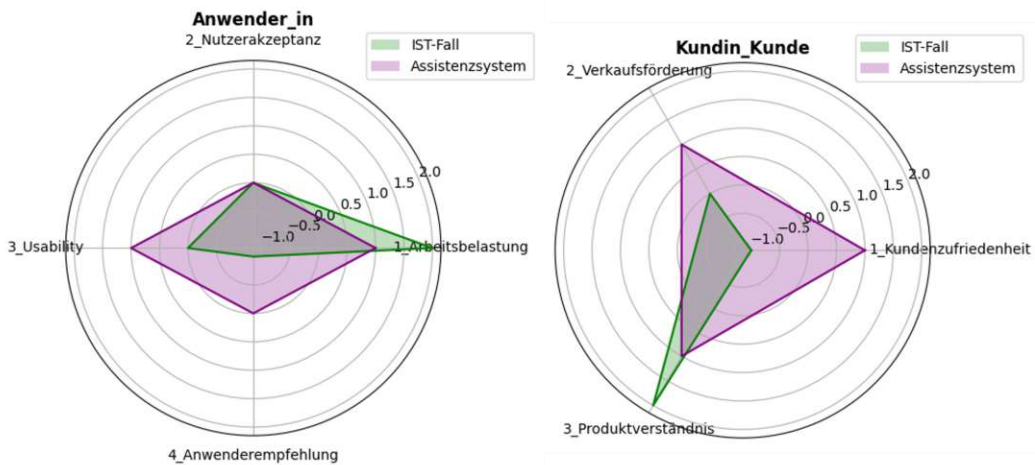
Nachdem die Gewichtungen und Umfragen durchgeführt wurden, erhalten Nutzende Zugriff zu den berechneten Ergebnissen. Ohne der Anwendung der beiden vorhergehenden Module sind die Ergebnisse zwar aufrufbar, aber teilweise oder vollständig leer. Abbildung 6.7 zeigt die tabellarische Ergebnisdarstellung im Evaluierungstool. Es ist ein ähnlicher Aufbau wie im Ergebnismodul des Prototyps zu erkennen (siehe Abbildung 5.9). In den ersten beiden Spalten sind die Dimensionen und deren Kriterien aufgetragen. Die nächste Spalte bildet die Gesamtgewichtung des Kriteriums ab. Darauffolgend sind die beiden Fälle dargestellt, der "Ist-Fall" und der "Fall Assistenzsystem". Für jeden dieser wird in einer Spalte für jedes Kriterium die errechnete Auswertung in der Skala von -2 bis +2 und in einer zweiten Spalte die gewichtete Auswertung dargestellt. Um in dieser Iteration des Designzyklus der Anforderung einer grafischen Ergebnisdarstellung gerecht zu werden, sind im Evaluierungstool Ra-



radialdiagramme dargestellt. Diese werden für alle Dimensionen erstellt, welche aus zumindest drei Kriterien bestehen. Die Diagramme für die Dimension "Anwender:in" und "Kundin/Kunde" sind in Abbildung 6.8 zu sehen. Für jedes Kriterium ist eine Achse im Diagramm vorgesehen.

Dimension	Kriterium	Gesamt-gewichtung	IST-Fall		Fall Assistenzsystem	
			Auswertung (-2 bis +2)	Auswertung Gewichtung	Auswertung (-2 bis +2)	Auswertung Gewichtung
<b>Anwender_in</b>	1_Arbeitsbelastung	0.106	2.0	0.213	1.0	0.106
	2_Nutzerakzeptanz	0.066	None	None	0.0	0.0
	3_Usability	0.04	None	None	1.0	0.04
	4_Anwenderempfehlung	0.013	-1.0	-0.013	0.0	0.0
<b>Kundin_Kunde</b>	1_Kundenzufriedenheit	0.091	-1.0	-0.091	1.0	0.091
	2_Verkaufsförderung	0.047	0.0	0.0	1.0	0.047
	3_Produnktverständnis	0.439	2.0	0.878	1.0	0.439
<b>Mitarbeiter_in</b>	1_Mitarbeiterbindung	0.029	0.0	0.0	2.0	0.058
	2_Mitarbeiterempfehlung	0.013	-1.0	-0.013	0.0	0.0
	3_Mitarbeiterzufriedenheit	0.033	1.0	0.033	0.0	0.0
<b>Lernen_Entwickeln</b>	1_Qualifikation	0.122	1.0	0.122	2.0	0.244

**Abbildung 6.7:** Tabellarische Ergebnisdarstellung im Evaluierungstool



**Abbildung 6.8:** Grafische Ergebnisdarstellung mittels Radardiagrammen

In dieser Iteration des Designzyklus wurde die Aufbereitung der qualitativen Fragen verbessert. Deren Darstellung ist im Anhang in Abbildung A.2 zu sehen. Es wird erst

nach den Dimensionen, dann nach den Fällen sortiert. Für jeden Fall einer Dimension werden anschließend alle qualitativen Fragen erneut dargestellt. Die Antworten, welche auf diese Fragen gegeben wurden, werden in einer Auflistung dargestellt. Zusätzlich wird am Anfang der Seite eine Anleitung zur Verfügung gestellt, wie die gegebenen Antworten auszuwerten sind. Rufen Nutzende das Ergebnismodul auf, werden im Backend Funktionen aufgerufen, welche die Berechnung der Ergebnisse durchführen. Da das multikriterielle Evaluierungsverfahren nicht im Fokus dieser Arbeit steht, sondern dessen Umsetzung, sei an dieser Stelle nur erwähnt, dass Kriterien unterschiedlich ausgewertet werden. Kriterien lassen sich allerdings dimensionsunabhängig in Gruppen zusammenfassen. Die Kriterien einer dieser Gruppen folgen demselben Auswertungsschema. In Pseudocode 6.2 ist die Vorgehensweise der aufgerufenen Funktionen zur Berechnung der Ergebnisse zu sehen.

---

### **Pseudocode 6.2:** Berechnung der Ergebnisse

---

**Input:** UserID, Kriterienbezeichnungen, Fallbezeichnungen

```

1 for alle Kriterien do
2   if Kriterium in Gruppe 1 then
3     | Rufe Berechnungsfunktion für Gruppe 1 auf;
4   else if Kriterium in Gruppe 2 then
5     | Rufe Berechnungsfunktion für Gruppe 2 auf;

// Schema der Berechnungsfunktionen
6 Function Berechnungsfunktion_1(UserID, Kriterium, Fall):
7   | Durchsuche Datenbank nach fallbezogenem Kriterium;
8   | Durchsuche Datenbank nach allen gegebenen Antworten;
9   | Berechne Methodenergebnis;
10  | Rufe Skalakonvertierungsfunktion auf;

// Schema der Skalakonvertierungsfunktion
11 Function Skalakonvertierungsfunktion_1(e = Methodenergebnis):
12  | if  $e \geq \text{Grenzwert}_1$  then
13    | Auswertung = 2;
14  | else if  $\text{Grenzwert}_1 \geq e \geq \text{Grenzwert}_2$  then
15    | Auswertung = 1;
16  | else if  $\text{Grenzwert}_2 \geq e \geq \text{Grenzwert}_3$  then
17    | Auswertung = 0;
18  | else if  $\text{Grenzwert}_3 \geq e \geq \text{Grenzwert}_4$  then
19    | Auswertung = -1;
20  | else
21    | Auswertung = -2;
22  | Speichere Auswertung in Datenbank;
  
```

---

Im gezeigten Pseudocode wird dargestellt, dass zur Berechnung der Ergebnisse für jede Auswertungsgruppe eine eigene Funktion ausgeführt wird. Alle Berechnungsfunktionen haben gemein, dass erst das Kriterium (abhängig vom Fall und der Identifikationsnummer der Nutzenden) abgefragt wird, gefolgt von den gegebenen Antworten aus der Datenbank. Die in Zeile 9 angedeutete Berechnung des Methodenergebnisses unterscheidet sich je nach Auswertungsgruppe. Dieses Zwischenergebnis wird an die nächste Funktion weitergegeben, welche den ermittelten Wert (z.B. den Mittelwert) in einen ganzzahligen Wert zwischen -2 und +2 umwandelt. Diese Funktion wird im Pseudocode als Skalakonvertierungsfunktion bezeichnet. Das gezeigte Schema zur Ermittlung ist nur als veranschaulichendes Beispiel gedacht. Die konkrete Umsetzung ist von der jeweiligen standardisierten Methodik abhängig. Der ermittelte Wert auf der Skala wird anschließend in der Datenbank gespeichert.

Mit der Betrachtung der Ergebnisse haben Nutzende alle Hauptfunktionalitäten des Evaluierungstools genutzt, um eine multikriterielle Evaluierung eines AR/VR-Systems durchzuführen. Der während der Umsetzung entstandene Code wurde anschließend über einen Hosting-Provider auf einem Webserver installiert, um das Tool online zur Verfügung zu stellen. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich die vom Provider genutzten Server in der EU befinden. Konkret handelt es sich um Server von AWS, welche in Frankfurt Deutschland stehen. Diese Maßnahme dient dem Datenschutz und um Nutzenden des Tools die Bedenken zu nehmen, dass Daten durch unsichere Umstände in Ländern mit niedrigeren Sicherheitsstandards gestohlen werden. An dieser Stelle lassen sich die beiden Fragen beantworten, welche während der Befragung der Industrievertretenden aufgetreten sind: (1) In welcher Form werden Mitarbeiter:innen befragt? (2) Wo werden die Daten gespeichert? Mitarbeiter:innen werden durch Onlineumfragen direkt im Evaluierungstool befragt. Die Daten werden auf den eben beschriebenen Servern gespeichert. Im nächsten Unterkapitel wird das entstandene Artefakt getestet.

### 6.2.3 Testen des zweiten Artefakts

Um diese Iteration des Designzyklus zu evaluieren, wurden Tests mit den Kolleginnen und Kollegen, der TU Wien, die Teil des IMPACT-sXR-Projektteams waren, durchgeführt. Den Testenden ist der Zugang zum Tool ermöglicht worden. Ihnen ist die Aufgabe gegeben worden, die Funktionalitäten des Tools selbstständig zu testen, eventuell auftretende Fehler zu melden und Verbesserungsvorschläge zu machen. Es ist ein Excel-basiertes Formular entworfen worden, in welchem die Tests dokumentiert wurden. Dieses Formular ist in Abbildung 6.9 zu sehen. Es ist in zwei Teile unterteilt: Fehlermeldungen (oben), Verbesserungswünsche (unten). Im oberen Teil waren Fehlermeldungen einzutragen, welche während des Testens aufgetreten sind. Diese wurden weiter unterteilt in Fehler, die zum Absturz der Anwendung führen, wie z.B. ein "General Server Error (500)" und jene, die durch unerwartetes Verhalten der Software aufgetreten sind. Die Testenden haben das Datum, die Uhrzeit, die getätigten Aktionen vor dem Auftreten des Fehlers und die Fehlermeldung dokumentiert. Im Bereich der Verbesserungsvorschläge des Formulars wurde von den Testenden zwischen Funktionalitätsvorschlägen und Vorschlägen zur besseren Darstellung der Inhalte unterschieden. Ebenfalls wurde eine persönliche Priorisierung der Vorschläge

und eine Beschreibung dokumentiert. Beide Teile des Formulars haben gemein, dass die Umsetzung der Einträge in der letzten Spalte gekennzeichnet wurde, sobald diese erfolgt ist (siehe Unterkapitel 6.3). Insgesamt sind vier Fehlermeldungen in dieser Testphase aufgetreten, wovon einer zu einem Absturz der Software geführt hat und die anderen durch unerwartetes Softwareverhalten dokumentiert wurden. Im Bereich der Verbesserungsvorschläge sind sieben Vorschläge zur Funktionalität dokumentiert worden, von denen 8 mit hoher Priorität und einer mit mittlerer eingestuft wurde. Es sind drei Vorschläge zur besseren optischen Darstellung der Inhalte eingelangt, wovon alle mit niedrigerer Umsetzungspriorität eingestuft wurden.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Art	Datum	Uhrzeit	Wie kam es zum Error?	evtl vorhandene Error-Message		fixed?
4	Beispiele	General Server Error 500			Ich war auf der Seite "Gewichtung" habe das Formula ausgefüllt, auf "Submit Changes" geklickt, dann kam der Error.		
5	ab hier Reports	General Server Error (500)	07.08.2023	15:57	Ich war auf der Seite und habe "Umfrage starten" angeklickt, dann beim Fall 1 auf Management, danach bin ich dahin gekommen	General Server Error (500) Bitte berichten Sie uns, wie es zu diesem Error gekommen ist. Report at: andre.gundinger@tuwien.ac.at Error Error Message: 500 Internal Server Error: The server encountered an internal error and was unable to complete your request. Either the server is overloaded or there is an error in the application.	ja
6		Anderer Error	23.08.2023	08:58	"Konsistenzindex": Fehlermeldung kam viermal das gleiche (Dimensionen: 0.14, Kriterium Anwender:in: 0.9, Kriterium Kundin/Kunde: 0.17, Kriterium Mitarbeiter:in: 0.53)	"Der Konsistenzindex folgender Gewichtung(en) ist zu groß:"	ja
7		Anderer Error	25.08.2023	10:00	1_ Qualifikation fängt mit einer auswertung von -2 an ohne, dass daten erhoben wurden		ja
8		Anderer Error	25.08.2023	10:00	2_ Verkaufsförderung und 3_ Produktverständnis zeigen eine auswertung von -2 an ohne, dass daten erhoben wurden		ja
16		Verbesserungsvorschläge	Prio	Beschreibung			fixed?
18	Beispiele	Funktionalitätswunsch Design/ Optischer Wunsch	Hoch Mittel				
21	ab hier Reports	Funktionalitätswunsch	Hoch		T: Mir fehlt der Fluss durch, ich kenn mich nicht ganz aus, wann ich was machen muss -> User Journey ergänzen		ja
22		Funktionalitätswunsch	hoch		T: Übersicht von Fragebogen mit gleicher Frage zum Start und nur 1 Wort anders zum Schluss (Screenshots WA)		ja
23		Design/ Optischer Wunsch	niedrig		T: Bei der Gewichtung wär gut, wenn der Standardwert mittig ist (derzeit auf 9 eingestellt)		ja
24		Design/ Optischer Wunsch	Niedrig		T: Bei der Gewichtung wär gut, wenn es einen Button mit gleichverteilter Gewichtung gibt. Dann kommt eine Standardgewichtung zum Einsatz		ja
25		Design/ Optischer Wunsch	Niedrig		T: Bei Gewichtung wär gut, wenn die einzelnen Kriterien und Dimensionen erklärt werden		ja
26		Funktionalitätswunsch	mittel		T: Die Einheit bei der Frage "Wie lange dauert die tatsächliche Einschulungszeit, bis die einzulernende Person tatsächlich vollständig selbst arbeiten kann, für den jetzt		ja
27		Funktionalitätswunsch	hoch		T: Ergebnis muss erklärt werden, sonst versteht man es nicht		ja

**Abbildung 6.9:** Formular zur Dokumentation der Tests im zweiten Designzyklus

Nachdem die internen Tests durchgeführt wurden, erfolgt ein Abgleich mit dem Anforderungskatalog aus Tabelle 4.1. Das multikriterielle Verfahren wird von der Software umgesetzt. Die von der Literatur hervorgehobenen Evaluierungskriterien sind vertreten. Qualitative Merkmale werden durch semistrukturierte Fragen abgefragt. Alle quantitativen Kriterien werden durch standardisierte Fragebögen evaluiert. Ein Fallvergleich zwischen einem Ist-Zustand und einer AR/VR-Anwendung ist möglich. Die Ergebnisdarstellung erfolgt durch die Ausgabe einer Punktezahl, zielgruppenorientiert für Evaluierungsverantwortliche und grafisch durch die Radardiagramme. Allerdings weist ein Verbesserungsvorschlag bezüglich der Funktionalität des Tools darauf hin, dass die Ergebnisse nicht näher erklärt werden. Die Anforderung an zusätzliche Informationen ist damit durch diese Iteration des Designzyklus nicht erfüllt. Der DSGVO-konforme Umgang mit den Daten ist durch die Auswahl geeigneter Server begünstigt. Eine weitere Prüfung ist allerdings ausständig. Die Software arbeitet webbasiert, was die Zugänglichkeit und Benutzer:innenfreundlichkeit fördert. Die Anforderung nach einer hohen Benutzer:innenfreundlichkeit wurde nur teilweise erfüllt. Die projektinternen Tests haben in diesem Bereich einige Lücken aufgezeigt, welche in einem weiteren Iterationsschritt geschlossen werden (siehe Unterkapitel 6.3). Das Evaluierungstool ist modular umgesetzt und anwendbar. Für dessen Anwendung ist keine Installation erforderlich. Die einzelnen Funktionen sind binnen einstelliger Sekunden umsetzbar, was für eine geringe Reaktionszeit spricht. Es wurden etablierte Frameworks wie Flask, SQLAlchemy und Bootstrap verwendet, um den Fokus auf die Umsetzung des

multikriteriellen Evaluierungsverfahrens zu setzen. Die Anforderungen, welche mit einer niedrigen Priorität eingestuft wurden, sind nicht umgesetzt worden. Diese werden im nächsten Iterationsschritt nicht verfolgt, da der Aufwand für deren Umsetzung als überdurchschnittlich hoch eingestuft wird und diese Eigenschaften nicht wesentlich zur Beantwortung der Forschungsfrage beitragen. Tabelle 6.1 zeigt jene Anforderungen an die Software des dritten Designzyklus, welche im nächsten Unterkapitel umgesetzt werden.

**Tabelle 6.1:** Anforderungen an das Artefakt des dritten Designzyklus

V/S	Anforderung	Beschreibung	Priorität
V+S	bereits erfüllte Anforderungen	die Lösung soll sich nicht verschlechtern	hoch
S	geeignete Ergebnisdarstellung	mit zusätzlichen Informationen hinterlegt	hoch
S	Datenschutz	DSGVO-konformer Umgang mit Daten	hoch
S	hohe Benutzer:innenfreundlichkeit	für eine hohe Akzeptanz und Zugänglichkeit	hoch

## 6.3 Dritter Designzyklus

In den vorhergegangenen Unterkapiteln ist eine in sich funktionsfähige Software entstanden und getestet worden. Damit wurde ein weiterer Designzyklus geschlossen. Die Ergebnisse der im zweiten Zyklus durchgeführten Tests werden genutzt, um einen weiteren Designzyklus zu starten. In diesem werden die Ursachen für die auftretenden Fehler ausgebessert und die Verbesserungsvorschläge nach ihren Priorisierungen gereiht umgesetzt. Das nächste Unterkapitel dokumentiert diese Umsetzung. Im darauffolgenden wird das dadurch entstandene Artefakt getestet.

### 6.3.1 Einarbeitung der Testergebnisse des zweiten Designzyklus

Die aus den internen Tests entstandenen Aufgaben wurden nach folgender Priorisierung abgearbeitet. Die Rückmeldungen bezüglich Fehlermeldungen, welche zum Absturz der Software führen, wurden mit der höchsten Priorität eingestuft, da diese Fehler das Artefakt unbrauchbar machen. Der Fehler ist entstanden, weil das Kriterium "Qualifikation" für die Fallunterscheidung in der Datenbank ursprünglich den Wert "IST-vs-Fall 1" hinterlegt hatte. Dieses Kriterium ist im ganzen Verfahren einzigartig in der Eigenschaft, dass es sich auf beide Fälle bezieht und die Fallunterscheidung in einem Fragebogen vollzogen wird anstatt durch zwei. Im Laufe der Entwicklung hat sich herausgestellt, dass das Kriterium, wie alle andern, in der Datenbank doppelt hinterlegt werden muss, also mit den Werten "IST-Fall" und "Fall 1". Nur durch diese Trennung konnte in der Datenbank ein Wert für beide Fälle hinterlegt werden, was benötigt wurde, um diese im Ergebnismodul anzuzeigen. Im Zuge dieses Wechsels wurde in einer HTML-Datei darauf vergessen, die Fallbezeichnung für das Kriterium

”Qualifikation” anzupassen, wodurch es zu einem sogenannten ”General Server Error (500)” gekommen ist. Die zweitwichtigste Gruppe von Fehlern waren jene, bei denen die Software sich in einer Art verhält, die für Nutzende unerwartet ist. In dieser Kategorie sind drei Einträge im Testformular vorzufinden. Eines der dokumentierten Probleme bezog sich auf die redundante Anzeige von Warnungen bezüglich des zu hohen Konsistenzindex. Eine fehlerhafte Schleife hat dieses Verhalten ausgelöst. Die anderen beiden Einträge dieser Kategorie haben aufgezeigt, dass manche Kriterien ein Ergebnis im Ergebnismodul ausgegeben haben, selbst wenn es sich um ein neu erstelltes Konto handelt, das keine Umfragen durchgeführt hat. Ein fehlerhaftes Abbruchkriterium einer Funktion der Ergebnisberechnung hat dieses Verhalten verursacht. Alle Fehler dieser Kategorie wurden behoben.

Die weiteren Schritte dieser Iteration des Designzyklus sind Resultate aus Verbesserungsvorschlägen der internen Tests. Diese wurden nach der von den Testenden gewählten Priorität abgearbeitet: zuerst Vorschläge mit hoher, dann mittlerer, dann niedriger Priorität. Für den besseren Überblick über die getätigten Maßnahmen, werden sie im Folgenden ihrem Themengebiet nach dokumentiert und nicht nach ihrer Priorität. Eine Rückmeldung der internen Tests war die fehlende Leitung der Nutzenden durch das Tool. Dieser Eintrag bezog sich direkt auf die Benutzer:innenfreundlichkeit. Abbildung A.3 im Anhang zeigt das daraufhin entworfene Leitsystem. Die Home-Route wurde mit einer Anleitung zur Durchführung einer Evaluierung versehen. Diese besteht aus vier Schritten, wobei der erste davon auf eine allgemeine Erklärung zu den Dimensionen und Kriterien verweist, was ebenfalls ein Verbesserungsvorschlag der internen Tests war. Am oberen Rand des Bildschirms sind die Menüpunkte der Module nummeriert und in der Reihenfolge angeordnet, in der Nutzende das Tool laut Leitsystem durchlaufen sollen: 1-Info, 2-Gewichtung, 3-Umfrage starten und 4-Ergebnis. Diese Punkte spiegeln sich auch in der Anleitung der Home-Route wieder und ermöglichen ein besseres Verständnis dafür, wie das Evaluierungstool zu verwenden ist.

Ein Vorschlag, der sich ebenfalls direkt auf die Benutzer:innenfreundlichkeit bezog, war die verbesserte Darstellung der Fragen des Kriteriums ”Mitarbeiter:innenzufriedenheit”. Die Fragen dieses standardisierten Fragebogens haben einen einzigartigen Aufbau. Die Fragen sind in zwei Gruppen aufgeteilt. Jede dieser Gruppen besteht aus einem fragenübergreifenden, einleitenden Text, z.B. ”Bitte bewerten Sie folgende Eigenschaften im Bezug auf Ihre Tätigkeiten.”. Die einzelnen Fragen bestehen meist nur aus wenigen Wörtern, die diese Eigenschaften beschreiben, z.B. ”gefällt mir”. Die Umsetzung in der Datenbank ist so gestaltet, dass alle Fragen den einleitenden Text und die Eigenschaft in der Spalte ”Inhalt” hinterlegt hatten. Das hatte zur Folge, dass Nutzenden des Tools redundante Texte für jede der insgesamt 23 Fragen angezeigt wurden. Der Vorschlag im Formular der internen Tests lautete, den allgemeinen Teil der Frage für jede Gruppe nur einmal anzuzeigen, was genau so umgesetzt wurde.

Um zwei weiteren Punkten der internen Tests und gleichzeitig den Anforderungen an die Software (siehe Tabelle 6.1) gerecht zu werden, wurden zusätzliche Informationen zur Durchführung der Gewichtung und zur Ergebnisdarstellung eingefügt, welche es Nutzenden ermöglichen, die Funktionalität der Software besser zu nutzen bzw. die Ergebnisse besser zu verstehen. Bezogen auf das Gewichtungsmodul wurde von

Testenden vorgeschlagen, dass der vorausgewählte Zahlenwert zur Quantifizierung der Gewichtung, nicht auf den höchsten Wert (9) gesetzt sein soll, sondern auf den mittleren Wert (5). In Abbildung 6.5 ist die ursprüngliche Darstellung zu sehen. Außerdem wurde es von den Testenden als umständlich eingestuft, dass Nutzende sich von Anfang an eine Gewichtung überlegen bzw. durchführen müssen. Deshalb wurde als zusätzliche Funktionalität ein Knopf vorgeschlagen, der alle Gewichtungen auf das gleiche Niveau stellt. Nach dem betätigen des Knopfes sollten alle Dimensionen und Kriterien gleich wichtig sein. Die letzten beiden Vorschläge wurden umgesetzt, indem ein neues Nutzer:innenkonto von Anfang an alle Dimensionen und Gewichtungen als gleich wichtig in der Datenbank hinterlegt hat. Dadurch ist sowohl die Darstellung des Zahlenwerts in erster Instanz auf den mittleren Wert (5) gesetzt und Nutzende müssen keine Gewichtung durchführen, falls ihnen alle Kriterien gleich wichtig sind. Abbildung A.4 im Anhang zeigt das überarbeitete Gewichtungsmodule. Im Vergleich mit Abbildung 6.5 sind die vorausgewählten Optionen "gleich wichtig", die Quantifizierung (5) und das Feld "Informationen zur Gewichtung", welches Nutzende zu den oben erwähnten zusätzlichen Informationen leitet, zu erkennen.

Um einen DSGVO-konformen Umgang mit den Daten zu gewährleisten, wurde eine Prüfung durch die Organe der TU Wien veranlasst. Diese hat ergeben, dass es unzulässig ist, die Studienteilnehmer:innen der Unternehmen dazu aufzufordern, ihre Namen zur Bestätigung der DSGVO-Erklärung beim Starten einer Umfrage im Tool einzugeben. Das Eingabefeld wurde daraufhin gelöscht. Die DSGVO-Erklärung wird nur noch mit der Betätigung eines "Weiter"-Knopfes abgeschlossen. Zusätzlich müssen die Nutzenden des Tools einen Datenverarbeitungsvertrag mit den Betreibern des Tools abschließen, damit diese die Daten der Nutzenden verarbeiten dürfen. Durch diese Änderungen ist eine neue Iteration des Artefakts entstanden, welche im folgenden Unterkapitel getestet wird.

### 6.3.2 Testen des dritten Artefakts

Um die Richtigkeit der Ergebnisberechnungen des Evaluierungstools zu prüfen, wurden Testdaten entwickelt. Diese wurden verwendet, um Ergebnisse durch den Prototyp und die dritte Iteration des Artefakts berechnen zu lassen. Die Ergebnisse wurden verglichen und einer Plausibilitätsanalyse unterzogen. Die Testdaten wurden durch die Simulation eines Galtonbretts generiert. Dies wurde in einem eigenen Python-Skript verwirklicht. Das Ziel dieses Programms war es, für jedes Kriterium und jeden Fall eine Matrix zu generieren, welche die Anzahl an gegebenen Antworten für jede Frage des Kriteriums widerspiegelt. Eine Spalte repräsentiert eine Frage und eine Zeile eine Antwortmöglichkeit. Die Antworten sollten einer Normalverteilung folgen, wobei der Mittelwert und die Standardabweichung als Parameter an die Funktion übergeben werden. Durch die Vorgabe dieser beiden Parameter ist es möglich, ein gutes bzw. schlechtes Ergebnis durch die Testdaten zu forcieren. Das ist die Grundlage für die anschließende Plausibilitätsanalyse. Mit Hilfe dieses Programms wurden für jedes Kriterium 100 Umfragen simuliert. Ein Beispiel dafür ist in der bereits gezeigten Abbildung 5.7 zu sehen. Diese Matrix wurde mit den Normalverteilungsparametern  $\mu = 0.1$  und  $\sigma = 0.35$  generiert, wodurch eine hohe Bewertung auf der +2 bis -2 Skala erwartet und vom Prototyp bestätigt wurde. Für jedes Kriterium wurde eine CSV-Datei

erstellt, welche aus der jeweiligen Matrix bestand. Die Werte wurden händisch in den Prototyp kopiert und per Funktion vom Tool eingelesen und in der Datenbank gespeichert. Die Ergebnisse beider Iterationen wiesen die gleichen, plausiblen Ergebnisse auf.

Es folgt ein Abgleich der Anforderungen aus Tabelle 6.1 mit der dritten Iteration des Designzyklus. Die aktuelle Lösung beinhaltet alle Funktionen der letzten Iteration. Alle Anforderungen aus dem ursprünglichen Anforderungskatalog (Tabelle 4.1), die während des zweiten Zyklus erfüllt wurden, sind damit auch in diesem erfüllt. Die im Bezug auf die Ergebnisdarstellung fehlende zusätzliche Information, welche während der internen Tests bemängelt wurde, ist eingearbeitet worden. Im Bezug auf den DSGVO-konformen Umgang der Daten wurde anhand der Prüfung der TU Wien ein Eingabefeld und die Bezeichnung eines Knopfes von "Gelesen und akzeptiert" auf "Weiter" geändert. Solange die Nutzenden mit den Betreibern des Tools einen Datenverarbeitungsvertrag abschließen, bleibt die DSGVO gewahrt. Die durch die internen Tests aufgezeigten Mängel im Bezug auf die Benutzer:innenfreundlichkeit wurden behoben. Die aktuell vorliegenden Daten liefern keine weiteren Hinweise auf schlechte Benutzer:innenfreundlichkeit. Da sich die Nebenforschungsfrage dieser Arbeit genau auf diese Thematik bezieht, werden im folgenden Kapitel weitere Anstrengungen unternommen, um weitere Aussagen über die Güte der Benutzer:innenfreundlichkeit zu treffen.



# 7. Studie zur Evaluierung des Evaluierungstools

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die Studie zur Evaluierung der Benutzer:innenfreundlichkeit des Evaluierungstools realisiert wurde. Es wird aufgezeigt, wie die Studie vorbereitet und umgesetzt wurde. Die Ergebnisse der Studie werden dokumentiert. Dieser Abschnitt der Arbeit entspricht den Feldtests des Relevanzzyklus des DSR (siehe Abbildung 1.1).

## 7.1 Vorbereitung und Durchführung der Studie

In diesem Unterkapitel wird beschrieben, wie die Studie zur Beantwortung der Nebenforschungsfrage vorbereitet und durchgeführt wurde. Ein standardisierter Fragebogen wird gewählt, mit qualitativen Fragen erweitert und in einer Umfragensoftware realisiert. Die Wahl der Studienteilnehmenden wird beschrieben, der Ablauf der Studie wird vorbereitet und die Durchführung dokumentiert.

Die Nebenforschungsfrage bezieht sich auf die Benutzer:innenfreundlichkeit des Evaluierungstools, weshalb ein standardisierter Fragebogen, der dieses Kriterium adressiert, benötigt wird. Im Zuge dieser Arbeit konnten Erfahrungen mit der sogenannten "System Usability Scale" (SUS) gesammelt werden, da diese Teil des Evaluierungsverfahrens ist, welches zur Anwendung gekommen ist. Aus diesem Grund wird dieses standardisierte Verfahren als Grundlage für die Studie gewählt. Zusätzlich werden zwei qualitative Fragen in den Fragebogen aufgenommen, um ein breiteres Spektrum an Daten zu generieren. Die SUS stellt eine einfache Vorgehensweise zur Messung der subjektiv wahrgenommenen Benutzer:innenfreundlichkeit dar. Die Hälfte der Fragen der SUS ist positiv und die andere Hälfte negativ formuliert. Die Antwortmöglichkeiten sind in fünf Stufen unterteilt und reichen von "Stimme überhaupt nicht zu" bis "Stimme voll zu". Je nachdem, ob eine Frage positiv oder negativ formuliert ist, wird jeweils ein anderes Spektrum der Antwortmöglichkeiten mit der höchsten Punktezah von 100 bewertet. Eine hohe Punktezah bezieht sich bei der SUS auf hohe Benutzer:innenfreundlichkeit. Der für diese Studie entstandene Fragebogen wurde in der Software realisiert, welche für die Realisierung des Prototyps eingesetzt wurde: LimeSurvey.

Der Ablauf der Studie ist aus der Sicht einer teilnehmenden Person wie folgt geplant. Teilnehmende bekommen eine Anleitung mit mehreren Aufgaben zugesendet. Zuerst gilt es, eine Einleitung zur Studie zu lesen, bei der vor allem auf den Unterschied zwischen der Studie und den Evaluierungen im Evaluierungstool eingegangen wird. Außerdem wird der allgemeine Ablauf der Studie beschrieben, das Ziel dieser, nämlich die Bewertung des Evaluierungstools, erläutert und erste Informationen darüber gegeben, welchen Zweck das Tool verfolgt. Für alle Teilnehmenden wurde im Vorhinein ein Konto erstellt. Dadurch ist gewährleistet, dass selbst nach verhältnismäßig kurzer Anwendungsdauer des Evaluierungstools bereits Ergebnisse im Ergebnismodul zu erkennen sind. Die zweite Aufgabe der Studienanleitung fordert die Teilnehmenden dazu auf, die URL zum Tool aufzurufen und sich mit den zur Verfügung gestellten

Anmeldedaten anzumelden. Die dritte Aufgabe wurde mit einem einleitenden Text begonnen. Danach werden die Teilnehmenden dazu aufgefordert, eine Gewichtung der Kriterien der Dimension "Anwender:in" durchzuführen. Die vierte Aufgabe bezog sich auf die Durchführung von jeweils einer Umfrage der Dimension "Anwender:in" für beide Fälle. Aufgabe fünf fordert die Teilnehmenden dazu auf, die Ergebnisse zu betrachten. Die sechste und letzte Aufgabe der Anleitung ist die Durchführung des Fragebogens dieser Studie.

Die Probandinnen und Probanden, welche zur Teilnahme an der Studie eingeladen wurden, sind alle Studierende eines Masterstudiums der Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften der TU Wien. Damit wird eine gewisse Ähnlichkeit zur Zielgruppe der potenziellen Anwendenden des Evaluierungstools begünstigt. Insgesamt haben neun Studierende an der Studie teilgenommen. Im nächsten Unterkapitel werden die Ergebnisse der Studie präsentiert.

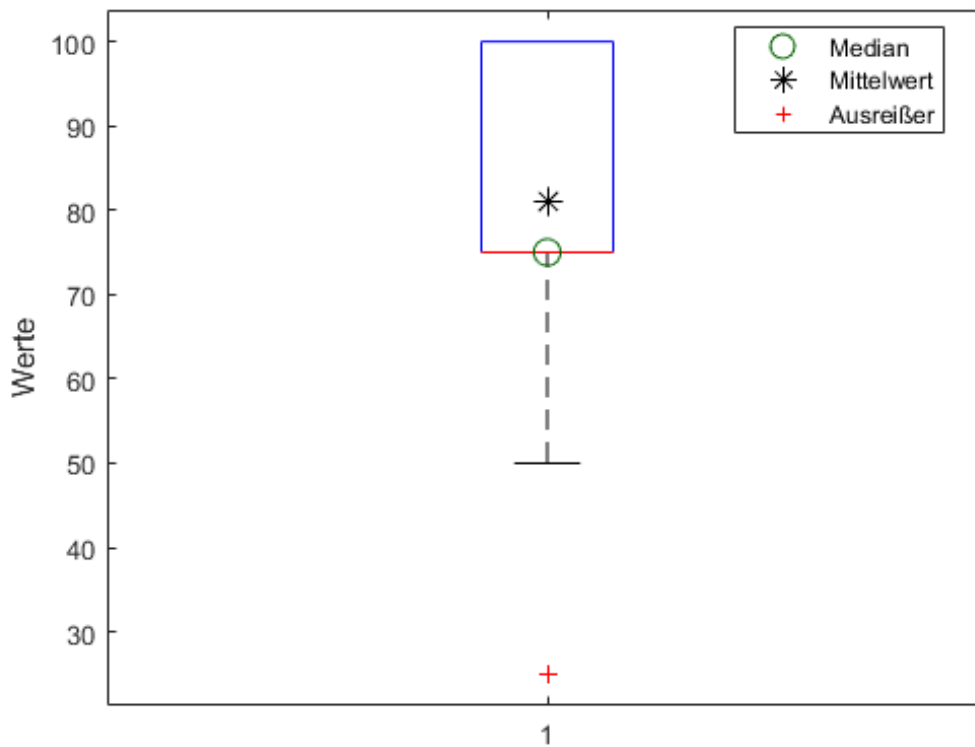
## 7.2 Ergebnisse der Studie

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der Studie dokumentiert und präsentiert. Die Auswertung wird für den quantitativen und qualitativen Teil des Fragebogens durchgeführt.

Die gegebenen Antworten der standardisierten SUS werden mit Punktezahlen zwischen 0 und 100 bewertet. Eine Antwort, die mit 100 Punkten bewertet wird, wirkt sich am besten auf die Bewertung der Benutzer:innenfreundlichkeit aus. In dieser Studie wurden insgesamt 90 quantitative Antworten gegeben. Die Verteilung der gegebenen Antworten ist in Tabelle 7.1 zu sehen. Die niedrigste vorkommende Bewertung ist 25 und der Höchstwert 100. Abbildung 7.1 zeigt einen Boxplot der Daten. Das untere Quantil fällt auf denselben Punkt wie der Median, nämlich auf 75. Unter 25% der gegebenen Antworten sind mit einer Punktzahl unter 75 bewertet. Das obere Quantil liegt bei 100 und ist gleichzeitig der höchstmögliche Wert. Der Mittelwert liegt bei 81.11%.

**Tabelle 7.1:** Verteilung der gegebenen Antworten innerhalb der Studie

Bewertung	Anzahl	Prozent
0	0	0%
25	2	2.22%
50	11	12.22%
75	40	44.44%
100	37	41.11%



**Abbildung 7.1:** Boxplot der gegebenen Antworten innerhalb der Studie

Zusätzlich zu den Fragen der SUS, wurden den Studienteilnehmer:innen zwei qualitative Fragen gestellt. Diese lauteten wie folgt: (1) Gab es Schwierigkeiten bei der Durchführung einzelner Aufgaben? Wenn ja, welche? (2) Wo sehen Sie Verbesserungspotenzial im Bezug auf die Benutzer:innenfreundlichkeit (Usability) des Evaluierungstools? Die Antworten der Teilnehmenden wurden in Kategorien unterteilt. Dabei ist es möglich, dass eine Antwort mehreren Kategorien zugeordnet wird. Die Häufigkeit, mit der Antworten einer Kategorie gegeben wurden, wurde dokumentiert. Zusätzlich wurde hinsichtlich der Zugehörigkeit dieser Kategorien zu den Hauptmodulen des Evaluierungstools unterschieden. Nicht alle Kategorien sind einem Hauptmodul zuordenbar.

Die Auswertung der ersten Frage hat vier verschiedene Kategorien ergeben, welche in Tabelle 7.2 zu sehen sind. Die Prozentzahl in der rechten Spalte bezieht sich auf die Anzahl der Antworten der einzelnen Frage. 66,7% der Studienteilnehmenden hatten keine Probleme bei der Durchführung der Studie. Zwei der neun Teilnehmenden haben Unklarheiten bzgl. des Konsistenzindex bei der Durchführung der Gewichtung dokumentiert, welche allerdings laut den Rückmeldungen selbstständig gelöst wurden. Die generelle Unübersichtlichkeit des Gewichtungsmoduls wurde einmal als Grund für Schwierigkeiten bei der Durchführung der Studie genannt.

**Tabelle 7.2:** Auswertung der ersten qualitativen Frage

Kategorie	Anzahl	Prozent
Keine Probleme	6	66,7%
Unklarheiten bzgl. des Konsistenzindex	2	22,2%
Unübersichtlichkeit des Gewichtungsmoduls	1	11,1%

Auf die Frage nach dem Verbesserungspotenzial des Evaluierungstools im Bezug auf die Benutzer:innenfreundlichkeit wurde in fünf Fällen das Gewichtungsmodul genannt. Studienteilnehmenden bemängeln in diesem Modul eine klare optische Trennung der einzelnen Bereiche, z.B. der einzelnen paarweisen Vergleiche. Der Konsistenzindex führt dazu, dass Nutzende ihre Gewichtung ggfs. überdenken und neu durchführen müssen, was in dieser Studie als negativer Einfluss auf die Benutzer:innenfreundlichkeit dokumentiert wurde. Weiteres Potenzial wurde der grafischen Umsetzung einer Gewichtung zugeschrieben. Nutzenden ist es in dieser Iteration des Artefakts möglich, zwei Dimensionen/Kriterien als "gleich wichtig" einzustufen und danach trotzdem die Frage zu beantworten, um wie viel ihnen eine Seite wichtiger ist als die andere. Ein Verschwinden der Unterfrage wurde als Potenzial für die Erhöhung der Benutzer:innenfreundlichkeit identifiziert. Die nächste Kategorie von Antworten beschreibt, dass die Dimensionen und Kriterien unzureichend beschrieben sind, was von zwei Teilnehmenden dokumentiert wurde. Von 22,2% der Studienteilnehmer:innen wurde ein Verhalten des Evaluierungstools bemängelt, welches auftritt, wenn Nutzende bei der Durchführung einer Umfrage nicht alle Pflichtfragen beantwortet haben und zur nächsten Seite gelangen wollen. Die Software leitet sie in diesem Fall erneut zur selben Seite. Allerdings speichert das Tool keine bereits getätigten Antworten, weshalb alle bereits ausgefüllten Antworten neu beantwortet werden müssen. Von jeweils einer Person wurden ein Fortschrittsbalken während der Durchführung von Umfragen und eine Verbesserung der Ergebnisdarstellung mittels einer Legende neben der tabellarischen Darstellung zur Erklärung der Inhalte vorgeschlagen. Die Ergebnisse der Auswertung der zweiten qualitativen Frage sind in Tabelle 7.3 aufgelistet. Im folgenden Kapitel werden alle Ergebnisse zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst, diskutiert und verwendet, um die Forschungsfrage zu beantworten.

**Tabelle 7.3:** Auswertung der zweiten qualitativen Frage

Kategorie	Anzahl	Prozent
Gewichtungsmodul verbessern	5	55,6%
Dimensionen und Kriterien besser erklären	2	22,2%
Speichern von gegebenen Antworten	2	22,2%
Fortschrittsbalken beim Durchführen von Umfragen	1	11,1%
Ergebnisdarstellung verbessern	1	11,1%

# 8. Ergebnisse, Diskussion und Ausblick

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Arbeit dokumentiert und diskutiert. Die Forschungsfrage und Nebenforschungsfrage werden beantwortet. Es werden die Limitationen der Arbeit aufgezeigt und ein Ausblick gegeben.

## 8.1 Zusammenfassung

Es ist das Ziel dieser Arbeit, eine Softwarelösung zu entwickeln, welche die Evaluierung von industriellen AR/VR-Anwendungen ermöglicht. Das entstehende Artefakt soll für Wissenschaft und Industrie anwendbar sein, um Entscheidungsprozesse zu vereinfachen. Dadurch wird die Hürde für die Einführung kognitiver Assistenzsysteme verkleinert, was wiederum der durchschnittlich älter werdenden Bevölkerung dabei hilft, die steigenden Ansprüche an die Arbeit zu meistern. Um dem Ziel der wissenschaftlichen Anwendbarkeit gerecht zu werden, wurden das DSR angewendet, eine ausgiebige Literaturrecherche durchgeführt und Anforderungen von Seiten der Wissenschaft abgeleitet. Diese wurden mit den Anforderungen von Industrievertretern abgeglichen und in einen Anforderungskatalog (Tabelle 4.1) überführt. Im Zuge dieser Arbeit sind drei Iterationen eines Artefakts entstanden, welche diese Anforderungen zunehmend mehr erfüllt haben. Die Testergebnisse jeder Iteration dienen als Grundlage für die nächste. Das letzte Artefakt ermöglicht die webbasierte Anwendung eines multikriteriellen Evaluierungsverfahrens. Um die Benutzer:innenfreundlichkeit detaillierter zu untersuchen, ist eine Studie mit neun Probandinnen und Probanden durchgeführt worden. Dabei sind die SUS und zwei qualitative Fragen abgefragt und ausgewertet worden, welche eine gute Benutzer:innenfreundlichkeit und Verbesserungspotenziale im Bereich der Gewichtung ergeben haben.

## 8.2 Diskussion der Ergebnisse

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse dieser Arbeit diskutiert. Verfahrenseitig wurde auf das Evaluierungsverfahren zurückgegriffen, welches während des Forschungsprojekts, vor allem durch Zigart (2022) entwickelt wurde [21]. Durch die Umsetzung dieses Evaluierungsmodells in einer webbasierten Softwarelösung, werden alle Anforderungen erfüllt, die sich auf das Evaluierungsverfahren beziehen. Bereits die erste Iteration des Artefakts hat den Großteil dieser Anforderungen erfüllt. Softwareanforderungen mit hoher Priorität wurden im Laufe der zweiten und dritten Iteration des Designzyklus erfüllt, wobei der Datenschutz und die hohe Benutzer:innenfreundlichkeit eine besondere Stellung einnehmen. Um der Anforderung einer hohen Benutzer:innenfreundlichkeit nachzukommen, wurden Tests mit den Kolleg:innen des TU Wien IMPACT-sxR Projektteams durchgeführt. Um das Thema ausreichend wissenschaftlich zu bearbeiten, wurde zusätzlich eine Studie zu dem Thema durchgeführt.

Die Auswertung der SUS hat einen Mittelwert von 81,1% ergeben. Laut Brooke (2013) deuten Werte  $>68\%$  auf eine akzeptable und Werte  $>72\%$  auf eine gute Benutzer:innenakzeptanz hin [81]. Die Auswertung der ersten qualitativen Frage (siehe Tabelle 7.2) bestätigt dieses Ergebnis. Zwei Drittel der Studienteilnehmenden haben angegeben, dass sie das Tool problemlos anwenden konnten. Das übrige Drittel hat Probleme bzw. einen erhöhten Aufwand im Gewichtungsmodule dokumentiert. Dies ist auf die Charakteristik der Gewichtung zurückzuführen. Die Durchführung von Gewichtungen ist eine Tätigkeit, welche eine besondere Vertiefung in die Materie benötigt. Leichtfertig durchgeführte Gewichtungen haben das Potenzial, Ergebnisse stark zu verfälschen. Zusätzlich muss die Gewichtung nur einmalig durchgeführt werden, weshalb der von den Studienteilnehmenden wahrgenommene, erhöhte Aufwand rechtfertigbar ist. Die Auswertung der zweiten qualitativen Frage (siehe Tabelle 7.3) liefert tiefere Einblicke in die Potenziale zur Verbesserung der Benutzer:innenfreundlichkeit. Das Gewichtungsmodule wurde in fünf von neun Fällen (55,6%) als verbesserungsfähig beschrieben. Die lange Liste an verschiedenen Fragen mache das Modul unübersichtlich. Die Existenz des Konsistenzindex ist bei der ersten Durchführung einer Gewichtung nicht ersichtlich. Werden die Grenzwerte für den Index überschritten, sehen sich Nutzende mit Warnungen und negativen Rückmeldungen der Software konfrontiert. Um eine Gewichtung erfolgreich durchzuführen, müssen Überlegungen überdacht, vertieft und wiederholt werden. Fachlich ist dies durchaus sinnvoll, da die Gewichtung einen großen Einfluss auf das Ergebnis hat. Im Hinblick auf die Benutzer:innenfreundlichkeit lässt sich ein negativer Einfluss darstellen. Das in Unterkapitel 7.2 beschriebene Verhalten der Software, dass eingegebene Antworten nicht gespeichert werden, wenn Nutzende eine Pflichtfrage nicht beantworten, bietet ein weiteres Potenzial zur Verbesserung der Benutzer:innenfreundlichkeit. Weitere Potenziale wurden im Hinblick auf die Aufbereitung von Informationen aufgezeigt. Dies gilt sowohl für die modulübergreifende Thematik von Dimensionen und Kriterien als auch für die Ergebnisdarstellung.

Das Thema Datenschutz nimmt ebenfalls eine besondere Stellung im Anforderungskatalog ein. Im Laufe der datenschutzrechtlichen Überprüfung der Software durch ein Organ der TU Wien, ist aufgefallen, dass es einen Datenverarbeitungsvertrag zwischen den Betreibenden und den Anwendenden des Tools benötigt. Die Betreiber:innen verwenden die Daten der Nutzer:innen zwar nicht für eigene Zwecke, allerdings werden diese verarbeitet, wofür die Zustimmung der Nutzenden bzw. ein Datenverarbeitungsvertrag benötigt wird. Dies stellt wiederum eine Hürde für die Benutzer:innenfreundlichkeit dar, wodurch zwei Anforderungen an das Tool im Gegensatz zueinander stehen und es besonderer Lösungen bedarf. Im folgenden Unterkapitel werden damit die Forschungsfragen beantwortet.

### 8.3 Beantwortung der Forschungsfragen

Anhand der erstellten und getesteten Artefakte, samt durchgeführter Studie, werden in diesem Unterkapitel die Forschungsfrage und Nebenforschungsfrage beantwortet. Die beiden Fragen werden hier wiederholt:

1. Wie muss eine Softwarelösung aufgebaut sein, um die Anwendung eines multikriteriellen Evaluierungsverfahrens für industrielle AR/VR-Anwendungen gut zugänglich zu machen?
2. (Nebenforschungsfrage) Wie kann eine hohe Benutzer:innenfreundlichkeit der Softwarelösung begünstigt werden?

Die entwickelte Softwarelösung implementiert ein multikriterielles Evaluierungsverfahren für industrielle AR/VR-Anwendungen in einer webbasierten Anwendung. Der Zugang über das Internet, der modulare Aufbau und die Bereitstellung von Informationen zur Verwendung des Tools ermöglichen hohe Zugänglichkeit. Das Evaluierungstool ist damit für Vertretende der Wissenschaft und der Industrie zugänglich. Eine hohe Benutzer:innenfreundlichkeit wird durch den webbasierten Zugang zum Tool, ein Leitsystem für Nutzende, die modulare Anwendbarkeit, die grafische Darstellung der Ergebnisse und die vorteilhafte Positionierung von zusätzliche Informationen in den Bereichen, in denen sie benötigt werden, begünstigt. Das Evaluierungstool wurde durch den Abgleich mit den Anforderungen (siehe Kapitel 4) verifiziert. Mit der Erfüllung der Zielsetzung (siehe Unterkapitel 1.3) und der Beantwortung der Forschungsfragen leisten das Artefakt und diese Arbeit einen konkreten wissenschaftlichen Beitrag. Im folgenden Unterkapitel werden die Limitationen der Anwendung des Evaluierungstools aufgezeigt.

## 8.4 Limitationen

Anwendende des entwickelten Evaluierungstool sind mit Limitation konfrontiert. Grundlegende Grenzen werden durch die Anwendung des implementierten Evaluierungsverfahrens gegeben, welche nicht Teil dieser Arbeit sind. Im konkreten Bezug auf diese Arbeit gilt es zu berücksichtigen, dass die Anwendung des Tools starr ist. Es besteht keine Möglichkeit, die eingepflegten Fragen des Umfragenmoduls in jeglicher Weise zu ändern. Für standardisierte Fragebögen spielt dies nur eine geringe Rolle. Im Bereich der qualitativen Erhebung von Daten sind an den Fall angepasste Fragen jedoch von großer Bedeutung, wie sich in den Evaluierungen während des IMPACT-sXR Projekts gezeigt hat. Obwohl mit dem letzten Artefakt ein voll funktionsfähiges Evaluierungstool vorliegt, gibt es im Hinblick auf die Benutzer:innenfreundlichkeit weitere Potenziale auszuschöpfen, die die Zugänglichkeit und den Mehrwert für die Umgebung weiter erhöhen können. Nutzenden des Evaluierungstools ist es nicht möglich, das Kriterium "Effektivität und Effizienz" zu evaluieren, da die zur Verfügung stehenden, standardisierten Verfahren zu divers sind, um sie allgemein anzuwenden. Des Weiteren sind die Tests zur Evaluierung des Tools von Expert:innen und Testpersonen durchgeführt worden, die sich besonders mit der Materie beschäftigt haben. Weitere Tests mit potenziellen Entscheidungstragenden von Industriebetrieben, haben das Potenzial, weitere Erkenntnisse über den geeigneten Aufbau und die benötigten Eigenschaften eines Evaluierungstools zur multikriteriellen Evaluierung von AR/VR-Anwendungen offenzulegen. Eine weitere Limitation ist die nicht vorhandene Einbindung des Tools in bereits vorhandene Prozesse und Systeme. Die Programmierung einer Nutzerschnittstelle (API) zur individuellen Anwendung des Tools fehlt, um dies zu verwirklichen.

## 8.5 Ausblick

In diesem Unterkapitel wird ein Ausblick gegeben, um mögliche Potenziale für die Weiterentwicklung des Evaluierungstools aufzuzeigen.

Die in der Studie am häufigsten aufgezeigte Verbesserungsmöglichkeit liegt in der Überarbeitung des Gewichtungsmoduls. Das Artefakt kann durch eine bessere optische Unterteilung der einzelnen Gewichtungen, eine mögliche grafische Durchführung und mehr Rückmeldungen bezüglich des Konsistenzindex an Mehrwert gewinnen.

Speziell im Bezug auf den Datenschutz muss eine benutzer:innenfreundliche Lösung erarbeitet werden. Die bilateral notwendigen Datenverarbeitungsverträge zwischen jeder Betreibende-Nutzenden-Paarung stellen eine Hürde für die Verwendung des Evaluierungstools dar. Eine praktikable Lösung hat das Potenzial, das Artefakt zu verbessern.

Um ein tieferes Verständnis über die Anforderungen der Umgebung an eine Softwarelösung zur Evaluierung von AR/VR-Anwendungen zu erlangen, ist es erforderlich, weitere Tests mit dem Evaluierungstool im industriellen Kontext durchzuführen. Mit dem dadurch erlangten Wissen ist es möglich, weitere Potenziale des Tools aufzuzeigen.

Für die Einbindung des Evaluierungstools in bestehende industrielle Prozesse ist es notwendig, eine Schnittstellenprogrammierung zu realisieren. Dadurch ist es Anwendenden möglich, die Funktionalität des Tools individuell einzusetzen und in Planungs- und Steuerungsprogramme zu integrieren.

Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass das Kriterium "Effektivität und Effizienz" in vielen Fällen untersucht wird. Jedoch kommen kaum standardisierte Fragebögen zum Einsatz, was die Implementierung in einem automatischen Tool hemmt. Forschung in diesem Bereich birgt die Möglichkeit dieses oft evaluierte Kriterium im Evaluierungstool zu integrieren.

Ein weiteres Potenzial die Zugänglichkeit und Benutzer:innenfreundlichkeit des Evaluierungstools zu erhöhen birgt Forschung in Richtung neuer internetfähiger Endgeräte. AR/VR-Systeme sind bereits ein Beispiel für solche Geräte. Diese sind allerdings noch nicht weit genug verbreitet, um damit eine hohe Zugänglichkeit zum aktuellen Forschungsstand im Bereich der multikriteriellen Evaluierung zu ermöglichen.

Dieser Ausblick zeigt in welchen Feldern weitere wissenschaftliche Anstrengungen zu einer möglichen Verbesserung des Evaluierungstool im Hinblick auf dessen Zugänglichkeit und Benutzer:innenfreundlichkeit führen.



# Literaturverzeichnis

- [1] Matthias Hilgarth. „Volkszählung 2021: Österreich wächst durch Zuwanderung und altert“. de. In: (2023).
- [2] Benedikt G. Mark et al. „Worker assistance systems in manufacturing: A review of the state of the art and future directions“. en. In: *Journal of Manufacturing Systems* 59 (Apr. 2021), S. 228–250. ISSN: 02786125. DOI: 10.1016/j.jmsy.2021.02.017.
- [3] Tanja Zigart und Sebastian Schlund. „Multikriterielle Evaluation von industriellen Assistenzsystemen am Beispiel von Augmented Reality-Anwendungen in der Produktion“. de. In: (2020).
- [4] Philipp Hold et al. „Planning and Evaluation of Digital Assistance Systems“. en. In: *Procedia Manufacturing* 9 (2017), S. 143–150. ISSN: 23519789. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.04.024.
- [5] Tanja Zigart und Sebastian Schlund. „Evaluation of Augmented Reality Technologies in Manufacturing – A Literature Review“. en. In: *Advances in Human Factors and Systems Interaction*. Hrsg. von Isabel L. Nunes. Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham: Springer International Publishing, 2020, S. 75–82. ISBN: 978-3-030-51369-6. DOI: 10.1007/978-3-030-51369-6\_11.
- [6] *IMPACT sXR*. URL: <https://impact-sxr.at/> (besucht am 16.08.2023).
- [7] Alan Hevner und Samir Chatterjee. *Design Research in Information Systems: Theory and Practice*. en. Bd. 22. Integrated Series in Information Systems. Boston, MA: Springer US, 2010. ISBN: 978-1-4419-5652-1. DOI: 10.1007/978-1-4419-5653-8.
- [8] Alan R. Hevner et al. „Design Science in Information Systems Research“. In: *MIS Quarterly* 28.1 (2004), S. 75–105. ISSN: 0276-7783. DOI: 10.2307/25148625.
- [9] Wenke Apt et al. „Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Betrieb. Forschungsbericht 502 des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales“. de. In: (2018).
- [10] Andreas Butz et al. *Mensch-Maschine-Interaktion*. de. 3. Auflage. De Gruyter Oldenbourg Studium. Berlin ; Boston: De Gruyter Oldenbourg, 2022. ISBN: 978-3-11-075321-9.
- [11] Jens Wandmacher. *Software-Ergonomie*. Berlin ; New York: W. de Gruyter, 1993. ISBN: 3-11-012971-X.
- [12] J. Krüger et al. „Cooperation of human and machines in assembly lines“. en. In: *CIRP Annals* 58.2 (2009), S. 628–646. ISSN: 00078506. DOI: 10.1016/j.cirp.2009.09.009.
- [13] Tullio Tolio et al., Hrsg. *Factories of the Future: The Italian Flagship Initiative*. en. Cham: Springer International Publishing, 2019. ISBN: 978-3-319-94357-2. DOI: 10.1007/978-3-319-94358-9.
- [14] Gunther Reinhart. *Handbuch Industrie 4.0 - Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*. München: Carl Hanser Verlag, 2017. ISBN: 978-3-446-44642-7.

- [15] Robert Weidner et al., Hrsg. *Technische Unterstützungssysteme*. de. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015. ISBN: 978-3-662-48382-4. DOI: 10.1007/978-3-662-48383-1.
- [16] A. Karafillidis und Robert Weidner. „Taxonomische Kriterien technischer Unterstützung - Auf dem Weg zu einem Periodensystem“. In: *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*. Hamburg, 2016.
- [17] Yogesh K. Dwivedi und Yichuan Wang. „Guest editorial: Artificial intelligence for B2B marketing: Challenges and opportunities“. In: *Industrial Marketing Management* 105 (Aug. 2022), S. 109–113. ISSN: 0019-8501. DOI: 10.1016/j.indmarman.2022.06.001.
- [18] R. Müller et al. „Innovative Produktionsassistenten für die Montage“. de. In: *wt Werkstattstechnik online* 104.9 (2014), S. 552–560. ISSN: 1436-4980. DOI: 10.37544/1436-4980-2014-9-552.
- [19] Walter Mayrhofer et al. „Made in Austria 2019 – survey results of the first industry panel on production work in Austria“. en. In: *Management and Production Engineering Review* (Juli 2023). ISSN: 2080-8208, 2082-1344. DOI: 10.24425/mper.2020.134927.
- [20] Verena Simone Lore Blumberg und Simone Kauffeld. „Anwendungsszenarien und Technologiebewertung von digitalen Werkerassistenzsystemen in der Produktion – Ergebnisse einer Interview-Studie mit Experten aus der Wissenschaft, der Politik und der betrieblichen Praxis“. de. In: *Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO)* 51.1 (März 2020), S. 5–24. ISSN: 2366-6145, 2366-6218. DOI: 10.1007/s11612-020-00506-0.
- [21] Tanja Zigart. „Entwicklung eines multikriteriellen Evaluierungsmodells für industrielle Assistenzsysteme“. de. Diss. TU Wien, 2022.
- [22] Paul Milgram und Fumio Kishino. „A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays“. In: *IEICE Transactions on Information Systems*(Vol E77-D, No. 12) (1994).
- [23] Peng Wang et al. „A comprehensive survey of AR/MR-based co-design in manufacturing“. In: *Engineering with Computers* 36 (Okt. 2020). DOI: 10.1007/s00366-019-00792-3.
- [24] A. Schäfer et al. „A Survey on Synchronous Augmented, Virtual, and Mixed Reality Remote Collaboration Systems“. English. In: *ACM Computing Surveys* 55.6 (2022). ISSN: 0360-0300. DOI: 10.1145/3533376.
- [25] Christine Ludwig und Christian Reimann. „Augmented Reality: Information im Fokus“. de. In: *Augmented Reality* (2005).
- [26] Andrew Nee et al. „Augmented reality applications in design and manufacturing“. In: *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 61 (Dez. 2012), S. 657–679. DOI: 10.1016/j.cirp.2012.05.010.

- [27] Michael Otto et al. „A Virtual Reality Assembly Assessment Benchmark for Measuring VR Performance & Limitations“. In: *Procedia CIRP*. 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems (CMS), Ljubljana, Slovenia, June 12-14, 2019 81 (Jan. 2019), S. 785–790. ISSN: 2212-8271. DOI: 10.1016/j.procir.2019.03.195.
- [28] Lorenzo Damiani et al. „Augmented and virtual reality applications in industrial systems: A qualitative review towards the industry 4.0 era“. en. In: *IFAC-PapersOnLine* 51.11 (2018), S. 624–630. ISSN: 24058963. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.08.388.
- [29] *Evaluation - Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Herkunft - Duden*. de. URL: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Evaluation> (besucht am 06.09.2023).
- [30] Jelke G. Bethlehem. *Applied survey methods: a statistical perspective*. en. Wiley series in survey methodology. Hoboken, N.J: Wiley, 2009. ISBN: 978-0-470-37308-8.
- [31] Mick P. Couper und Peter V. Miller. „Web Survey Methods: Introduction“. In: *The Public Opinion Quarterly* 72.5 (2008), S. 831–835. ISSN: 0033-362X.
- [32] Noam Lupu und Kristin Michelitch. „Advances in Survey Methods for the Developing World“. In: *Annual Review of Political Science* 21.1 (2018), S. 195–214. DOI: 10.1146/annurev-polisci-052115-021432.
- [33] F. Romero und F. Barbosa. „Technology evaluation: Fitting tools and techniques to the stages of the evaluation process“. In: *2012 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. 2012, S. 1825–1829. DOI: 10.1109/IEEM.2012.6838062.
- [34] Jutta Geldermann und Nils Lerche. *Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung*. 2014.
- [35] Doris Aschenbrenner et al. „Comparing Human Factors for Augmented Reality Supported Single-User and Collaborative Repair Operations of Industrial Robots“. In: *Frontiers in Robotics and AI* 6 (2019). ISSN: 2296-9144.
- [36] Markus Funk et al. „A benchmark for interactive augmented reality instructions for assembly tasks“. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*. MUM '15. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2015, S. 253–257. ISBN: 978-1-4503-3605-5. DOI: 10.1145/2836041.2836067.
- [37] Jan Terhoeven et al. „User expectations on smart glasses as work assistance in electronics manufacturing“. In: *Procedia CIRP*. 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems 72 (Jan. 2018), S. 1028–1032. ISSN: 2212-8271. DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.060.
- [38] Marlene Schafner et al. „Insights into the Introduction of Digital Interventions at the shop floor“. In: *Proceedings of the 11th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference*. PETRA '18. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018, S. 331–338. ISBN: 978-1-4503-6390-7. DOI: 10.1145/3197768.3203176.

- [39] Markus Funk. „Augmented reality at the workplace : a context-aware assistive system using in-situ projection“. en. Diss. 2016. DOI: 10.18419/opus-8997.
- [40] Christoph Liebrecht. „Entscheidungsunterstützung für den Industrie 4.0-Methodeinsatz – Strukturierung, Bewertung und Ableitung von Implementierungsreihenfolgen“. de. ISBN: 9783844074512 ISSN: 0724-4967. Diss. 2020. DOI: 10.5445/IR/1000121299.
- [41] Evangelos Triantaphyllou und Gerald W Evans. „Multi-criteria decision making in industrial engineering“. In: *Computers & Industrial Engineering* 37.3 (Nov. 1999), S. 505–506. ISSN: 0360-8352. DOI: 10.1016/S0360-8352(00)00018-8.
- [42] Evangelos Triantaphyllou. *Multi-criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Hrsg. von Panos M. Pardalos und Donald Hearn. Bd. 44. Applied Optimization. Boston, MA: Springer US, 2000. ISBN: 978-1-4419-4838-0. DOI: 10.1007/978-1-4757-3157-6.
- [43] Helmut Balzert. *Lehrbuch der Softwaretechnik: Entwurf, Implementierung, Installation und Betrieb*. de. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2011. ISBN: 978-3-8274-1706-0. DOI: 10.1007/978-3-8274-2246-0.
- [44] Karl-Heinz Rau und Thomas Schuster. *Agile objektorientierte Software-Entwicklung: Schritt für Schritt vom Geschäftsprozess zum Java-Programm*. de. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021. ISBN: 978-3-658-33394-2. DOI: 10.1007/978-3-658-33395-9.
- [45] Jochen Ludewig und Horst Lichter. *Software Engineering - Grundlagen, Menschen, Prozesse, Techniken*. de. 3. Auflage. Heidelberg: dpunkt, 2013.
- [46] International Organization for Standardization. *ISO/IEC 25010:2011 Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation*. 2011. URL: <https://www.iso.org/standard/35733.html>.
- [47] Krantiraditya Dhalmahapatra et al. „Assessment of virtual reality based safety training simulator for electric overhead crane operations“. en. In: *Safety Science* 139 (Juli 2021), S. 105241. ISSN: 09257535. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105241.
- [48] Vincent Havard et al. „A use case study comparing augmented reality (AR) and electronic document-based maintenance instructions considering tasks complexity and operator competency level“. en. In: *Virtual Reality* 25.4 (Dez. 2021), S. 999–1014. ISSN: 1434-9957. DOI: 10.1007/s10055-020-00493-z.
- [49] Matea Žilak et al. „A Systematic Literature Review of Handheld Augmented Reality Solutions for People with Disabilities“. en. In: *Sensors* 22.20 (Okt. 2022), S. 7719. ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s22207719.
- [50] Moritz Quandt und Michael Freitag. „A Systematic Review of User Acceptance in Industrial Augmented Reality“. In: *Frontiers in Education* 6 (2021). ISSN: 2504-284X.
- [51] Traian Lavric et al. „ATOFIS, an AR Training System for Manual Assembly: A Full Comparative Evaluation against Guides“. In: *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*. 2022, S. 558–567. DOI: 10.1109/ISMAR55827.2022.00072.

- [52] H.K. Kim et al. „Using a VR training-evaluation tool to evaluate a VR-simulation assembly process“. English. In: *ICIC Express Letters, Part B: Applications* 11.2 (2020), S. 159–165. ISSN: 2185-2766. DOI: 10.24507/icicelb.11.02.159.
- [53] Wei Fang et al. „Head-mounted display augmented reality in manufacturing: A systematic review“. In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 83 (Okt. 2023), S. 102567. ISSN: 0736-5845. DOI: 10.1016/j.rcim.2023.102567.
- [54] Jens Hegenberg und Ludger Schmidt. „Augmented-Reality-basierte Assistenz für das Anlernen manueller und roboterunterstützter Montageprozesse“. de. In: *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 75.4 (Dez. 2021), S. 367–387. ISSN: 2366-4681. DOI: 10.1007/s41449-021-00278-3.
- [55] Simon Boldt et al. „Assessment of Reconfigurability Level within Existing Manufacturing Systems“. In: *Procedia CIRP*. 54th CIRP CMS 2021 - Towards Digitalized Manufacturing 4.0 104 (Jan. 2021), S. 1458–1463. ISSN: 2212-8271. DOI: 10.1016/j.procir.2021.11.246.
- [56] Robert Joppen et al. „Evaluation of Industry 4.0 Applications in Production“. en. In: *Journal of the Knowledge Economy* (März 2022). ISSN: 1868-7873. DOI: 10.1007/s13132-022-00959-2.
- [57] Esra Dinler und Selin Işık. „Mathematical Model for Ergonomic Job Rotation Scheduling to Balance the Workload of Employees in Assembly Lines“. en. In: *Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control*. Hrsg. von Beata Mrugalska et al. Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham: Springer International Publishing, 2020, S. 163–170. ISBN: 978-3-030-51981-0. DOI: 10.1007/978-3-030-51981-0\_21.
- [58] *IBM ILOG CPLEX Optimization Studio*. en-us. URL: <https://www.ibm.com/products/ilog-cplex-optimization-studio> (besucht am 09. 10. 2023).
- [59] Xiaoyang Jiang et al. „Flet-Edge: A Full Life-cycle Evaluation Tool for deep learning framework on the Edge“. In: *2022 IEEE 28th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)*. 2023, S. 680–687. DOI: 10.1109/ICPADS56603.2022.00094.
- [60] O. Danielsson et al. „Evaluation Framework for Augmented Reality Smart Glasses as Assembly Operator Support: Case Study of Tool Implementation“. English. In: *IEEE Access* 9 (2021), S. 104904–104914. ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3096855.
- [61] A. Cayley et al. „TOWARD A COMPREHENSIVE FRAMEWORK FOR PRELIMINARY DESIGN EVALUATION IN ADDITIVE MANUFACTURING“. English. In: Bd. 3-A. 2022. ISBN: 978-0-7918-8622-9. DOI: 10.1115/DETC2022-90058.
- [62] *MATLAB GUI*. en. URL: <https://de.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html> (besucht am 10. 10. 2023).
- [63] Michal Takac. „Application of Web-based Immersive Virtual Reality in Mathematics Education“. In: *2020 21th International Carpathian Control Conference (ICCC)*. 2020, S. 1–6. DOI: 10.1109/ICCC49264.2020.9257276.

- [64] Radoslava Krалеva et al. „An approach to designing and developing an LMS framework appropriate for young pupils“. en. In: *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)* 10.2 (Apr. 2020), S. 1577–1591. ISSN: 2722-2578. DOI: 10.11591/ijece.v10i2.pp1577-1591.
- [65] Ryan Oktapratama und Dylmoon Hidayat. „Model of Web-Based Application “Glide” As Learning Media and Knowledge Sharing Tool of Teachers in Post-Pandemic Era“. en. In: *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)* 4.1 (Dez. 2022), S. 554–560. ISSN: 2715-6079. DOI: 10.37385/jaets.v4i1.1333.
- [66] Milena Lazarova et al. „Challenges in the Implementation of Web Based Digital Content Repository for Teachers in Bulgaria“. en. In: *Learning Technologies and Systems*. Hrsg. von Carina S. González-González et al. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2023, S. 174–179. ISBN: 978-3-031-33023-0. DOI: 10.1007/978-3-031-33023-0\_15.
- [67] Kunyan Li und Kebin Huang. „Evaluation of a Web-based Teaching Platform with EduTools and Adapted Indicators“. In: *2022 International Symposium on Educational Technology (ISET)*. 2022, S. 118–122. DOI: 10.1109/ISET55194.2022.00032.
- [68] Druzhynina Viktoriia et al. „Toward the Creation of a Web-Based Platform “Bike Sharing” in the Local Transport System“. en. In: *IoT and Cloud Computing for Societal Good*. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing (2022). Hrsg. von Jitendra Kumar Verma et al., S. 59–70. DOI: 10.1007/978-3-030-73885-3\_5.
- [69] Savita V. Kendre et al. „The Soft Compiler: A Web-Based Tool for the Design of Modular Pneumatic Circuits for Soft Robots“. In: *IEEE Robotics and Automation Letters* 7.3 (Juli 2022), S. 6060–6066. ISSN: 2377-3766. DOI: 10.1109/LRA.2022.3159858.
- [70] Wei Li et al. „SP-MIOV: A novel framework of shadow proxy based medical image online visualization in computing and storage resource restrained environments“. In: *Future Generation Computer Systems* 105 (Apr. 2020), S. 318–330. ISSN: 0167-739X. DOI: 10.1016/j.future.2019.12.009.
- [71] Felix Sukums et al. „Avoiding pitfalls: Key insights and lessons learnt from customizing and rolling out a national web-based system in Tanzania“. en. In: *THE ELECTRONIC JOURNAL OF INFORMATION SYSTEMS IN DEVELOPING COUNTRIES* 87.6 (2021), e12193. ISSN: 1681-4835. DOI: 10.1002/isd2.12193.
- [72] Mulki Indana Zulfa et al. „Caching strategy for Web application – a systematic literature review“. In: *International Journal of Web Information Systems* 16.5 (Jan. 2020), S. 545–569. ISSN: 1744-0084. DOI: 10.1108/IJWIS-06-2020-0032.

- [73] Sakorn Mekruksavanich et al. „Metrics-based Knowledge Analysis in Software Design for Web-based Application Security Protection“. In: *2021 Joint International Conference on Digital Arts, Media and Technology with ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunication Engineering*. 2021, S. 281–284. DOI: 10.1109/ECTIDAMTNC51128.2021.9425703.
- [74] Herman Setiawan et al. „Web-based Project and Service Search “O-ser” Application“. In: *2021 3rd International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS)*. 2021, S. 1–6. DOI: 10.1109/ICORIS52787.2021.9649594.
- [75] Himanshu Goyal et al. „Analysis, Design and Implementation of a Web- Based Online Auction System“. In: *2023 International Conference on Disruptive Technologies (ICDT)*. 2023, S. 18–23. DOI: 10.1109/ICDT57929.2023.10150810.
- [76] Catherine Bégin et al. „Use of Mobile Apps and Online Programs of Mindfulness and Self-Compassion Training in Workers: A Scoping Review“. en. In: *Journal of Technology in Behavioral Science* 7.4 (Dez. 2022), S. 477–515. ISSN: 2366-5963. DOI: 10.1007/s41347-022-00267-1.
- [77] Armin Beckmann et al. „Development of a Digital Collaborative Whiteboard“. en. In: *HCI International 2021 - Late Breaking Posters*. Hrsg. von Constantine Stephanidis et al. Communications in Computer and Information Science. Cham: Springer International Publishing, 2021, S. 242–248. ISBN: 978-3-030-90179-0. DOI: 10.1007/978-3-030-90179-0\_31.
- [78] Sophie Schauer et al. „Augmentation of Printed Content with Web-based Technologies“. In: *2021 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. Bd. 1. 2021, S. 252–256. DOI: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660839.
- [79] *LimeSurvey – Kostenloses Online-Umfrage-Tool*. de-de. URL: <https://www.limesurvey.org/de> (besucht am 03. 11. 2023).
- [80] Fabian Holly et al. „Gaining Impact with Mixed Reality in Industry – A Sustainable Approach“. en. In: *2022 8th International Conference on Computer Technology Applications*. Kapfenberg Austria: ACM, 2022, S. 128–134. ISBN: 978-1-4503-9622-6. DOI: 10.1145/3543712.3543729.
- [81] John Brooke. „SUS: a retrospective“. In: *Journal of Usability Studies* 8 (Jan. 2013), S. 29–40.

# A. Weitere Abbildungen

## Umfrage Anwender\_in - IST-Fall

Alle Fragen müssen beantwortet werden!

Frage	Antworten				
Wie stark wurden Sie während des Prozesses geistig beansprucht?	Gering	Gering-mittel	Mittel	Mittel-hoch	Hoch
Wie sehr wurden Sie während des Prozesses körperlich beansprucht?	Gering	Gering-mittel	Mittel	Mittel-hoch	Hoch
Wie stark war der Zeitdruck während der Ausführung der Aufgabe?	Gering	Gering-mittel	Mittel	Mittel-hoch	Hoch
Wie schätzen Sie Ihre Leistung der ausgeführten Aufgabe ein?	Gering	Gering-mittel	Mittel	Mittel-hoch	Hoch
Wie stark mussten Sie sich geistig und körperlich anstrengen, um Ihr Arbeitspensum zu bewältigen?	Gering	Gering-mittel	Mittel	Mittel-hoch	Hoch
Wie frustriert waren Sie während des Prozesses?	Gering	Gering-mittel	Mittel	Mittel-hoch	Hoch

Impressum und Datenschutzerklärung
Weiter

**Abbildung A.1:** Ausschnitt einer Umfrage aus dem Evaluierungstool

## Antworten zu den qualitativen Fragen

### Anwender\_in

#### IST-Fall

**Wo sehen Sie Vorteile in der Verwendung von VR?**

1	Vorteil 1, Vorteil 2
2	Vorteil 3

**Wo sehen Sie Nachteile in der Verwendung von VR?**

1	Nachteil 1
2	Nachteil 2

**Fall Assistenzsystem**

**Wo sehen Sie Vorteile in der Verwendung von VR?**

**Abbildung A.2:** Ergebnisdarstellung der qualitativen Fragen



Home 1-Info 2-Gewichtung 3-Umfrage starten 4-Ergebnis Account Logout

## Quick Tips

### Durchführung einer Evaluierung

1. Falls Sie noch allgemeine Informationen zu den verwendeten Kriterien benötigen, finden Sie diese im allgemeinen Info-Bereich → [1-Info]
2. Starten Sie dann mit der Durchführung der Gewichtung → [2-Gewichtung]
  - Standardmäßig sind alle Dimension gleich gewichtet
  - Paarweiser Vergleich der Dimensionen
    - Anwender:in
    - Kunde/Kundin
    - Mitarbeiter:in
    - Lernen & Entwickeln
  - Paarweiser Vergleich der einzelnen Kriterien innerhalb der Dimensionen
  - Standardmäßig sind alle Kategorien gleich wichtig gewichtet
3. Führen Sie eine möglichst große Anzahl an Umfragen durch, um Daten zu erheben → [3-Umfrage starten]
  - Es wird empfohlen, pro Fall mindestens 20 Umfragen durchführen zu lassen.
    - IST-Fall ... Prozess ohne Assistenzsystem
    - Fall Assistenzsystem ... Prozess mit Assistenzsystem
  - Je mehr Umfragen Sie durchführen lassen, umso aussagekräftiger wird das Ergebnis.
4. Betrachten Sie das Ergebnis → [4-Ergebnis]

**Abbildung A.3:** Leitsystem für Nutzende des Evaluierungstools

## Gewichtung

### Gewichten Sie die folgenden Dimensionen

Informationen zur Gewichtung

Anwender:in vs Kundin/Kunde

Anwender:in wichtiger

gleich wichtig

Kundin/Kunde wichtiger

Wie viel wichtiger ist die gewählte Dimension gegenüber der anderen?

5

**Abbildung A.4:** Überarbeitetes Gewichtungsmodul

# B. Abbildungsverzeichnis

1.1	Design Science Research Zyklen nach Hevner (2010), eigene Darstellung [7] . . . . .	4
2.1	Schema Mensch-Maschine-System [11] . . . . .	6
2.2	Industrielle Unterstützungssysteme: Vergleich Substitution und Unterstützung [15] . . . . .	8
2.3	Einteilung kognitiver Assistenzsysteme [21] . . . . .	9
2.4	Reality-Virtuality-Kontinuum [22] . . . . .	9
2.5	Ablauf eines Umfrageprozesses nach Bethlehem (2009), eigene Darstellung [30] . . . . .	11
2.6	Software-Lebenszyklus [43] . . . . .	14
3.1	Screenshot der Nutzer:innenoberfläche aus Cayley et al. (2022) [61] . . . . .	22
3.2	Nutzer:innenoberfläche aus Danielsson et al. (2021) [60] . . . . .	25
4.1	Foto des Flipcharts der Unternehmensbefragung im Zuge des IMPACT-sXR Projekts . . . . .	33
5.1	Matrixfragen aus LimeSurvey . . . . .	38
5.2	Ausgabedatei einer LimeSurvey-Umfrage . . . . .	39
5.3	Softwarearchitektur des Prototyps . . . . .	40
5.4	Evaluierungsdimensionen und -kriterien [80] . . . . .	41
5.5	Module des Prototyps . . . . .	41
5.6	Antwortmatrizen des Kriteriums "Arbeitsbelastung" im Prototyp . . . . .	42
5.7	Kriterienmodul für das Kriterium "Arbeitsbelastung" im Prototyp . . . . .	44
5.8	Screenshot des Gewichtungsmoduls des Prototyps . . . . .	44
5.9	Screenshot des Ergebnismoduls des Prototyps . . . . .	45
6.1	Entity-Relationship-Modell des Evaluierungstools . . . . .	49
6.2	Modularer Aufbau des Evaluierungstools . . . . .	49
6.3	Nutzer:innengruppen des Evaluierungstools . . . . .	50
6.4	Grundlegende Ordnerstruktur des Evaluierungstools . . . . .	51

6.5	Gewichtungsmodul des Evaluierungstools . . . . .	53
6.6	Startseite des Umfragenmoduls im Evaluierungstool . . . . .	54
6.7	Tabellarische Ergebnisdarstellung im Evaluierungstool . . . . .	56
6.8	Grafische Ergebnisdarstellung mittels Radardiagrammen . . . . .	56
6.9	Formular zur Dokumentation der Tests im zweiten Designzyklus . . . . .	59
7.1	Boxplot der gegebenen Antworten innerhalb der Studie . . . . .	66
A.1	Ausschnitt einer Umfrage aus dem Evaluierungstool . . . . .	79
A.2	Ergebnisdarstellung der qualitativen Fragen . . . . .	79
A.3	Leitsystem für Nutzende des Evaluierungstools . . . . .	80
A.4	Überarbeitetes Gewichtungsmodul . . . . .	80

# C. Tabellenverzeichnis

3.1	Schlüsselwörter der Recherche . . . . .	17
3.2	Quantitative Darstellung der Evaluierungskriterien . . . . .	20
3.3	Umsetzungsarten von Evaluierungstools . . . . .	23
3.4	Arten der Ergebnisdarstellung von Evaluierungstools . . . . .	23
3.5	Vorteile webbasierter Softwareanwendungen . . . . .	26
3.6	Nachteile webbasierter Softwareanwendungen . . . . .	27
4.1	Anforderungskatalog des Evaluierungstools . . . . .	35
5.1	Anforderungskatalog des Prototyps . . . . .	36
6.1	Anforderungen an das Artefakt des dritten Designzyklus . . . . .	60
7.1	Verteilung der gegebenen Antworten innerhalb der Studie . . . . .	65
7.2	Auswertung der ersten qualitativen Frage . . . . .	67
7.3	Auswertung der zweiten qualitativen Frage . . . . .	67

## D. Pseudocodeverzeichnis

5.1	Werte importieren - Prototyp . . . . .	43
6.1	Fragen und Antwortmöglichkeiten für Umfragen anzeigen . . . . .	55
6.2	Berechnung der Ergebnisse . . . . .	57

# E. Abkürzungsverzeichnis

AI	Artificial Intelligence
AR	Augmented Reality
ARSG	Augmented Reality Smart Glasses
bzw.	beziehungsweise
DSR	Design Science Research
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
ERM	Entity-Relationship-Modell
ggfs.	gegebenenfalls
GPU	Grafikkarte
HMD	Head-Mounted-Display
IS	Informationssysteme
Cobots	Kollaborationsfähige Roboter
MRK	Mensch-Roboter-Kollaboration
MR	Mixed Reality
MMI	Mensch-Maschine-Interaktion
SUS	System Usability Scale
TU Wien	Technische Universität Wien
UML	Unified Modeling Language
VR	Virtual Reality
VBA	Visual Basic for Applications
z.B.	zum Beispiel

## F. Link zum Repository des Evaluierungstools

<https://gitlab.tuwien.ac.at/e330-03-research-unit-of-human-machine-interaction/public/IMPACT-sXR-Evaluierungstool>